

Zeitschrift:	Mitteilungsblatt / Keramik-Freunde der Schweiz = Revue des Amis Suisses de la Céramique = Rivista degli Amici Svizzeri della Ceramica
Herausgeber:	Keramik-Freunde der Schweiz
Band:	- (2019)
Heft:	133
Artikel:	Der Rüdlinger Kachelofen : naturwissenschaftliche Analyse des 1681/1682 datierten Ofens des Winterthurer Hafners Abraham Pfau
Autor:	Maggetti, Marino
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-842170

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: 08.02.2026

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

DER RÜDLINGER KACHELOFEN

Naturwissenschaftliche Analyse des 1681/1682 datierten Ofens des Winterthurer Hafners Abraham Pfau

Marino Maggetti

EINLEITUNG

Ein Ofen von 1681/1682 aus der Winterthurer Hafner-Werkstatt des Abraham Pfau

Seit Ende 2015 steht ein von Hafnermeister Thomas Brunner (Illnau) meisterlich restaurierter Winterthurer Kachelofen in der «Stube» Rüdlingen (Abb. 1). Dieser Ofen fand als Nr. 65 Eingang in den Katalog von Bellwald (1980, 267) und wurde kürzlich eingehend vorgestellt (Früh 2015). Am Ofen kontrastieren monochrom grünglasierte und reliefierte Füllkacheln mit polychrom bemalten Fayence-Kranzkacheln, -Lisenen, -Füssen, -Gesimsen und -Stäben (Abb. 2). Als Fayence wird bekanntlich Irdeware bezeichnet, die mit einer zinnoxydhaltigen Glasur überzogen ist. Zur Fayence- und Dekor-Technik siehe Maggetti (2015a) und Maggetti/Serneels (2016). Bei der Bemalung handelt es sich um sogenannte Inglasur-Dekore, die auf ein weisses, ungebranntes Zinnglasur- bzw. Weissglasur-Pulver aufgebracht und mit ihr im Scharfffeuer gebrannt wurden.

Den Kranzkacheln und einer Lisene des Rüdlinger Ofens sind folgende Informationen zu entnehmen:

- (1) die Entstehungsjahre 1681 bis 1682 (Abb. 3a, b);
- (2) die Unterstammheimer Auftraggeber «Jacob Ulrich/ und Anna beringer/sein Ehgmahel» (Abb. 3b). Das Wappen des Ehemannes Jacob Ulrich (1639–1689; Früh 2015), ein schwarzes sogenanntes Hauszeichen auf gelbem Grund, führt noch dessen Initialen IV;
- (3) die Initialen AP des Hafnermeisters Abraham Pfau (1637–1691; Frascoli 2015, Abb. 128) (Abb. 3b, c). David und Abraham Pfau hatten 1652 in Winterthur an der Marktgasse 60 einen Ofen für Fayencen und Irdengut errichtet (Frascoli 2007);
- (4) die Initialen EP der Elisabeth Pfau (Früh 2015), einer Schwester oder einer Cousine Abrahams, die den Ofen bemalt hat (Abb. 3a).

Technologische Fortschritte in der Ofenkachelherstellung im Mittelalter

Zur stilistischen und technologischen Entwicklung schweizerischer Ofenkacheln des 11. bis 17. Jahrhunderts gibt es eine reichhaltige Literatur (z. B. Matter/Wild 1997; Matter 2000; Roth Hege 2001, 2007, 2009, 2012; Bourgarel



Abb. 1: Der Winterthurer Kachelofen des Abraham Pfau in der «Stube» Rüdlingen. Höhe circa 220 cm, Breite circa 160 cm, Tiefe circa 130 cm (Früh 2015). © Atelier H7, Winterthur.

1995, 2000, 2011, 2013; Boschetti-Maradi 2006, 2012; Baeriswyl 2006; Hasenfratz 2011). Hinweise auf die Existenz von Kachelöfen reichen aber in der Nordwestschweiz ins 9. Jahrhundert zurück (Marti 2000). Früheste gesicherte archäologische Befunde von Kachelöfen in der Schweiz stammen von der Froburg bei Trimbach, SO (Frühes 12. Jahrhundert; Tauber 1980, 235–268) und von einem auf circa 1208 dendrochronologisch datierten Winterthurer Ofen (Matter/Wild 1997, 79).



Abb. 2: Detail des vierseitigen Turmfons mit links anschliessendem Ofensitz. Grünglasierte Reliefkacheln kontrastieren mit bunt bemalten weissglasierten Fayence-Lisenen, -Stäben und -Gesimsen. Die Lisene des Feuerkastens stellt eines der vier Elemente, «Das Wasser», als weibliche Figur dar, welche eine Amphore ausgiesst, in deren Ausguss sich Fische und ein Krebs winden (Früh 2015). © Atelier H7, Winterthur.



Abb. 3: (a) Reliefskulptur einer Kranzkachel mit Puttenkopf und zwei seitlichen Voluten, der Signatur EP und der Jahrzahl 1681. © Atelier H7, Winterthur; (b) Ofenschild einer Kranzkachel mit Namen der Auftraggeber, dem Familienwappen, der Jahrzahl 1682 und der Signatur AP. © Atelier H7, Winterthur; (c) Unterer Teil der Jahreszeit-Lisene «Frülling» mit der Signatur AP. Foto M. Maggetti.

Die Technik des Glasierens setzte regional zeitlich unterschiedlich ein. Glasierte Ofenkacheln sind im Nordwesten der Schweiz ab Ende des 13. Jahrhunderts/Anfang bis Mitte des 14. Jahrhunderts (Ewald/Tauber 1975), in Schaffhausen (Homberger/Zubler 2010, 39) und Winterthur (Matter 2000, 199) vereinzelt in der 1. Hälfte des 14. Jahrhunderts und in Zürich seit etwa 1360/70 nachzuweisen (Schnyder 2011, 25). Die Zürcher Kacheln wurden vorgängig des Glasuraufbringens, im noch feuchten Zustand, mit einem Anguss aus hellbrennendem Lehm grundiert. Die Kacheln des Churer Martinsplatz-Depots aus der 2. Hälfte des 14. Jahrhunderts besitzen eine Glasur, aber keine Engobe (Janosa 1997). Eingekaufte, weissbrennende Engoben waren in Zürich erst ab den 1420er Jahren verfügbar. Diese unterschiedlichen Grundierungen gaben der durchsichtigen Glasur mehr Leuchtkraft. Nach circa 1440 kam ein neues Verfahren zur Anwendung: «Man engobierte die Kachel nicht mehr nach ihrer Ausformung, sondern goss die weisse Engobe auf das für die Ausformung vorbereitete flache Blatt und drückte dieses dann weiss behautet, das heisst schon grundiert, in den Model. Das hatte den Vorteil, dass das Kachelrelief dem direkten Ausdruck des Models entsprach und seine Feinheiten nicht durch den Anguss entschärft wurden.» (Schnyder 2011, 25-27). Zum Unterschied Anguss/Beguss und Behautung siehe Lesny/Heege (2012) und Frey (2016).

Die Ofenkeramik der Stadt Freiburg der Jahre 1330–1416 kann eine grüne oder braune Glasur aufweisen, die direkt auf den ungebrannten Rohling, ohne zwischengelagerte Engobe, aufgebracht wurde (Bourgarel 2010, 428). Mit derselben Technik glasierte Feinkeramik ist in der Saanestadt schon seit Ende des 13. Jahrhunderts nachzuweisen. Im 15. Jahrhundert umhüllt die Glasur dann eine weisse Engobe. Die um circa 1500 datierten Überreste eines Kachelofens aus Diessenhofen sind vorwiegend mit einer grünen Glasur über einer weissen Engobe versehen (Stäheli 2002).

Erste Fayenceglasuren auf Ofenkacheln tauchen in der Schweiz ab der Mitte des 15. Jahrhunderts auf (Boschetti-Maradi et al. 2004, Abb. 19; Roth Heege 2001, Abb. 25) und können an der gleichen Kachel mit der traditionellen grünen, gelben oder braunen Bleiglasur kombiniert sein (sogenannte Mischtechnik). Kacheln mit reliefierten polychromen Rosetten sind in Zürich ab 1450/60 nachweisbar. Laut Schnyder (2011, 27) experimentierten die Hafner mit verschiedenfarbigen Tonen und Glasuren: «Im ersten Fall wurde ein Batzen aus stark eisenhaltigem, feinem rotem Bolus in die zentrale Blume des Models gedrückt, darüber dann das weiss behautete Blatt gelegt und der Rest des Models ausgeformt; die weiss grundierte Partie wurde grün, die Rose in der Mitte aber transparent

farblos glasiert, sodass der rostrote Bolus die Farbe der Blume bestimmte [...]. Im zweiten Fall wurde erstmals mit einer durch einen Zusatz von Zinnoxyd weiss gefärbten Glasur experimentiert [...].» In diesem Zusammenhang wurden in Zürich zum ersten Mal Kobaltoxyd für die blaue Bemalung und Manganoxyd für das Braunpurpur verwendet.

Der älteste datierte schweizerische Kachelofen, der nur aus Fayencekacheln besteht, stammt von 1518 und befand sich im Schloss Holligen bei Bern (Roth 1999; Roth Heege 2001).

Bisherige archäometrische Analysen schweizerischer Ofenkacheln

11.-14. Jahrhundert: Die chemische Zusammensetzung von 100 archäologisch ergrabenen Becher- und Napfkachelfragmenten des 11.–14. Jahrhunderts aus fünf Burgarealen der Nordwestschweiz wurden von Janke (1989) und Janke et al. (1991) publiziert (Tab. 1). Alle Kacheln sind aus einem kalzium- bzw. Ca-armen Rohstoff (Huppererde?) gefertigt worden und stammen aus verschiedenen, wohl lokalen Werkstätten. Die Innenseite von 67 Napfkacheln des 13.–14. Jahrhunderts ist ohne zwischengeschaltete Engobe glasiert. Der Bleigehalt dieser transparenten Glasuren variiert beträchtlich (60–90 Gew. % Pb). Fast alle Glasuren enthalten Nickel (bis circa 0.1 Gew. % Ni). Kupfer färbt die transparente Glasur grün (0.1–0.3 Gew. % Cu) und Kobalt und Kupfer schwarz (0.1–0.3 Gew. % Co und 0.1 Gew. % Cu).

15.-16. Jahrhundert: Die Glasuren von sieben Kacheln – zwei aus der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts (Rathausgasse/Bern und Rathaus/Nidau), drei vom 1518 datierten Kachelofen aus Holligen bei Bern und zwei vor 1528 datierte Kacheln von der Münsterplattform in Bern – wurden von Scheidiger (1998) qualitativ analysiert, siehe die Diskussion bei Roth (1999). Die opaken weissen Glasuren sind Fayenceglasuren, da sie Cassiterit-Kristalle (Zinnoxyd, SnO_2) enthalten. Eine gleichaltrige Kachel aus Nyon ist auch mit einer Fayenceglasur überzogen (Roth 1999, Anmerkung 23). Die Scherbenkörper wurden nicht untersucht.

Die Zuger Töpferwerkstatt Oberaltstadt 3 aus der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts stellte neben feinkeramischen Erzeugnissen auch Ofenkacheln her (Roth Heege 2011). Laut Thierrin-Michael (2011) und Roth Heege/Thierrin-Michael (2016) haben die keramischen Körper eine CaO-arme Zusammensetzung (Tab. 1). Sie können mit einer opaken, weissen Fayenceglasur oder einer transparenten Bleiglasur überzogen sein. Im ersten Falle wurde die Glasur auf eine weisse, Ca-reiche Engobe, im zweiten Falle



Abb. 4: Analysierte Objekte (ein Stopflehm und neun Ofenkacheln). Größenangaben siehe Tabelle 2. *Fotos M. Maggetti.*

auch auf eine weisse, aber Ca-arme Engobe aufgebracht. Die Zusammensetzung der Engoben und der Glasuren wurde nicht gemessen. Laut Thierrin-Michael wussten die mittelalterlichen Töpfer empirisch, wie stark die chemische Zusammensetzung der Scherbenkörper, der Engoben und der Glasuren die entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten beeinflusst. Die thermischen Ausdehnungskoeffizienten CaO-reicher keramischer Körper ähneln nämlich denjenigen von Blei-Alkaliglasuren (Tite 2009).

18. Jahrhundert: Die keramischen Körper zweier Steckborner Ofenkacheln von circa 1740, einer polychrom bemalten Lisene und einer monochromen, türkisfarbenen, opaken Füllkachel sind laut Maggetti (2016a) Ca-reich (Tab. 1). Die Lisene ist in der sogenannten Unterglasurpinseldekor-Technik farbig bemalt. Deren transparente Bleiglasur wird durch zwei Engoben, einer äusseren, weissen, Ca-reichen Grundengobe und einer inneren, rötlichen, Ca- und Fe-reichen Engobe, vom Scherbenkörper getrennt. Die türkisfarbige Fayenceglasur, mit 7 Gew. % SnO_2 und 1.8 Gew. % CuO , wird nur durch eine weisse, Ca-reiche Engobe vom Scherben getrennt.

Drei Kachelfragmente aus den archäologischen Grabungen von Porrentruy Grand'Fin, datiert circa 1750, sind chemisch zweigeteilt (Thierrin-Michael 2003). Das Kachelblatt ist Ca-reich, der Zargen/Tubus hingegen Ca-arm (Tab. 1).

Von den im 18. Jahrhundert tätigen Hafner-Werkstätten der Stadt Freiburg wurden in letzter Zeit etliche Ofenkacheln untersucht. So analysierten Blanc (2007a, b) vier Kacheln, Maggetti et al. (2014) vier Ofenkacheln, einen Ofenfuss und einen Stopflehm (Lehmreste zwischen den Kachel-Tubussen oder -Zargen) aus den Töpferateliers des Johann-Rudolph Stern, Andreas Nuoffer und Johann Baptist Nuoffer, Maggetti et al. (2015b) acht Kacheln dreier Öfen aus einem Patrizierhaus der Stadt Freiburg und Maggetti/Serneels (2016) vier Kacheln und einen Stopflehm eines bisher unbekannten Ofens des Johann Baptist Nuoffer. Die chemische Zusammensetzung aller Kacheln ist Ca-reich (Tab. 1), woraus auf die Verwendung mergeliger Rohstoffe geschlossen werden kann, ohne dass diese speziell aufbereitet wurden. Die Kacheln der einzelnen Öfen sind sich chemisch sehr ähnlich. Ihre chemische Zusammensetzung kann aber von einem Ofen zum anderen variieren. Eine Kachel des J. B. Nuoffer'schen Ofens von circa 1780–85 passt stilistisch und chemisch nicht zu den freiburgischen Kacheln und könnte einem bernischen Atelier entstammen. Die technologische Analyse zeigt, dass die freiburgischen Kacheln zweimal gebrannt wurden, und dass der Garbrand bei 950–1050°C erfolgte. Alle Glasuren gehören zum Typus

der Fayenceglasuren, mit sehr hohen SnO_2 -Gehalten von 16–19 Gew. %. Die Analysen betrafen auch die Farbpigmente, über die in den folgenden Kapiteln berichtet wird.

Problemstellung

Die zusammenfassende Vorstellung der bisherigen archäometrischen Analysen zeigt, dass die Untersuchungen erst am Anfang stehen. So fehlen bislang naturwissenschaftliche Analysen von Ofenkacheln des 17. Jahrhunderts. Mit dem Rüdlinger Ofen des ausgehenden 17. Jahrhunderts bietet sich nun die Gelegenheit, folgende Fragen zu beantworten:

- (1) Wie ist der Scherben chemisch und mineralogisch zusammengesetzt? Haben alle Kacheln dasselbe chemische Spektrum? Wie unterscheiden sich die Rüdlinger Kacheln von den bisher beprobenen Ofenkacheln schweizerischer Provenienz?
- (2) Wie sind die Glasuren chemisch und mineralogisch zusammengesetzt?
- (3) Welche Pigmente wurden für die Farbdekore verwendet?
- (4) Was kann über die Technik (Herkunft und Aufbereitung der Tone, Brenntemperaturen, Inglasurfarben usw.) gesagt werden? Wie stimmen die Ergebnisse mit den tradierten Rezepturen überein?

Proben

Bei einem derartig hervorragenden Objekt schweizerischer Hafnerkunst konzentrierte sich die Probennahme deshalb auf Kacheln und deren Reste, die beim Aufbau zugeschnitten wurden oder bei diesem Vorgang anfielen. Die zehn Proben sind aus neun Ofenkacheln und einem Stopflehm entnommen (Abb. 4, Tab. 2). Eine davon stammt aus einer reliefierten, grün glasierten Bildkachel, die anderen aus polychrom bemalten Fayence-Kacheln. Im ursprünglichen Ofen waren auch Kacheln verbaut, die stilistisch nicht zu den übrigen Kacheln passen. Von diesen wurde eine Probe, Ofe 24, genommen, um festzustellen, ob es sich um Winterthurer oder um fremdes Material handelt. Die Probennahme erfolgte am 18. Februar 2014 und am 2. Mai 2015 durch Hafnermeister Th. Brunner. Für die chemischen, mikroskopischen und röntgenographischen Analysen wurden Stücke aus den Rückseiten der Kacheln gesägt. Kleine Fragmente der Glasuren und der Scharffeuerfarben dienten für die rasterelektronenmikroskopischen (REM) Untersuchungen.

Analysenmethoden

Für diese Aspekte sei auf Maggetti/Serneels (2016) verwiesen.

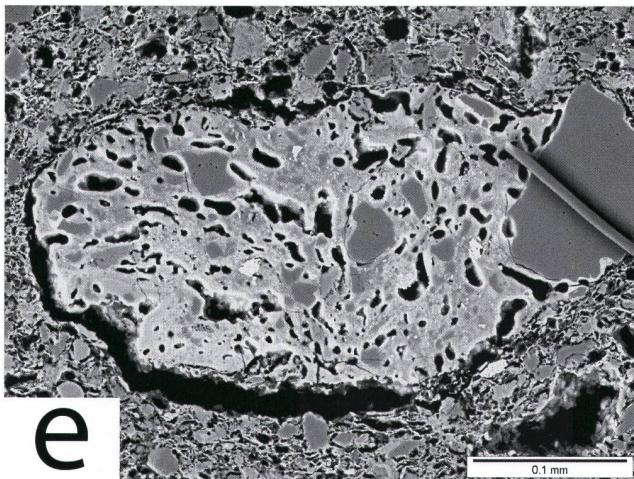
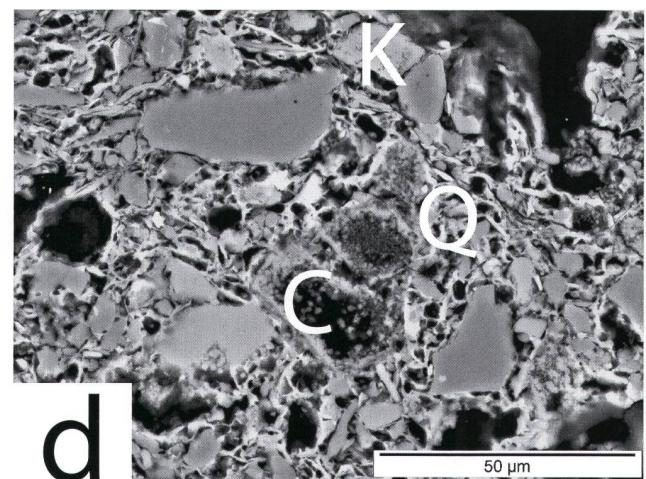
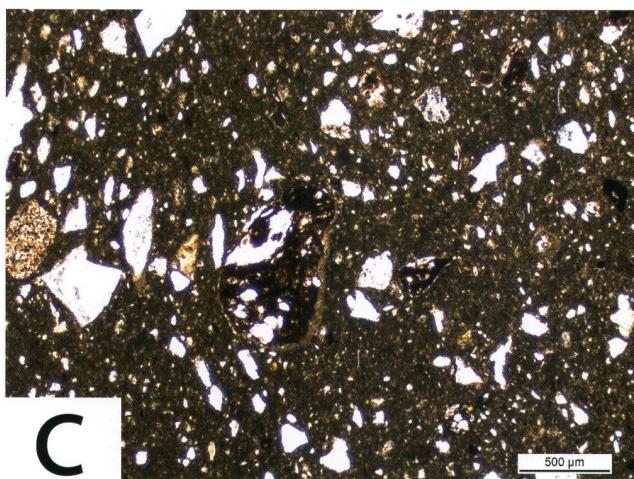
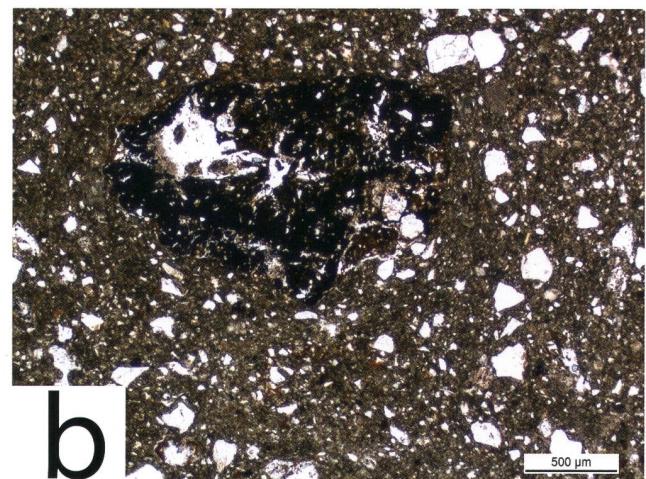
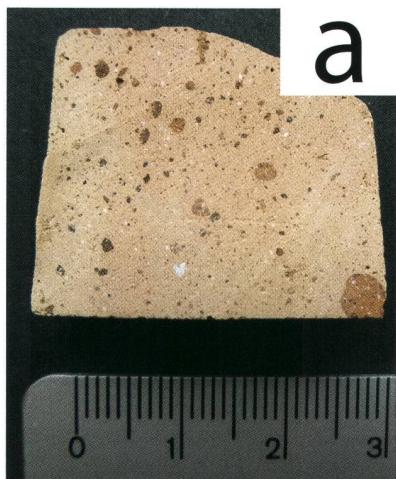


Abb. 5: (a) Probe Ofe 24 mit den typischen rundlichen, rötlichen bis braunen Einschlüssen (= Tongallen); (b) Polarisationsmikroskopische Aspekte (Polarisatoren parallel) der Ofenkachel 23; (c) Dasselbe von Ofe 24; (d) Gefügebild von Ofe 20 unter dem REM (Rückstreu-Elektronenbild REM). Im Scherbenkörper sind grössere Körner von Quarz (Q), Kalifeldspat (K) nebst vielen kleinen, faserig-tafeligen Phyllosilikaten, grossen schwarzen Poren und zwei mit kleinsten retrograden Kalzit-Körnchen gefüllte Karbonatrelikte (C) zu erkennen; (d) Aspekt einer Tongalle unter dem REM (REB), siehe Analyse Ofe 24b-3 in Tab. 4. *Fotos M. Maggetti*.

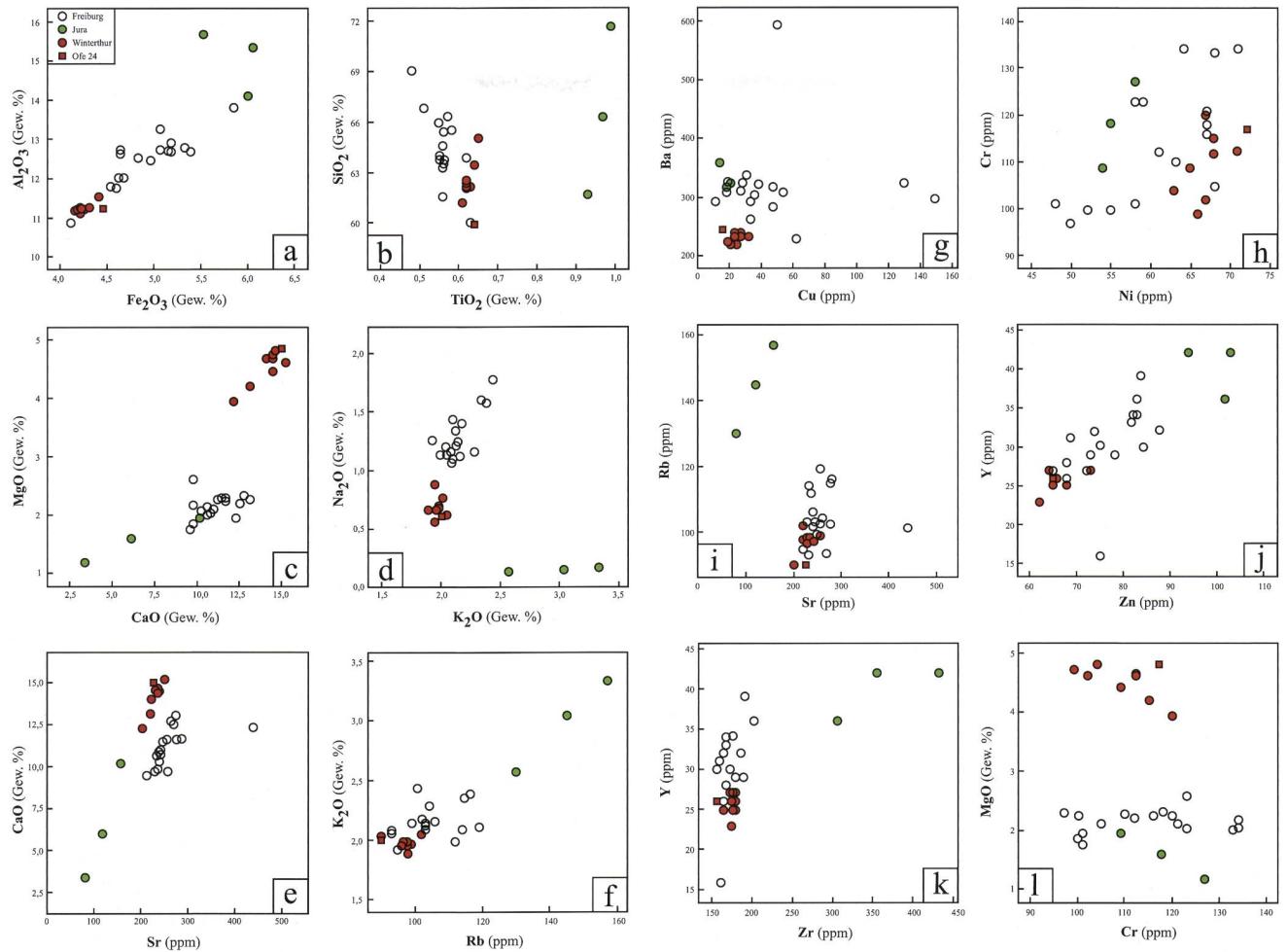


Abb. 6: Oxyd- und Spurenelementgehalte der neun analysierten Ofenkacheln von Rüdlingen (Winterthur: 8 Proben und die Reparaturkachel Ofe 24) im Vergleich zu den bisher untersuchten 17 freiburgischen (Freiburg: Blanc 2007a,b; Maggetti et al. 2014, 2015b; Maggetti/Serneels 2016) und drei jurassischen (Jura: Thierrin-Michael 2003) Ofenkacheln. *Reinzeichnung N. Bruegger.*

RESULTATE

Der Stopflehm Ofe 15

Mit seiner Silizium-Oxyd (SiO_2)-armen und äußerst Kalzium-Oxyd (CaO)-reichen Zusammensetzung unterscheidet sich dieser Rohstoff chemisch von den deutlich CaO -ärmeren Ofenkacheln (Tab. 2).

Die Scherbenkörper

In der frisch geschnittenen Fläche jeder analysierten Probe erkennt man in der feinkörnigen hellroten Grundmasse des Scherbenkörpers rundliche, schwarze bis ziegelrote Gebilde mit einem Durchmesser von 0.2 bis 5 mm (Abb. 5a).

Unter dem Lichtmikroskop lassen sich vier Bestandteile unterscheiden: (1) grosse rundliche, schwarze bis dunkelbraune, meist feinkörnige Gebilde (Abb. 5b, c); (2) helle, nichtplastische Bestandteile (Magerung) in Form von sub-

angularen bis gerundeten Magerungskörnern (maximale Korndurchmesser circa $430 \mu\text{m} = 0.4 \text{ mm}$, bestehend aus Einzelkristallen von Quarz, Kalifeldspat, Hellglimmer und rotem Biotit (Abb. 5b, c); (3) mit kleinsten sekundären Kalzit-Körnchen gefüllte, hochporöse Karbonatrelikte (Abb. 5d); und (4) die dunkle Matrix, d. h. die Assoziation der ehemaligen Tonmineralien. Bei den Gebilden des Typs (1) handelt es sich nicht um künstlich zugefügte, zerstampfte sogenannte Schmotte, sondern um schon im natürlichen Rohstoff vorhanden gewesene Eisenkonkretionen und Tongallen, sogenannte ARF's (Whitebread 1986), wie dies ihre rundliche Form und der im polarisationsmikroskopischen Bilde fehlende Riss zwischen ihnen und der restlichen Matrix dokumentiert. Unter dem REM ist aber ein Riss zu sehen und man erkennt auch die starke Sinterung dieser Tongallen (Abb. 5e). Die Körngrößenverteilung der übrigen nicht-plastischen Körnern ist serial (Maggetti 1994, 2008).

Die Scherbenkörper sind mit einem Gehalt von 12–15 Gew. % CaO als kalziumreiche keramische Produkte anzusprechen (Tab. 3). Die chemische Zusammensetzung aller Kacheln ist recht ähnlich, wie dies die enge Gruppierung in den binären Korrelationsdiagrammen zeigt (Abb. 6). Die Reparaturkachel Ofe 24 passt in ihrer chemischen Zusammensetzung gut zu den anderen Kacheln. Im Vergleich zum Stopflehm sind die Bleiwerte (Pb) mit 60–160 ppm leicht erhöht. Dieses Resultat erklärt sich durch eine Blei-Kontamination, die in porösen Erzeugnissen mit bleihaltigen Glasuren häufig nachzuweisen ist, und nicht mit der Präsenz bleihaltiger Glasfritten, die im Scherbenkörper fehlen.

Mittels röntgenographischer Analyse konnten folgende Phasen nachgewiesen werden (in abnehmender Konzentration): Quarz, Gehlenit, Diopsid, Plagioklas, Kalifeldspat, Kalzit und Hämatit (und Wollastonit?). Die Probe Ofe 20 enthält als Einzige noch ein wenig Illit (Tonmineral) mit deutlich schwächerer Ausprägung der Peaks der übrigen Phasen.

Zwei Typen von Engoben

Bei den mit einer weissen, opaken Zinnglasur überzogenen Ofenkacheln trennt eine beige Engobe die Glasur vom Scherbenkörper. Diese fehlt bei der mit einer transparenten, grünen Bleiglasur überzogenen Ofenkachel Ofe 20 und ist dort durch eine weisse Engobe, welche die Glasur und Scherbenkörper trennt, ersetzt.

Beige Engobe: Unter dem Lichtmikroskop entpuppt sich dieser Engobe-Typ als 500 bis 600 μm breite feinkörnige Lage zwischen der Glasur und dem Scherbenkörper (Abb. 7a). Bei gekreuzten Polarisatoren wird ihr hoher Gehalt an kleinsten, bräunlichgelben, sekundären, das heisst nach dem Garbrand retrograd aus nicht total silikatisiertem CaO und MgO entstandene (Fabbri et al. 2014) Karbonatkristallchen sichtbar (Abb. 7b). Die Grenze zur Glasur ist zwar scharf, aber wellig und wird von einer nicht sehr auffälligen dünnen Reaktionszone begleitet (Abb. 7c). Der Überzug besteht aus einem feinkörnigen Gemenge von Quarzen (Durchmesser circa 15 μm), gröberen Phyllosilikaten (Längste Länge circa 45 μm) und reliktischen Dolomitkörnern mit typischem rhomboedrischen Querschnitt (Durchmesser circa 10 μm), siehe Abbildungen 7d, e.

Im Vergleich zum Scherbenkörper und in Bestätigung des mikroskopischen Bildes muss der Überzug vor dem Brand karbonatreicher als der Scherbenkörper gewesen sein, wie dies der Vergleich der Mittelwerte von MgO und CaO zeigt (Mittel zusammen im Scherbenkörper: 19.2 Gew. %, in der Engobe 31.8 Gew. %, Tab. 4). Wie für eine tonmi-

neralreiche Engobe zu erwarten ist auch der Al_2O_3 -Gehalt um einige Gew. % höher. Die Engobe des Ofens 27b sondert sich durch ihre hohen Al_2O_3 - und niedrigeren MgO, SiO_2 - und CaO-Gehalte von den übrigen acht Engoben ab (Tab. 4).

In der chemischen Zusammensetzung der ehemaligen Dolomitkörper sind wegen deren Kleinheit auch grössere Mengen der mitanalysierten Umgebung enthalten (Tab. 4). Die qualitativen Analysen belegen einen äusserst hohen MgO-Gehalt und bestätigen somit die aus der Kornform abgeleitete Vermutung, dass es sich um ehemalige Dolomitkörper handelt. Es handelt sich aber nicht um reinen Dolomit, denn die hohen Eisenwerte deuten auf eine ankeritische Komponente.

Weisse Engobe: Die Grenzen zur darüberliegenden grünen Bleiglasur und dem darunterliegenden Scherbenkörper sind scharf, aber unregelmässig wellig (Abb. 8a). Die Dicke der Engobe ist grossen Schwankungen unterworfen und erreicht minimal 80, maximal 180 μm . Dieser weisse Überzug besteht aus unregelmässig geformten Quarzen mit maximalen Durchmessern von bis zu 200 μm in einer feinkörnigen filzigen Grundmasse ehemaliger Tonmineralien bzw. Phyllosilikaten (Abb. 8b, c).

Die Verteilungsmuster einiger chemischen Elemente in der Glasur, der weissen Engobe und im Scherbenkörper bringt die Abbildung 9. Für derartige Muster bzw. Karten gilt: Schwarz = keine bis geringe Konzentration des betreffenden Elementes. Die Helligkeit ist mit dem Gehalt korreliert, das heisst: je heller ein Bereich, desto höher ist dort die Konzentration des betreffenden Elementes. So sind die Quarze (SiO_2) im Si-Verteilungsmuster durch ihre helle Färbung klar zu erkennen, während sie in der Ca-Verteilungskarte schwarz erscheinen, da sie kein Kalzium besitzen. Die Glasur ist sehr reich an Blei (Pb), ein Element, das in der Engobe und im Scherbenkörper fehlt. Kalium (K) und Aluminium (Al) fehlen in der Glasur, sind aber in der Engobe in stärkeren Konzentrationen vorhanden als im Scherbenkörper. Dasselbe gilt für Silizium (Si), wobei in der Glasur zwei kleine flach-elliptische Quarze zu erkennen sind. Der Scherbenkörper hat deutlich mehr Kalzium (Ca) als die weisse Engobe.

Die Engobe entspricht einer Aluminium- (Al_2O_3 : 12–19 Gew. %, Tab. 4), Silizium-reichen (SiO_2 : 71–81 Gew. %), aber Magnesium- (MgO: 1–circa 2 Gew. %), Kalzium- (CaO: max. 2.4 Gew. %) und Eisen-armen (Fe_2O_3 : max. 1.7 Gew. %) keramischen Masse. Ihre Zusammensetzung unterscheidet sich deutlich von derjenigen der Scherbenkörper. Punktanalysen reliktischer Phyllosilikate zeigen, dass diese aus zwei Hauptoxyden, SiO_2 (59–64 Gew. %)

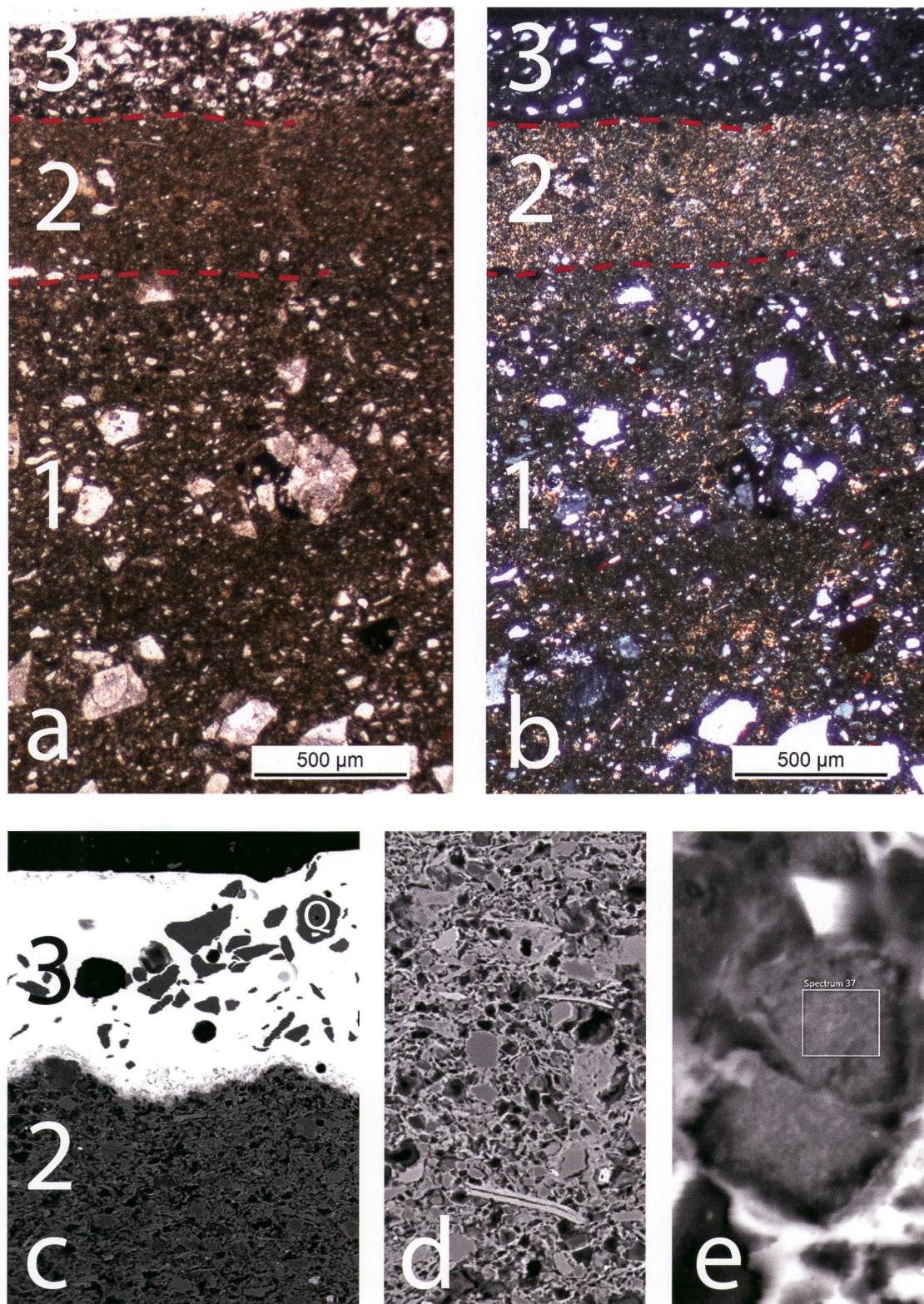


Abb. 7: Fayence-Ofenkacheln. (a) Polarisationsmikroskopisches Bild des Querschnittes durch den Scherbenkörper (1), die beige Engobe (2) und die Weissglasur (3). Ofe 25a, 1 Polarisator; (b) Dasselbe mit gekreuzten Polarisatoren; (c) REM-RSE Bild des Querschnittes durch die beige Engobe (2) und die Quarz (Q)-reiche Weissglasur (3). Bildbreite 280 μm . Ofe 26; (d) REM-RSE Bild der beige Engobe mit einigen Quarzen (hellgrau), dunklen ehemaligen Karbonatkörnern und grossen Phyllosilikatflittern in einer feinkörnigen, filzigen Grundmasse. Ofe 27, Bildbreite 100 μm ; (e) REM-RSE Bild zweier ehemaliger Dolomitkörper mit krümeligem Kern. Weisses Rechteck = analysierte Fläche (Spektrum Ofe 27b-37, Tab. 4). Ofe 27, Bildbreite 10 μm . Fotos M. Maggetti.

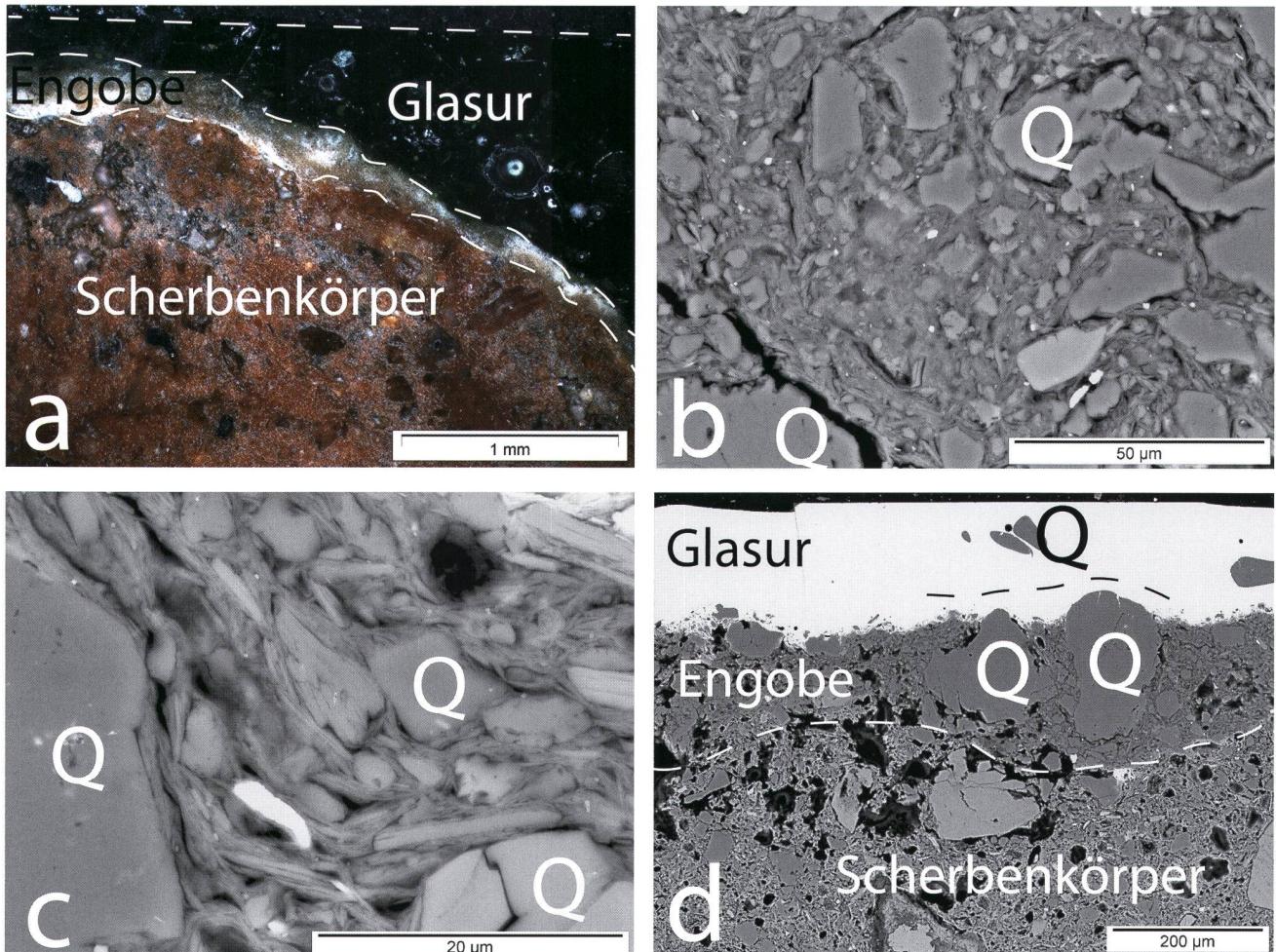


Abb. 8: Grünglasierte Reliefkachel Ofe 20. (a) Gefügebild im Übergang zu einer Rille (Auflichtmikroskop im Dunkelfeldmodus); (b) REM-REB Bild der weissen Engobe mit grösseren, grau erscheinenden Quarzkörnern (Q) in einer filzigen Grundmasse. Das stengelige, helle Korn rechts unten ist ein Rutil (TiO_2); (c) In stärkerer Vergrösserung erkennt man die blättrige Natur der ehemaligen Tonminerale (REM-RSE); (d) Die Glasur enthält einige deutlich kantengerundete linsenförmige Quarze (Q) unterschiedlicher Grösse. Von der Engobe ragen zwei grosse Quarze (Q) in die Glasur hinein, mit splittrig-eckigen Kornformen in der Engobe und runden in der Glasur. Die schwarze gestrichelte Linie entspricht der hypothetischen Grenze Engobe-Glasur vor dem Glattbrand, die weisse der Grenze Scherbenkörper-Engobe. *Fotos M. Maggetti*.

und Al_2O_3 (24–32 Gew. %), bestehen. Diese Zusammensetzungen sind weit von denjenigen kalzinerter Kaoliniten entfernt (54 Gew. % SiO_2 , 46 Gew. % Al_2O_3), und entsprechen eher illitisch-chloritischen Phyllosilikaten, wie dies die Mg-, K- und Fe-Gehalte dokumentieren.

Zwei Typen von Glasuren

Transparente grüne Bleiglasur: Diese Glasur ist, abgesehen von einigen rundlichen Quarzen (grösste Länge 65 μm), einschlussfrei (Abb. 8d). Auf horizontaler Unterlage erreicht sie Dicken zwischen 100 und 200 μm und in den konkaven Rillen über 500 μm , wo ihre Farbe vom Grün in ein Tiefschwarz übergeht. Laut chemischer Analyse (Tab. 5) handelt es sich um eine bleireiche Glasur mit fast 4 Gew. % gelöstem Kupferoxyd (CuO). In den quarzhaltigen Bereichen nimmt der SiO_2 -Gehalt naturgemäß zu.

Opake weisse Zinnglasur: Die Dicke der Weissglasuren variiert auf Grund der konvexen bis konkaven Kachelformen sehr stark. Auf den konvexen Kämmen, wo die Glasur abgeflossen ist, beträgt sie 30–70 μm und erreicht 350–380 μm in den konkaven Partien, wo die Glasur zusammengeflossen ist (Abb. 10a, b). Das Gefüge zeigt die typische Assoziation von zu Kristallhaufen gruppierten Cassiteriten mit vielen grösseren Quarz-Partikeln (Abb. 10c, d). Die rundlichen Umrisse der ehemals eckigen Quarze sind ein Hinweis, dass diese nicht im Gleichgewicht mit der Glasurschmelze waren und von ihr teilweise resorbiert wurden. Bei diesen Quarzen handelt es sich demnach um reliktische, gemahlene und daher splittrig-eckige Körner, die vor dem Glasurbrand der Glasur-mischung zugegeben wurden. Die chemische Zusammensetzung fünf unterschiedlicher Ofenkachel-Weissglasuren

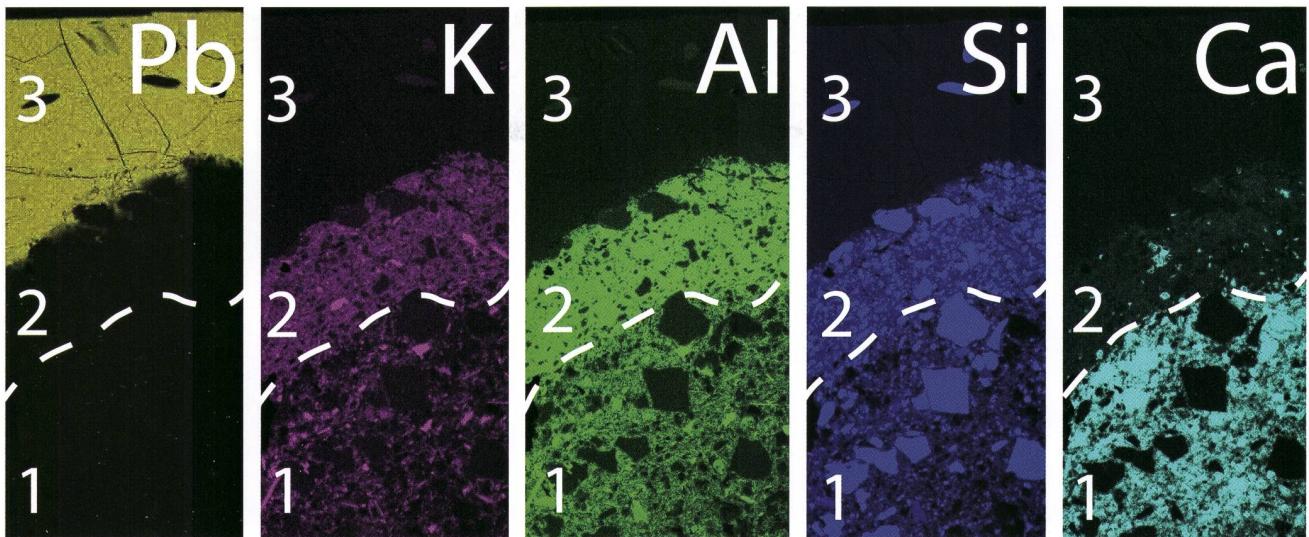


Abb. 9: REM-EDS Verteilungskarten für die Elemente Blei (Pb), Kalium (K), Aluminium (Al), Silizium (Si) und Kalzium (Ca) eines Querschnittes der Probe Ofe 20. (1) Scherbenkörper, (2) weisse Engobe und (3) Glasur. Für diese Bilder gilt: Je heller die Farbe, desto höher ist der Anteil des betreffenden Elementes für den betrachteten Bereich. Bildbreite je 0.46 mm. Fotos M. Maggetti.

ist recht ähnlich und wird von drei Hauptoxyden bestimmt, nämlich SiO_2 , PbO und SnO_2 (Tab. 5). In fast allen Weissglasuren konnten max. 80 μm grosse Bereiche mit abweichenden Gefügen (quarzreiche Kerne mit dünnen einschlussfreien Aussenzonen) beobachtet werden (Abb. 10 e, f). Ihre chemische Zusammensetzung divergiert von derjenigen der einschlussfreien Glasmatrix der Weissglasur (Tab. 5). So ist beispielsweise ihr CaO-Gehalt markant höher.

Die Ingglasur- bzw. Scharffeuer-Farben der Fayence-Ofenkacheln

Zur Untersuchung kamen die sieben Haupt-Scharffeuerfarben Blau (Ofe 21, 22, 23, 24, 27), Braun (Ofe 21), Gelb (Ofe 21, 24, 26, 27), Olivgrün (Ofe 27), Schwarz (Ofe 23, 24, 25), Türkis (Ofe 23) und Violett (Ofe 24). Die zwei Schattierungen der sogenannten Leberfarb oder Läberfarb (Frei 1932, Früh 2005, Matthes 2018) des Puttengesichts (Abb. 4) wurde aus denkmalpflegerischen Gründen nicht beprobt. Das ursprüngliche Gelb einiger Ofenkacheln wurde später mit einem opaken, viel dunkleren Gelb übermalt, wie dies beispielsweise in den Proben Ofe 25 und 26 schön zu sehen ist (Abb. 4). Auch diese sekundäre Farbe schied für die Analysen aus. Die zeitliche Abfolge des primären Dekorauftrages ist in der Abbildung 11 illustriert.

Blau: Die hellblaue Farbschicht liegt über der Weissglasur und ist durchschnittlich 50 bis maximal 75 μm dick (Abb. 12a). Im Auflichtmikroskop sind die ehemaligen farbigen Pulverkörper partiell zu sehen. Ansonsten ist die Farbe gut geschmolzen. Im mikroskopischen Dunkelfeldbild (Abb.

12b) lässt sich die Diffusion des blaufärbenden Kobaltoxyds (CoO) in die Weissglasur deutlich erkennen. Ihre Grenze zur Weissglasur ist wellig und scharf (Abb. 12c). Wo ein dunkelblauer Pinselstrich über einem hellblauen liegt, sind zwei Zonen mit unterschiedlichem Gefüge zu sehen: Über einer opaken, hellblauen, einschlussreichen und dicken Zone (1 in Abb. 12b, c) liegt eine transparente, dunkelblaue, einschlussfreie und dünne, max. 15 μm dicke Glashaut (2 in Abb. 12b, c). Laut den chemischen Analysen haben beide Blau geringe Gehalte von Zinnoxyd (SnO_2), Arsen (As_2O_3), Kobaltoxyd (CoO) und Nickeloxyd (NiO), siehe Tabelle 6. Die drei anderen Oxyde sind im Glas gelöst. Das helle Blau 1 ist laut den Abbildungen 12c und 12d sehr heterogen zusammengesetzt und besteht aus folgenden Phasen: (1) Homogene glasige Matrix; (2) Ein Haufwerk von kleinen SiO_2 -Kristallen, die im Rückstreuelektronen-Bild schwarz erscheinen. Bei den rundlichen SiO_2 -Kristallen könnte es sich um reliktische Quarze, bei den idiomorphen, prismatisch-pseudohexagonalen um Cristobalite handeln; (3) kleine, helle, tafelförmige Kristalle, deren exakte chemische Zusammensetzung wegen ihrer geringen Grösse nicht bestimmt werden konnte. Es handelt sich wohl um eine Pb-As-Ca Verbindung (Tab. 6); (4) Seltene Cassiteritaggregate (weiss) und (5) rare, grosse, kantengerundete Quarze (schwarz). Die zwei letztgenannten «Fremd»-Kristalle sind wohl während der Bemalung mechanisch aus der ungebrannten pulverigen Weissglasur in die Malschicht eingebracht worden, siehe Abbildungen 12e, f. Die vielen Kristalle bewirken die Opazität der blauen Farbe. Das einschlussreiche Blau 1 unterscheidet sich chemisch vom einschluss-

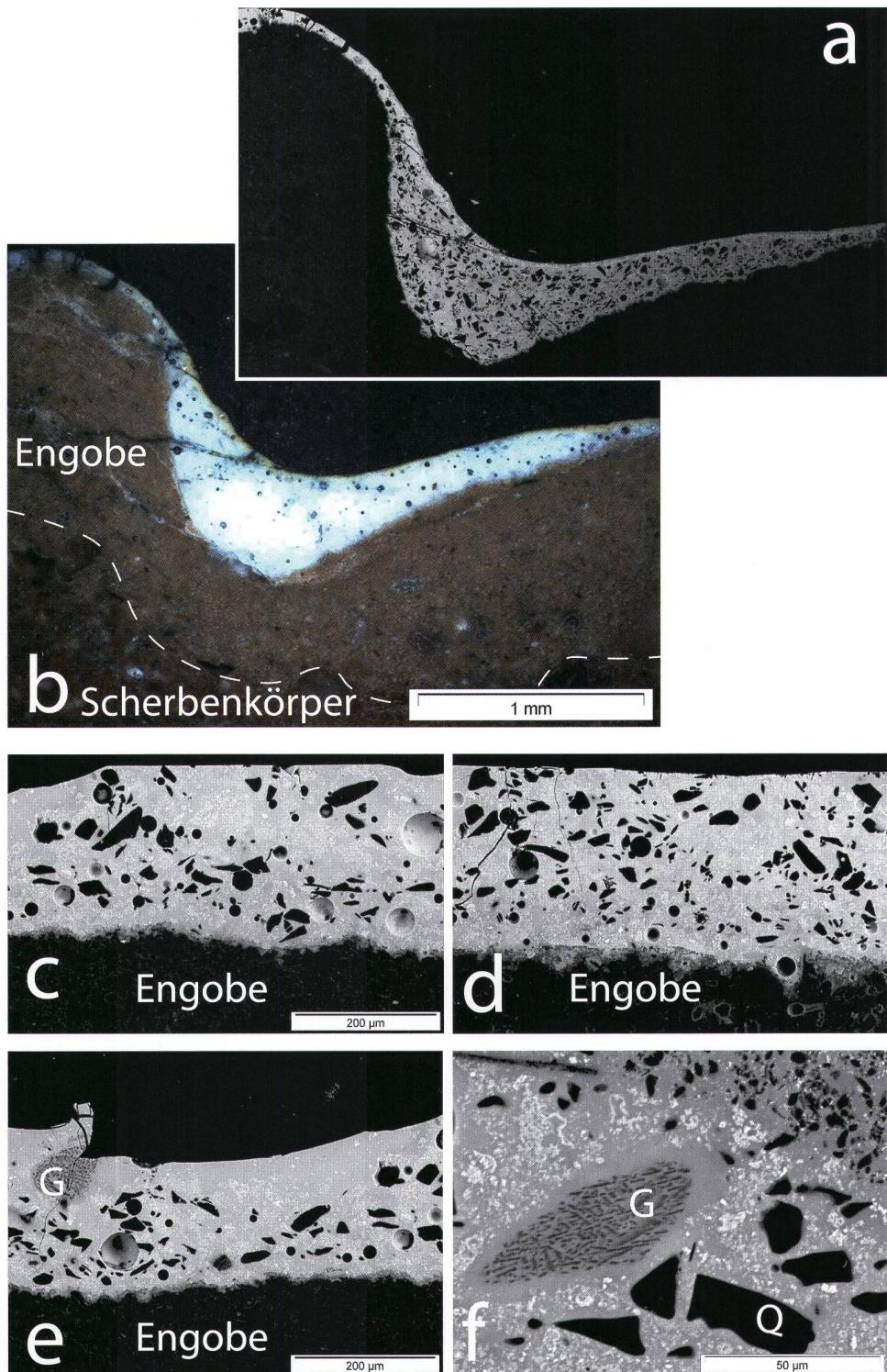


Abb. 10: (a) Elektronenmikroskopisches Bild (REM-RSE) des Querschnitts der Probe Ofe 21 mit unterschiedlich dicker Weissglasur in konvexen und konkaven Partien. Die Glasur ist voller Quarzsplitter (im Bild schwarz). Gleicher Massstab wie in b. (b) Derselbe Querschnitt im Auflicht-Polarisationsmikroskop (Dunkelfeld) mit dünnem gelbem Pinselstrich über der Weissglasur, die selber über der beigen Engobe liegt; (c) & (d) REM-RSE Bilder des Querschnitts der Weissglasuren der Proben Ofe 23 bzw. Ofe 24. Die Grenze zur hier schwarz erscheinenden beigen Engobe ist scharf und man sieht nur eine dünne Reaktionszone. Die Glasurdicke ist in beiden Proben vergleichbar. Die hellgraue Glasmatrix enthält viele kleinste Cassiterit-Kristalle (weiss) und angerundete, vormals splittrige Quarz-Fragmente (schwarz), nebst einigen Poren (runde Gebilde). Gleicher Massstab für c und d; (e) und (f) REM-RSE Bilder zweier Glasfragmente (G) in den Weissglasuren von Ofe 23 bzw. Ofe 27. Fotos M. Maggetti.

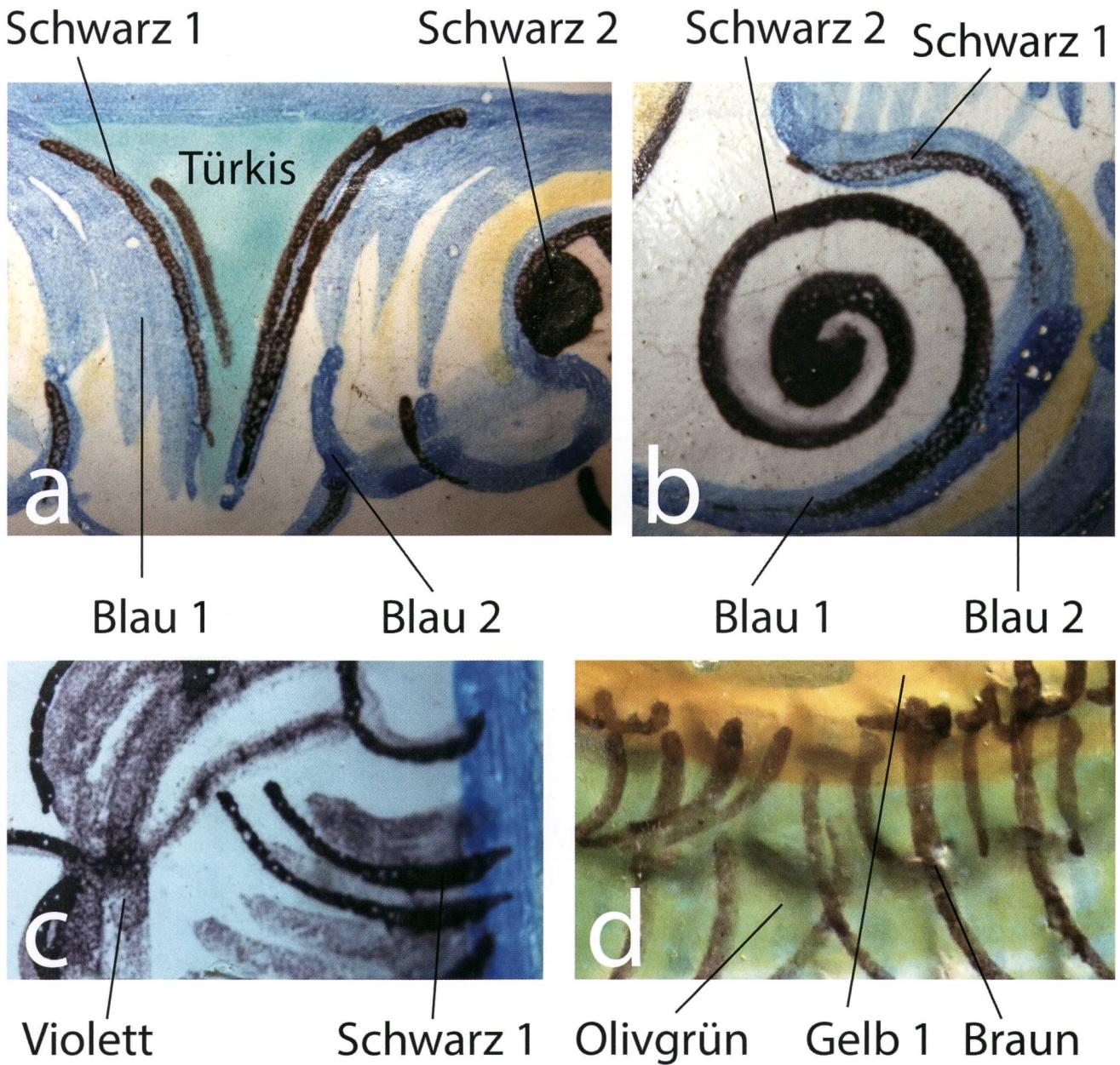


Abb. 11: Nahaufnahmen der Inglasturfarben und zeitliche Abfolge des Farbauftrags. (a) Ofe 25: Blau 1 / Türkis / Blau 2 / Schwarz 1 (blasig) und 2; (b) Ofe 26: Blau 1 / Hellgelb 1 / Blau 2 / Schwarz 2; (c) Ofe 24: Violett / Blau 2 / Schwarz 1; (d) Ofe 27: Olivgrün/ Gelb 1 / Braun. Fotos M. Maggetti.

freien Blau 2 vor allem durch höhere SiO_2 - und niedrigere PbO -Gehalte (Mittelwerte der Tab. 6). Die Gehalte des blau färbenden Kobaltoxyds (CoO) sind in beiden Zonen unter einem Gew. %. In der Glasmatrix der Zone 1 hingen konnten CoO -Werte von knapp über 2 Gew. % gemessen werden. An wenigen Stellen ist die Lagerung umgekehrt, wo eine Quarz-reiche Zone, ohne Pb-As-Ca Kristallen, über einer einschliffreien liegt (Abb. 12f).

Braun: Es gibt zwei verschiedene, gefügemaßig unterschiedliche braune Farben. Die Grenze des opaken, maximal circa 20 μm dicken braunen Pinselstrichs Typ 1 (1 in Abb. 13) zur darunterliegenden Weissglasur ist nicht einfach zu erkennen. Sie ist zwar scharf, hat aber einen äußerst unregelmäßigen Verlauf, was mit dem Auftrag der braunen Farbe auf die noch ungebrannte, pulverige Weissglasur erklärt werden kann. Dabei gerieten auch einige Cassiterit-Kristallhaufen in die braune Farbe. Die Grenze zwischen beiden ist wiederum scharf, unregelmäßig und

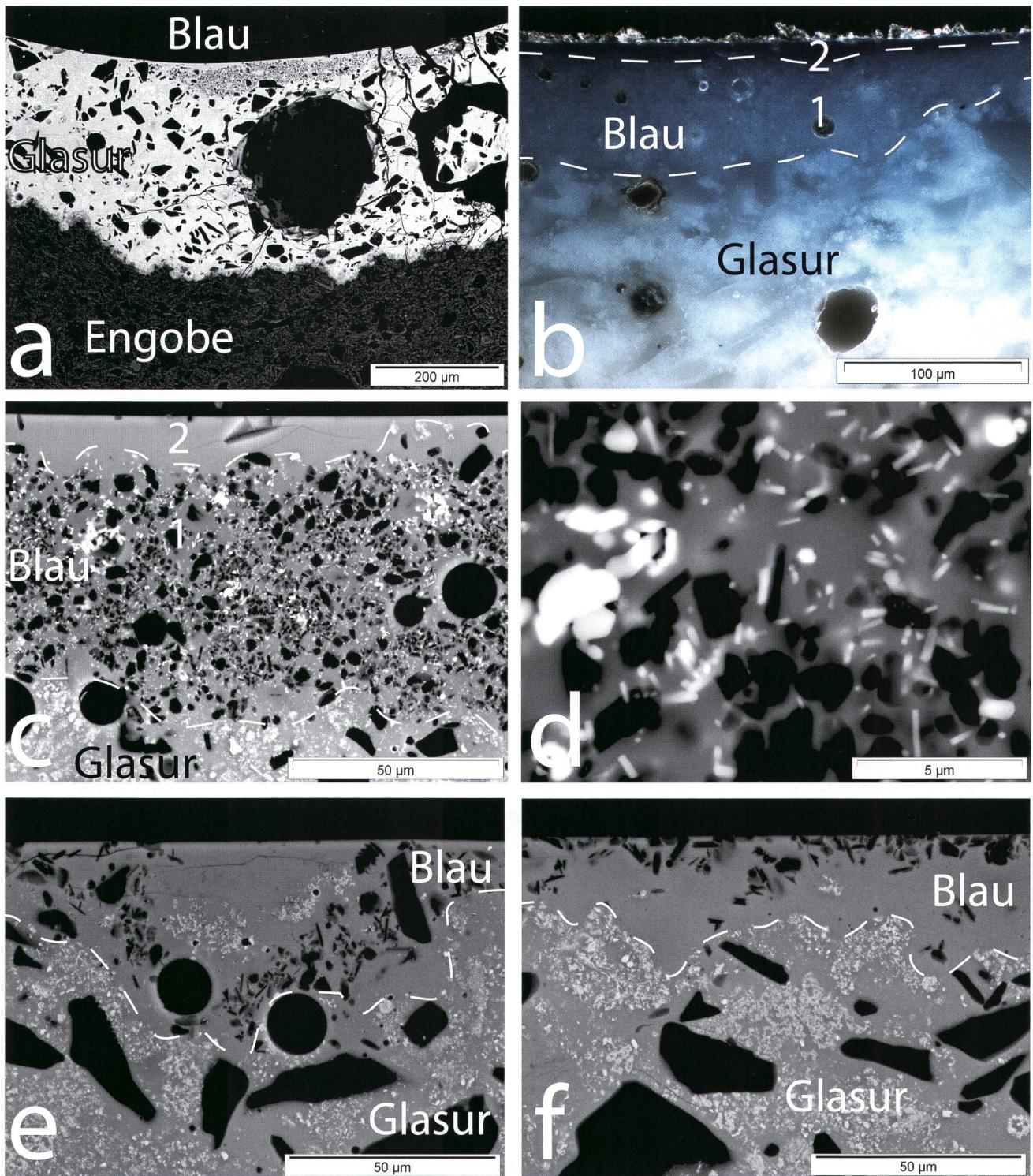


Abb. 12: Querschnitte durch die blaue Inglesurfarbe. (a) Pinselstrich im REM-RSE Bild (Ofe 21); (b) Mit dem Auflichtmikroskop im Dunkelfeldmodus wird die Zonierung des Blau (Zonen 1, 2) und die Kobaltdiffusion aus dem Blau 1 in die Weissglasur sichtbar (Ofe 27); (c) Einschlusffreies Blau 2 über einem einschlusreichen Blau 1 (Ofe 27, REM-RSE); (d) Im Blau 1 sind in einer glasigen Matrix (grau) viele SiO_2 -Kristalle (schwarz, wohl Quarze) und kleine weisse, pseudohexagonale, im Querschnitt nadelige Kristalle sichtbar (Ofe 27, REM-RSE); (e) Blau 2 enthält viele «Fremd»-Cassiterite (helle Kristalle), (Ofe 23, REM-RSE); (f) Blau 1 mit einschlusffreiem Bereich unter den SiO_2 -Kristallen (schwarz) und zwei «Fremd»-Cassiterithaufen (Ofe 23, REM-RSE). *Fotos M. Maggetti.*

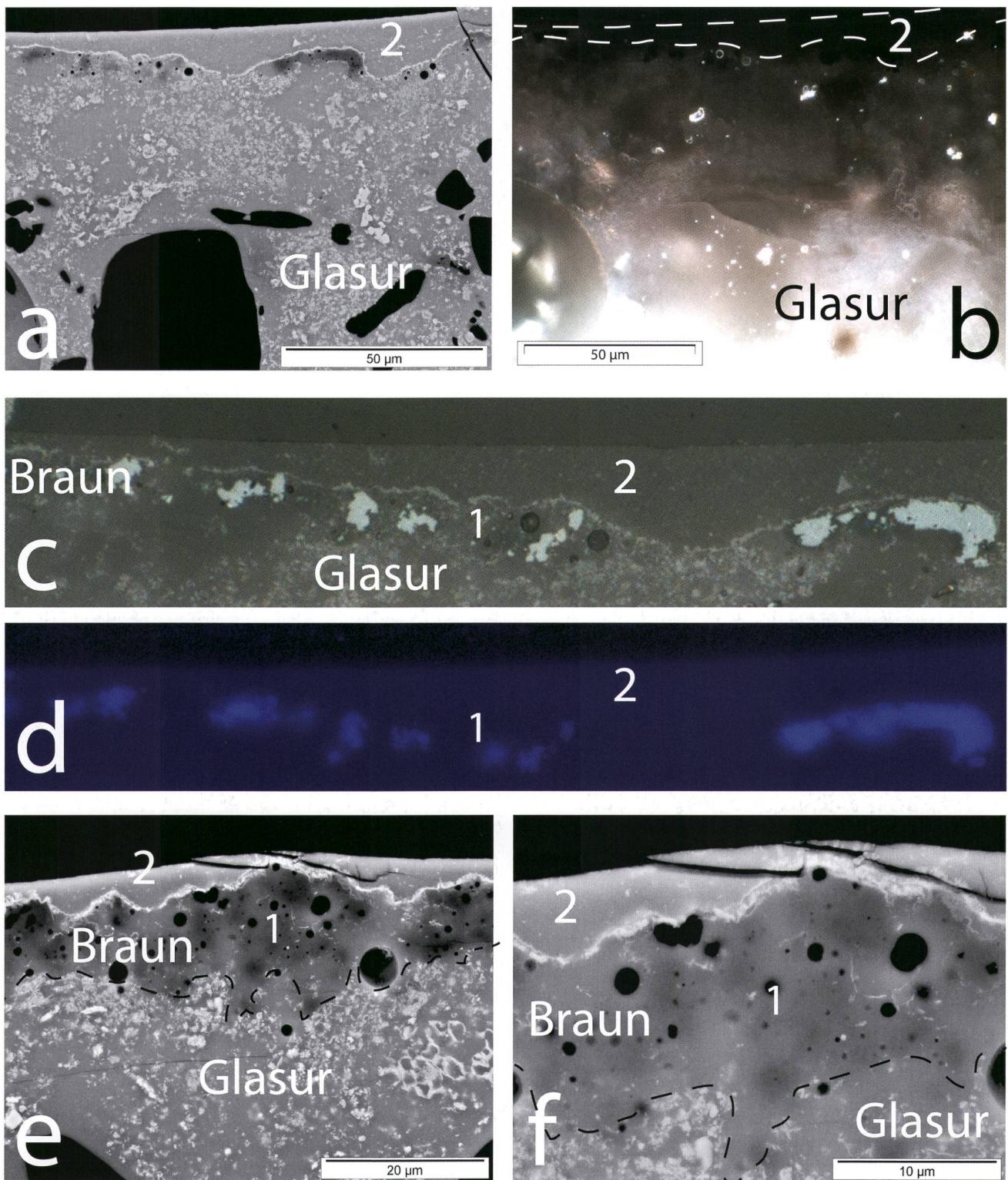


Abb. 13: Querschnitte durch die braune Inglesurfarbe (Ofe 21). (a) Pinselstrich im REM-RSE Bild; (b) Mit dem Auflichtmikroskop im Dunkelfeldmodus wird die Mangandiffusion in die Weissglasur sichtbar. Bildbreite 90 μm ; (c) Braun 2 über Braun 1 (Auflichtmikroskop, Hellfeldmodus); (d) Mapping der Mangan-Konzentration (REM). Gleicher Ausschnitt wie (c); (e und f) REM-RSE Bilder der Braun 1 und 2 über der Weissglasur. Fotos M. Maggetti.

wird zusätzlich durch eine Ansammlung kleinster Cassiterite betont (Abb. 13e, f). Im Auflichtmikroskop (Hellfeldmodus) sind in der ersten Zone hell reflekterende, grössere, längliche und kristalline Aggregate mit unregelmässigen Kornformen zu sehen (max. Länge 25 μm) (Abb. 13c). Sie präsentieren sich im REM-RSE Bild als dunkle Areale (Abb. 13 e, f). Bei sehr starker Vergösserung kommen dann kleinste rechteckige Täfelchen zum Vorschein, die sich kaum von der glasigen Matrix abheben und wegen ihrer geringen Korngrösse nicht weiter zu analysieren sind. Es könnte sich auf Grund ihrer Umriss um Braunate $\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{3+}_6(\text{O}_8)\text{SiO}_4$ handeln. Die Aggregate sind demnach als reliktische Ursprungspigmente zu deuten, die beim Glattbrand aufgeschmolzen und zu neuen Kristallphasen umkristallisierten. Der braune Pinselstrich enthält, abgesehen von der Glasmatrix und diesen Neo-Kristallen, noch viele Gasblasen und einige Cassiterite, die beim Malen aus der pulverigen Weissglasur eingeschleppt worden sind. Das Mangan-Verteilungsmuster zeigt, dass die ursprünglichen Pigmente sehr Manganreich gewesen sein müssen (Abb. 13d). Die Punktanalyse eines farbgebenden, opaken Reliktkristalls lässt sich mit einem reinen Manganoxyd vereinbaren, unter der berechtigten Annahme, dass die übrigen Oxyde, wegen der geringen Korngrösse des untersuchten Partikels, aus der glasigen Umgebung mitanalysiert worden sind (Tab. 6). Mit dem REM kann die kristallographische Natur dieser Phase zwar nicht eruiert werden, doch wäre die chemische Zusammensetzung mit einem eisenfreien Pyrolusit (Mn^{4+}O_2) gut zu vereinbaren. Der Mangangehalt liegt im braunen Pinselstrich bei 34 Gew. % Manganoxyd (MnO), siehe Tabelle 6. Beim Brand diffundierte das Mangan in die Weissglasur (abnehmend von 1–3 Gew. % MnO am Kontakt) und verursachte dort eine braune bis violette Verfärbung (Abb. 13b).

Braun 1 kann von einem dünnen, maximal 6 μm dicken Pinselstrich von Braun 2 überlagert werden (Abb. 13). Darin fehlen die Mn-Kristalle, dafür enthält dieses Braun 2 sehr inhomogen verteilte Cassiterite. So gibt es Bereiche ohne, solche mit wenig und solche mit viel Cassiterit, wobei die Übergänge fliessend sind. Die heterogene Verteilung würde für einen sekundären Eintrag aus der Weissglasur sprechen, wäre da nicht der Umstand, dass das Braun 2 über dem Braun 1 liegt, was eher dafür plädiert, dass die Cassiterite primäre Bestandteile der braunen Farbe sind. In den Cassiteritärmsten Bereichen erreicht MnO 5.3 Gew. %, in den Cassiteritreichen 4.3 Gew. % (Tab. 6, Analysen Ofe 21–85 bzw. Ofe 21–86).

Gelb: Kristallographisch, morphologisch und chemisch lassen sich zwei unterschiedliche Gelb unterscheiden. Das erste wurde in den Proben Ofe 24, 26 und 27, das zweite nur in Ofe 21 gefunden.

Der circa 40–50 μm dicke, gelbe Pinselstrich des ersten Typs besteht aus zusammengeschmolzenen gelben, selten roten Glaskörnern (Abb. 14a). In diesen sind eingelagerte Kristallpartikel zu sehen (Abb. 14b). Letztere sind für die Opazität verantwortlich, wie auch die Cassiterithaufen in anderen Glaspartikeln (Abb. 14c). Die wellige Grenze des gelben Pinselstriches zur darunter liegenden Weissglasur ist scharf. Eine farbliche Angleichung der obersten Weissglasur-Partien an das Scharffeuergelb ist nicht zu beobachten. Laut dem REM-Bild (Abb. 14c, d) kommen die Farbpigmente als isolierte, splittrige Kristalle unterschiedlichster Grössen oder als Aggregate mit rundlichen Umrissen vor. Die ursprünglichen Umrisse der gemahlenen Glassplitter lassen sich noch sehr gut erkennen, wie beispielsweise das Korn mit einer grossen runden Gasblase und vielen Cassiteriten in einer glasigen Matrix (Abb. 14e). Diese weissen, opaken Glaspulverkörner stammen nicht etwa aus der darunterliegenden Weissglasur – die Quarze fehlen! – sondern wurden ab initium mit dem gelben Farbpulverglas vermischt, um unterschiedlich helle bzw. dunkle Gelbtöne zu erzeugen. So wurde das helle Gelb der Kachel Ofe 26 durch die reichliche Zugabe von Weissfritte zum gelben Glaspulver erzeugt (Abb. 14f). Im Scharffeuergelb dominieren die Oxyde des Siliziums (Si), Zinn (Sn), Antimon (Sb) und Blei (Pb), siehe Tabelle 6. Die färbenden Pigmente sind gelbe, Pb- und Sb-reiche Kristalle, mit wenig eingelagertem Eisen (Fe), und entsprechen chemisch dem Pigmenttyp Neapelgelb, während die glasige Matrix nur geringe Antimon-Anteile aufweist. Rote Glaspartikel enthalten denselben, aber deutlich eisenreicheren Kristalltyp. In den Cassiterit-reichen Glaspartikeln konnten SnO_2 -Gehalte bis zu 37 Gew. % gemessen werden (Tab. 6).

Die Dicke der Pinselstriche des zweiten Gelbtyps übersteigt keine 45 μm (Abb. 15a). Auch dieses Gelb entpuppt sich als eine zusammengeschmolzene Ansammlung von gelbem, selten rotem Glaspulver mit scharfer, aber wellig ausgebildeter Grenze zur Weissglasur. Das Gefüge unterscheidet sich aber deutlich von demjenigen des ersten Typs. Die farbgebenden Kristalle sind viel feinkörniger, Cassiterite fehlen, dafür sind SiO_2 -Kristalle (Cristobalite?) zu erkennen (Abb. 15b-d). Das Resultat der chemischen Analyse bestätigt diesen Befund: SnO_2 fehlt vollständig, dafür ist aber der SiO_2 -Gehalt niedriger und der CaO -Gehalt deutlich höher als beim Gelb vom Typ 1 (Tab. 6). Die Analyse der Einzelkristalle erwies sich wegen ihren geringen Korngrössen als ein schwieriges Unterfangen. Die meisten sind zwar vom PbSb-Typ, doch gibt es einige vom PbSbSn-Typ, die sich bevorzugt um reliktische Zinnoxydkerne scharen (Abb. 15d).

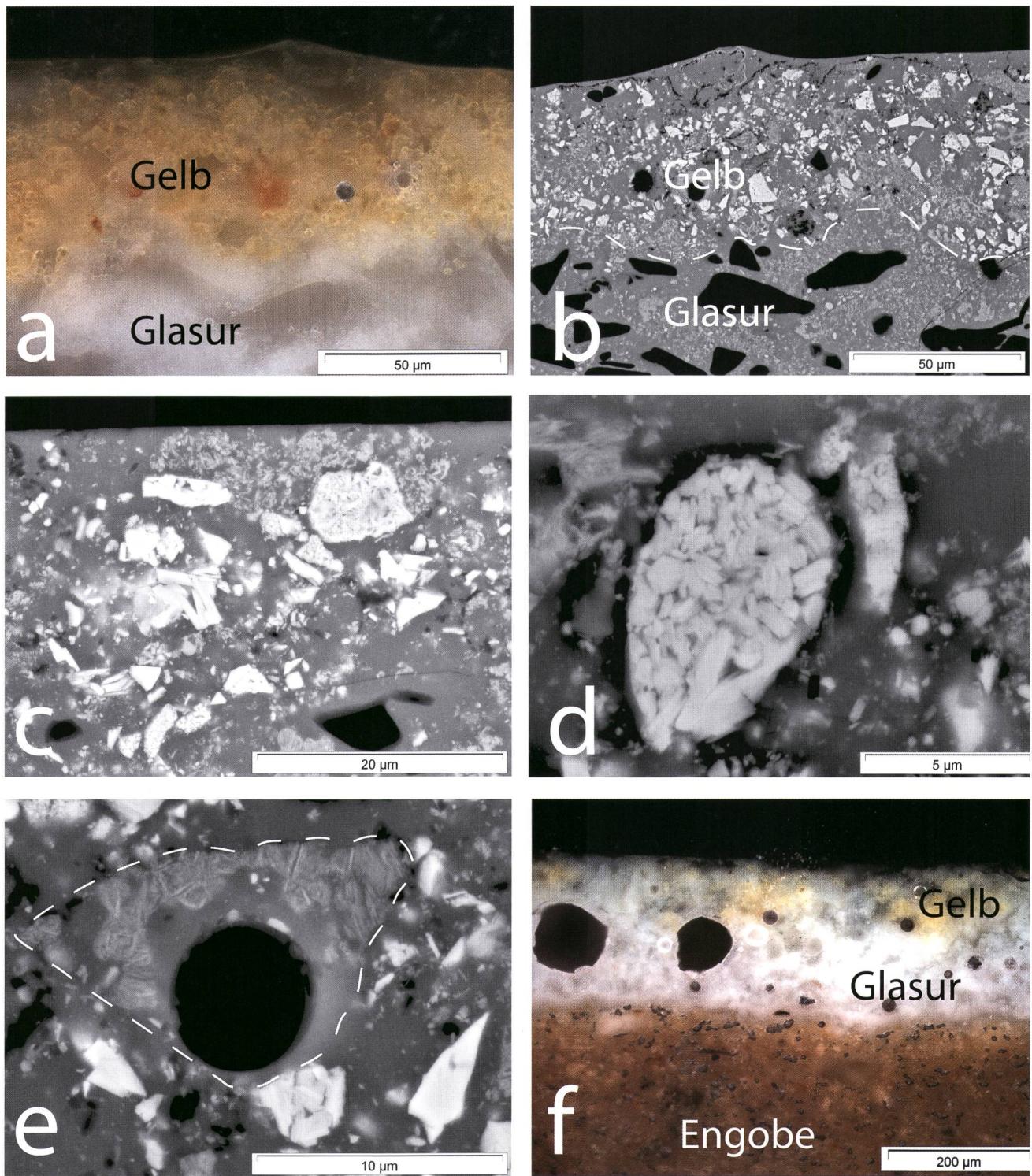


Abb. 14: Querschnitte durch die Ingglasurfarbe Gelb 1 (Ofe 27). (a) Im Auflichtmikroskop (Dunkelfeldmodus) erkennt man gut die gelben und die seltenen roten Glaskörper des gelben Pinselstriches über der Weissglasur; (b) Derselbe Ausschnitt als REM-RSE Bild; (c) Heterogene Pb-Sb-Kristalle (hellweiss) nebst SnO_2 -Haufen (weiss) in einer glasigen Matrix (grau), REM-RSE Bild; (d) Aufbau eines Gelbkorns, REM-RSE Bild; (e) Korn mit relikтив erhaltenerem splitrigem Umriss und reich an Cassiteritkristallen in einer glasigen Matrix; (f) Mit Weissfritte aufgeholtetes Gelb (Auflicht, Dunkelfeldmodus). (Ofe 26). Fotos M. Maggetti.

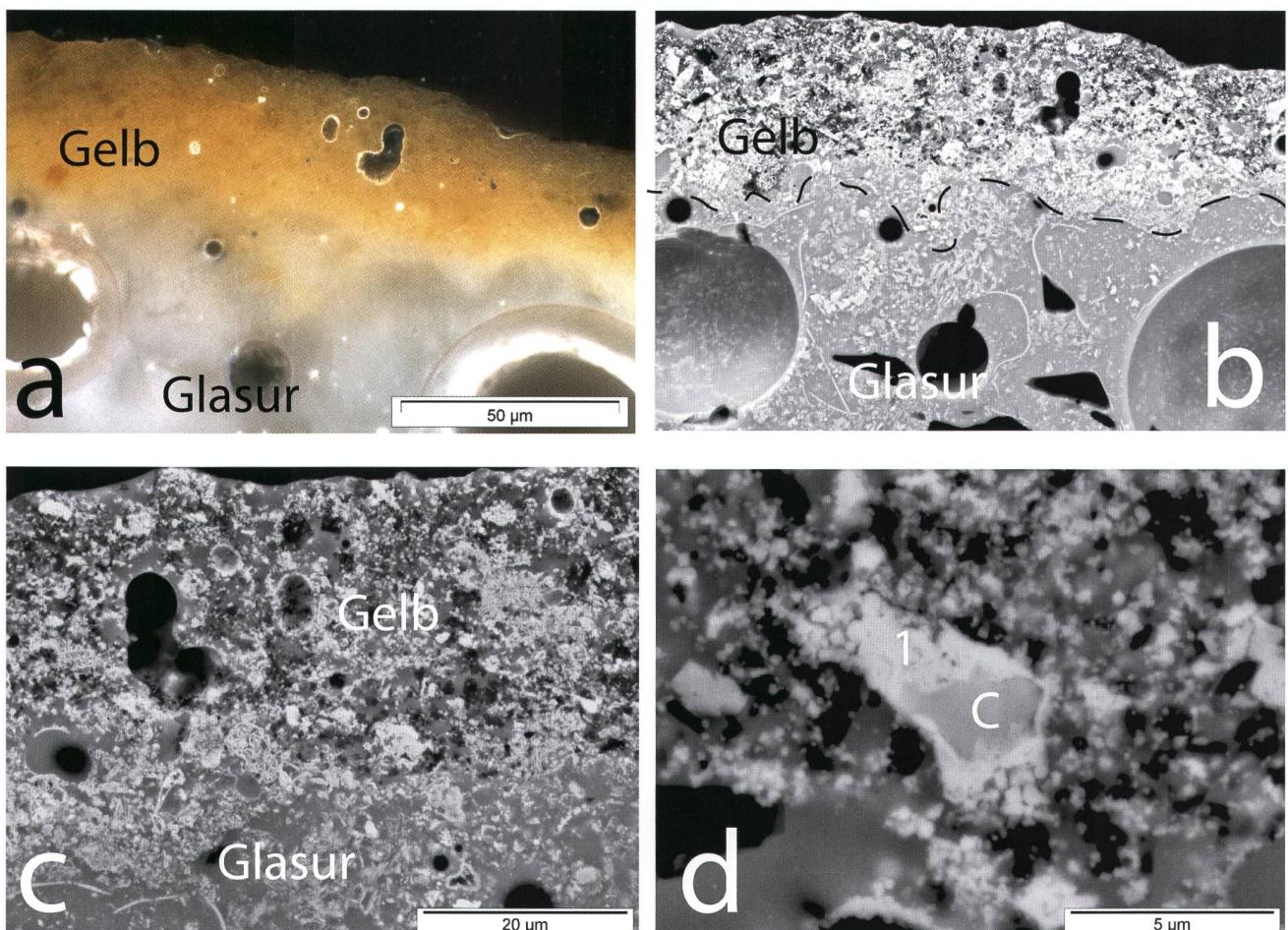


Abb. 15: Querschnitte durch den zweiten Typ Gelb (Ofe 21). (a) Mikroskopisches Bild (Auflicht, Dunkelfeldmodus); (b) Fast derselbe Ausschnitt als REM-RSE Bild (Gleicher Massstab wie a); (c) Nahaufnahme, BSE-RSE Bild; (d) Cassiteritkern (C) in einem grossen Pb-Sb-Sn-Kristallaggregat. Die kleinen weissen Kristalle sind entweder Pb-Sb-Oxyde oder Pb-Sb-Sn-Oxyde (1 = Analyse Ofe 21b-2 in Tab. 6). Grau = glasige Matrix, schwarz = SiO_2 -Phase (Cristobalit ?). BSE-RSE Bild. Fotos M. Maggetti.

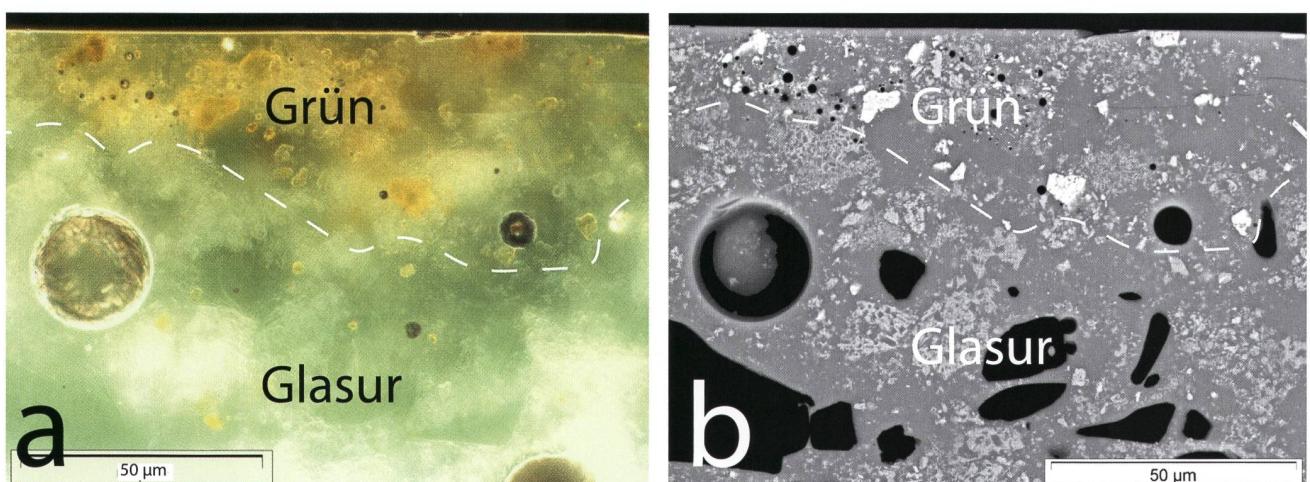


Abb. 16: Querschnitte durch die Scharffeuerfarbe Grün (Ofe 27). (a) Im Auflichtmikroskop (Dunkelfeldmodus) erkennt man im grünen Pinselstrich gut die gelben bis roten Glaskörner in einer grünlichen, glasigen Grundmasse; (b) Derselbe Ausschnitt als REM-RSE Bild. Fotos M. Maggetti.

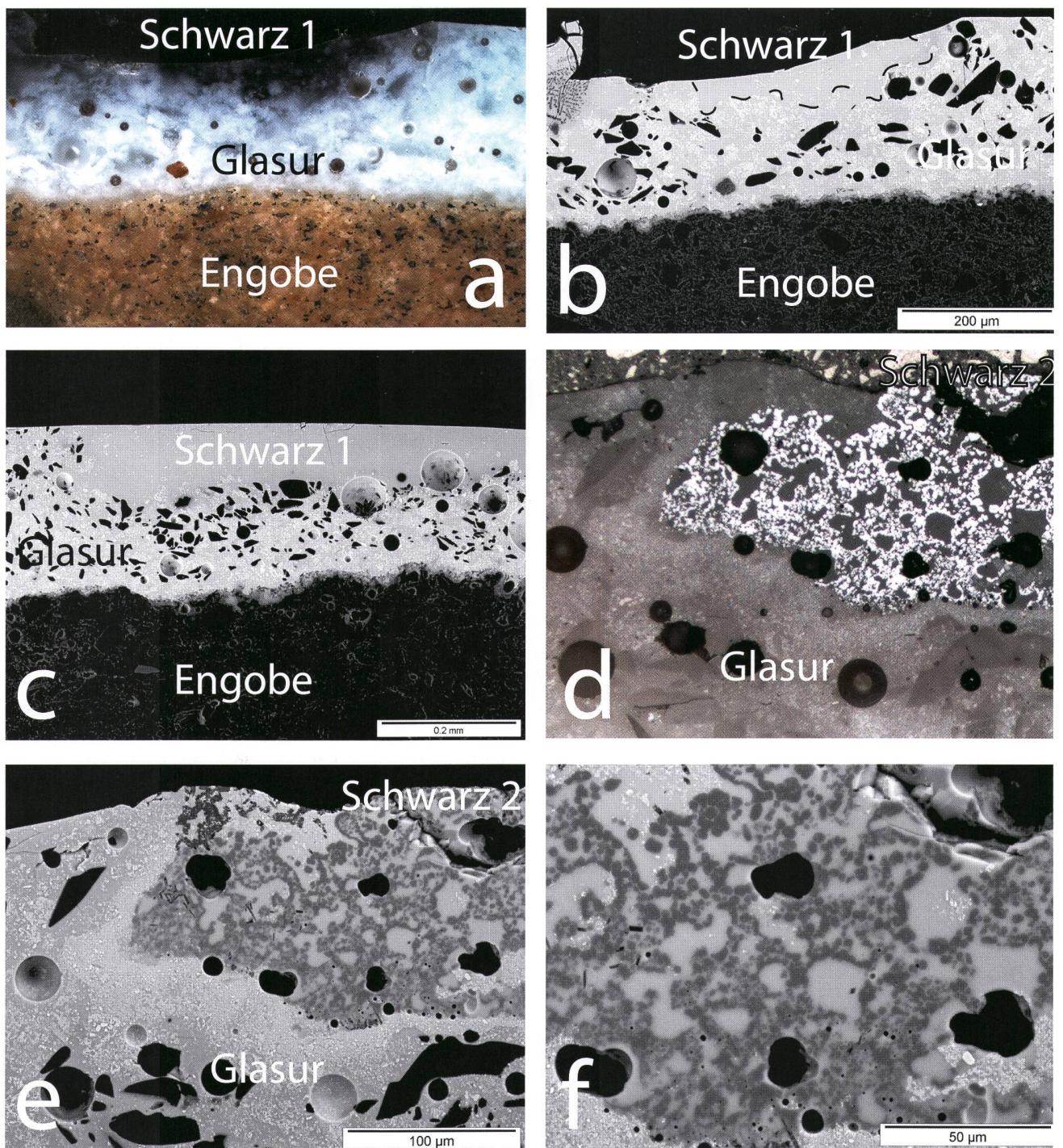


Abb. 17: Querschnitte durch die Scharffeuerfarben Schwarz Typ 1b und 2 (d-f, Ofe 25). (a) Im Auflichtmikroskop (Dunkelfeldmodus) hebt sich der schwarze Pinselstrich gut von der Weißglasur ab (Ofe 23); (b) Derselbe Ausschnitt als REM-RSE Bild; (c) Das Schwarz vom Typ 1b hat nur wenige Fremd-Cassiterite. REM-BSE (Ofe 24); (d) Im Auflichtmikroskop (Hellfeldmodus) erkennt man im Schwarz Typ 2 viele hell reflektierende Kristalle. Massstab wie in (e); (e) REM-RSE Bild desselben Ausschnittes. Die Kristalle erscheinen hier als graue Körner, die glasige Grundmasse hellgrau, die Poren schwarz und die Fremd-Cassiterite weiß; (f) Stärkere Vergrößerung von (e). Fotos M. Maggetti.

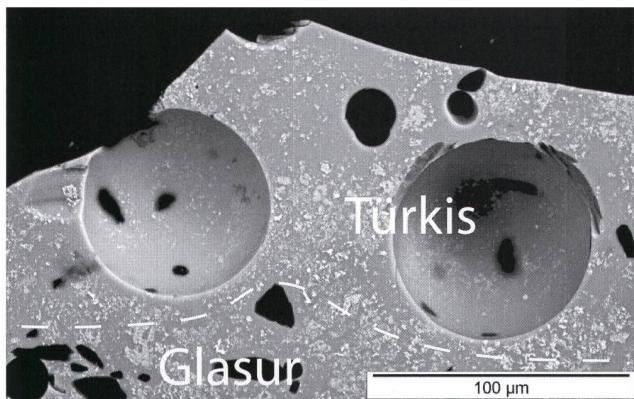


Abb. 18: Querschnitt durch die Scharfffeuerfarbe Türkis (Ofe 23). Der türkisfarbene Pinselstrich (oberhalb der weissen gestrichelten Linie) enthält in fast homogener Verteilung einzelne Cassiterite und -Haufen und unterscheidet sich von der darunterliegenden Weissglasur nur durch die fehlenden grossen Quarze. Fotos M. Maggetti.

Olivgrün: Bei dieser opaken Farbe (Pinselstrich circa 45 µm dick) ist die Grenze zur Weissglasur schwierig auszumachen, da letztere wegen den beim Garbrand erfolgten Kupfer (Cu)-Diffusionen eine grünliche Farbe angenommen hat (Abb. 16a). Diese Diffusion ist bis zum Kontakt mit dem Scherbenkörper nachzuweisen, denn in der Weissglasur konnten dort noch CuO-Gehalte von circa 1 Gew. % gemessen werden (Tab. 6). Die Grenze zwischen der olivgrünen Farbe und der Weissglasur zeigt grosse Undulationen und wurde dort gezogen, wo fast keine gelben Partikel mehr in der Weissglasur nachzuweisen sind. Unter dem REM erkennt man im Olivgrün drei Bereiche (Abb. 16b): (1) Opake, weisse Cassiterithaufen; (2) Kristallfreie, dunkelgrüne glasige Domänen mit Kupferoxyd (CuO)-Gehalten über 2 Gew. % (Tab. 6) und (3) grosse splittrige PbSb-Oxyd-Kristalle bzw. Kristallaggregate wie im Gelb vom Typ 1. In diesem Grün fehlen die grossen Quarze der Weissglasur. Dieses Olivgrün ist demnach eine Mischfarbe, entstanden durch die Vermengung von gelben Kristallen mit einer kupferhaltigen, grünen Weissfritte.

Schwarz: Kristallographisch, morphologisch und chemisch lassen sich zwei Schwarz unterscheiden. Das erste entspricht den schwarzen, die Bildmotive betonenden Konturstrichen, das zweite den schwarz gefüllten Kreisen. Das Schwarz vom Typ 1, mit einer maximalen Dicke von 120 µm, kann drei Untergruppen zugeordnet werden: (a) einschlusffreies Schwarz; (b) Schwarz mit einigen Cassiteriten, die beim Malen mechanisch aus der pulvigen Weissglasur in die schwarze Farbe gelangten (Abb. 17a-c); und (c) Schwarz mit vielen primären, d. h. schon ursprünglich, vor dem Garbrand, in der Farbe vorhanden gewesenen

Cassiteriten. Die Grenze des Schwarz 1 zur Weissglasur ist scharf und verläuft unregelmässig. Gemäss Tabelle 6 wird Schwarz 1 durch eine Kombination mehrerer, im Glas gelöster Oxyde erzeugt: Mangan, Eisen, Kobalt und Nickel. Das CuO der Probe Ofe 23 hat damit nichts zu tun, denn es diffundierte während des Garbrandes von der darunter befindlichen Türkisfarbe ins Schwarz hinein. Chemische Unterschiede sind beispielsweise in den SnO_2 - (höchste Werte von 13 Gew. % beim Schwarz Typ 1c) und der Co- und Ni-Führung (nur in Schwarz 1a und 1b) zu erkennen.

Das Schwarz vom Typ 2 wurde noch dicker aufgetragen (maximale Dicke circa 240 µm) und hebt sich mit einer welligen Grenzfläche scharf von der darunterliegenden Weissglasur ab (Abb. 17d, e). In der Abbildung 17d liegt die Weissglasur über dem Ende des Pinselstriches, woraus eine Verdickung in diesem Bereich resultiert. Die pulvige Weissglasur wurde offensichtlich mit dem Pinsel auf die Seite gedrängt und schob sich mechanisch über das Schwarz. Die vielen, im Hellfeld stark reflektierenden Kristalle mit maximalen 2-3 µm Durchmessern sind die Ursache für die opake Erscheinung dieser Farbe (Abb. 17d). Es handelt sich bei diesen Kristallen um dünne Plättchen, mit oft pseudohexagonalen Umrissen, die von einer homogenen, einschlusffreien Glasmatrix umgeben sind. Das Schwarz enthält noch Poren aller Grössen und Fragmente der Weissglasur, die beim Auftrag der Farbe mechanisch inkorporiert wurden (Abb. 17f, unten rechts). Im Dunkelfeldmodus des Auflichtmikroskops sind die Kristalle und die glasige Matrix tiefschwarz. In der Gesamtanalyse entpuppt sich diese Farbe als eisenfreies, sehr MnO -reiches und Bariumoxyd (BaO)-haltiges Schwarz. Das Barium ist in der Glasmatrix angereichert. Die SnO_2 -Gehalte stammen von den mechanisch inkorporierten Weissglasur-Fragmenten. Die kleinen Kristalle bestehen vorwiegend aus Manganoxyd und SiO_2 , denn es ist anzunehmen, dass die übrigen Oxyde aus der umgebenden Glashpase stammen – ein wohlbekanntes Problem bei der Untersuchung solch kleiner Partikel. Diese chemische Zusammensetzung passt gut zum tetragonalen Braunit, wofür auch die Umrisse sprechen würden, die Querschnitten tetragonaler Bipyramiden, der kristallographischen Hauptform des Braunits, entsprechen könnten.

Türkis: Die Dicke dieses blaugrünen Farbauftrages erreicht Maximalwerte von circa 100 µm und grenzt wellig, aber scharf an die darunter befindliche Weissglasur (Abb. 18). Im REM Bild sind relativ homogen verteilte kleine Cassiterite neben wenigen Cassiterithaufen zu erkennen. Die Gesamtanalyse eines Türkis der Probe Ofe 23 zeigt höhere Na_2O - (3 Gew. %) als K_2O -Gehalte (2,3 Gew. %). CuO liegt bei 2 Gew. % (Tab. 6). Unter dem Türkis lie-

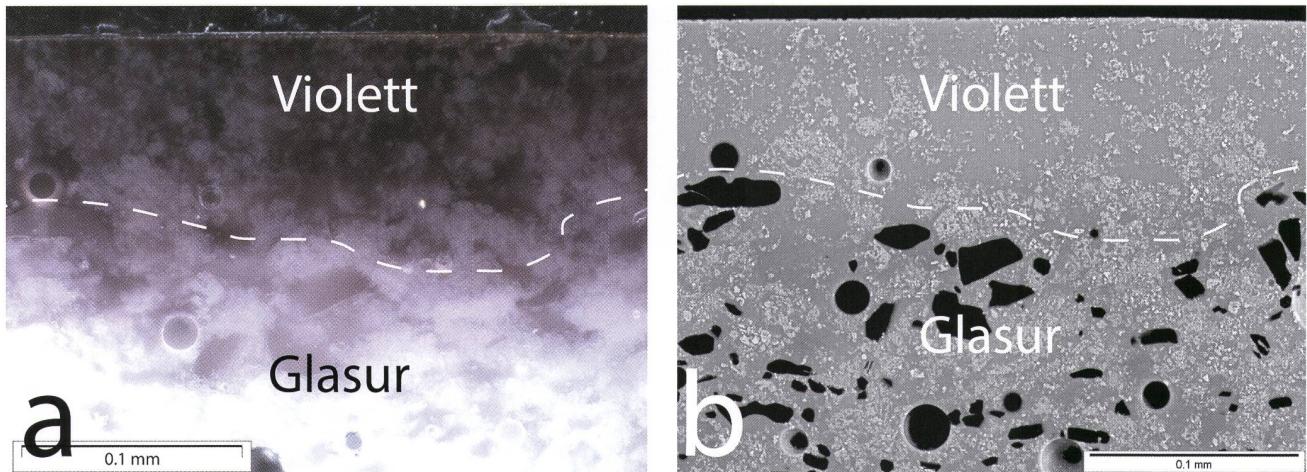


Abb. 19: Querschnitte durch die Scharffeuerfarbe Violett (Ofe 24). (a) Im Auflicht (Dunkelfeld); (b) Derselbe Ausschnitt als REM-RSE Bild. Fotos M. Maggetti.

gende Weissglasuren haben wegen ihres Gehaltes an grossen Quarzen erwartungsgemäss höhere SiO_2 -Gehalte, doch zeigen ihre CuO -Werte (1.3 Gew. %), dass beim Glattbrand beträchtlich viel Kupfer aus dem Türkis in die Weissglasur hinein diffundierte.

Violett: Durch Mangandiffusion violett verfärbte Weissglasuren lassen sich überall am Kontakt zu den schwarzen und braunen Scharffeuerfarben beobachten. Diese sekundären Verfärbungen werden hier nicht behandelt. Eine echte violette Scharffeuerfarbe besitzt die Probe Ofe 24. Der violette Pinselstrich entpuppt sich unter dem Reflexionsmikroskop als ein inhomogenes Gemisch weisser Partikel in einer violetten Glasmatrix (Abb. 19a). Die Dicke variiert sehr und erreicht Maximalwerte von circa 100 μm . Die Grenze zur darunterliegenden Weissglasur ist wellig und unscharf. Im REM Bild erweisen sich die weissen Partikel als Glasfragmente, die eine Vielzahl Cassiterite unterschiedlichster Formen, eingebettet in einer Glasmatrix, enthalten (Abb. 19b). Die violette Farbe und die Weissglasuren der Ofenkacheln sind sich gefügемässig sehr ähnlich, was die Korngrösse der Cassiterite und deren Verteilung angeht. Im Violett fehlt aber der typische Zuschlag grosser, kantengerundeter Quarze der Weissglasuren. Aus diesem Grunde ist die Grenze Violett/Weissglasur im REM Bild klarer zu ziehen als im Auflichtbild. Die fehlenden SiO_2 -Partikel machen sich erstaunlicherweise in der Violett-Analyse nicht bemerkbar, denn sie gleicht dem Mittelwert der Weissglasuren, mit sehr wenig MnO (Tab. 6). Da im Violett keine Mn-Kristalle zu erkennen sind, muss das Mangan aus der Glasmatrix stammen und dort als Ion gelöst sein.

DISKUSSION

In diesem Kapitel werden die Resultate mit denjenigen von anderen Hafnereien verglichen und im Lichte zeitgenössischer Rezeptursammlungen interpretiert. Mit derartigen technologischen Schriftquellen aus deutschen und österreichischen Hafnereien des 17. und 18. Jahrhunderts befasste sich Matthes (2009, 2010, 2011a, 2011b, 2012, 2013) und mit französischen Maggetti (2012, 2013b). Grundlegende Werke über die Glasuren sind unter vielen anderen auch Rhodes (1973) und Matthes (1990). Wichtig sind natürlich schweizerische Kompendien, die im Folgenden kurz vorgestellt sein sollen.

Schweizerische Rezept-Sammlungen

Aus schweizerischen Fayence-Manufakturen haben einige wenige Rezeptbüchlein die Wirren der Zeit überstanden:

Bern: Manufaktur Frisching. Rezepte des Daniel Herrmann, mehrheitlich datiert 1763–1769, und von seinem Enkel Daniel Herrmann circa 1861 aufgezeichnet. (Staehelin 1970; Boschetti-Maradi 2006; Matthes 2013, 2015, 2017).

Carouge: Fayence- und Steingut-Manufaktur Baylon. Einige Massenversätze und Glasur-Rezepte, datiert 1831 (evtl. vor 1824), aufgeschrieben von Antoine Louis Baylon (Maggetti 2017b).

Lenzburg: Manufaktur Frey. Undatiertes Rezeptbüchlein, zurückgehend auf Johann Jakob Frey [Aufgeschrieben 1775–1791?] und von den späteren Manufaktur-Besitzern bis zum 22.3.1880 nachgeführt (Ducret 1948; 1950, 94–99, 162–175).

Matzendorf: Manufaktur. Mehrere Erdenmischungen, Glasur- und Farbrezepte für Fayencen, datiert 1805–1808. Diverse Autoren (Felchlin 1971, 34–38).

St. Antonien: Hafnerei Lütscher. Rezeptbuch von Peter Lütscher und Nachfolger, verfasst 1725–1865 (Boschetti-Maradi 2006; Matthes 2019)

Steckborn: Hafnerei Meyer. Ein undatiertes Rezeptbüchlein (Früh 2005: des Daniel IV Meyer?) und ein 1748 datiertes des Daniel Meyer Jünger (Frei 1932, Früh 2005).

Winterthur: Aus dem beginnenden 18. Jahrhundert sind mehrere Rezeptsammlungen des Winterthurer Hafners David III Pfau bekannt, dessen Lebensdaten wie folgt vermerkt wurden: 1.7.1681–26.8.1767 (Bellwald 1980), 1681–1767 (Wyss 1973, 51; Frascoli 1997, Abb. 128), 1681–176? (Schnyder 1989, Tabelle S. 13). Bellwald (1980, 67) erwähnt ein in Privatbesitz befindliches Büchlein des David Pfau aus dem Jahre 1722 und ein jüngeres Rezeptkonzert in der Stadtbibliothek Winterthur. Zwei 1725 datierte, in Privatbesitz befindliche Rezepthefte des David Pfau wurden von Frei (1928), Wyss (1973, 17) und Boschetti Maradi (2006) kurz, und von Matthes (2018) eingehend besprochen. Auch wenn diese Rezeptsammlungen einige Jahrzehnte nach der Errichtung des Rüdlinger Kachelofens niedergeschrieben wurden, können sie doch wertvolle Hinweise auf den technischen Stand im ausgehenden 17. Jahrhundert geben, zumal solche Rezepte in mühseliger Arbeit erprobte, wohlgehütete und von Generation zu Generation weitergegebene Familiengeheimnisse darstellen.

Der Stopflehm Ofe 25

Dieser Lehm scheidet auf Grund seines hohen CaO-Gehaltes als Rohstoff für die Ofenkacheln aus. Seine chemische Zusammensetzung, vor allem seine hohen Magnesiumanteile (siehe unten), sind aber durchaus mit einer lokalen Herkunft zu vereinbaren.

Die Scherbenkörper

Gleicher Produktionsort: Die neun Ofenkacheln sind sich gefügemaßig und chemisch so ähnlich, dass eine Herkunft aus einem einzigen Hafnerzentrum (Winterthur) plausibel erscheint. Dies gilt auch für die Reparaturkachel (Probe Ofe 24), die sich beispielsweise in den Korrelationsdiagrammen der Abbildung 8 nicht von den anderen Ofenkacheln unterscheidet.

Differenzierung zu anderen schweizerischen Produktionszentren: In derselben Abbildung wird schön sichtbar, wie verschieden die chemische Zusammensetzung der Rüdlinger Ofenkacheln von denjenigen der bisher analysierten

schweizerischen CaO-reichen Ofenkacheln des Kantons Freiburg und des Juras ist. Ihr niedriger TiO₂-Gehalt differenziert sie beispielsweise von den jurassischen und ihr hoher MgO-Gehalt von diesen und den freiburgischen Ofenkacheln (Abb. 6b, c). Die makroskopisch sichtbaren eisenreichen Tonkonkretionen (Abb. 5a) wurden bei anderen Ofenkacheln bisher nicht angetroffen und könnten, falls weitere Analysen dies bestätigen, ein charakteristisches Unterscheidungsmerkmal der Winterthurer Ofenkacheln sein.

Für einen weiteren Vergleich kann auf lokal produzierte, römische bis mittelalterliche Keramikobjekte zurückgegriffen werden, deren Zusammensetzung recht gut bekannt ist. Feinkeramisches Geschirr der zweiten Hälfte des 1. Jahrhunderts n. Chr. besitzt CaO- und MgO-Gehalte von 6–18 bzw. 2.5–4.5 Gew. % (40 Analysen; Benghezal 1989), während weitere 100 feinkeramische Objekte aus vier Töpferöfenbereichen des 1. (letztes Drittel) bis 2. Jahrhundert n. Chr. einer CaO-reichen (8–16 Gew. %, mit MgO 1.9–3.5 Gew. %) oder einer CaO-armen (0.8–4.9 Gew. %, MgO 1.4–3.1 Gew. %) Gruppe zugewiesen werden können (Thierrin et al. 2002, Thierrin 2014). Die gestempelten Reibschenkel wurden in Winterthur mit dem lokalen CaO-reichen und hell brennenden Ton hergestellt. Die mittelalterlichen Gefäße des späten 14. bis beginnenden 15. Jahrhunderts wurden chemisch vier Gruppen zugeordnet, mit CaO-Gehalten (Gew. %) 3–5, 1–8, 6–11, 9–25 und entsprechenden MgO-Werten (Gew. %) 2.5–3.5, 2–4, 2.5–4 und 4.5–7 (40 Analysen, Béarat 1992). Wie man sieht, liegen die Zusammensetzungen der Kacheln in diesen Bereichen.

Kontamination: Da die untersuchten Objekte, ungleich archäologischen Keramikfunden, nie in den Boden gelangten, können Kontaminationsprozesse während der Bodenlagerung ausgeschlossen werden. Die Bleigehalte (60–163 ppm Pb) der neun Ofenkacheln sind aber höher als diejenige des Stopflehms Ofe 15 (15 ppm; Tab. 3). Vergleichbar niedrige Bleigehalte wurden in Lehmen der Umgebung von Winterthur (1–11 ppm; Benghezal 1989, Béarat 1992), freiburgischen Rohstoffen (16–39 ppm Pb; Blanc 2007a, Maggetti et al. 2017) sowie in den Stopflehmern FR 8 (20 ppm Pb; Maggetti et al. 2014) und FR 211 (20 ppm; Maggetti/Serneels 2016) gemessen. Signifikant hohe Bleigehalte sind für Fayencen sehr typisch (Maggetti/Galetti 2000; Blanc 2007a, b; Maggetti et al. 2009a; Maggetti 2013a, 2015b; Maggetti et al. 2014, 2015a, b; Thierrin-Michael 2011, 2015). Sie widerspiegeln eine Bleianreicherung, wofür mehrere Ursachen zu diskutieren sind: (1) Einbringen von gepulvertem Bleiglas in die Keramikmasse, um beim Brand deren Sinterung zu beschleunigen (Maggetti et al. 2011); (2) Infiltration der

zinnhaltigen wässrigen Bleiglasur in den porösen Schrühling während des Glasievorganges; (3) Infiltration der im Scharffeuerbrand flüssig gewordenen Bleiglasur in den porösen Scherben; (4) Infiltration von Bleidämpfen während des Garbrandes; und (5) mangelhafte Entfernung der Glasur bei der Probenvorbereitung. Die erste Hypothese ist zu verwerfen, da keine Glaszusätze im REM-BSE Bild beobachtet werden konnten. Die fünfte ist wegen der Sorgfalt, mit der die Abrasion der Glasur vorgenommen wurde, wenig wahrscheinlich. Es bleiben damit noch drei Hypothesen bzw. Ursachen, wobei keiner der Vorzug gegeben werden kann, auch wenn Maggetti (2013a) für die Fayence-Manufaktur von Granges-le-Bourg die Bleidämpf-Hypothese ins Feld führt.

Rohstoffe: Die mikroskopische Analyse zeigt, dass die neun Ofenkacheln ein homogenes Gefüge aufweisen, mit Ausnahme von Ofe 22, wo kleinräumige schlierige Partien unterschiedlicher Färbung und Zusammensetzung (hell = mehr CaO, dunkler = weniger CaO) zu erkennen sind. Dies könnte als eine Mischung zweier oder mehrerer Rohstoffe gedeutet werden, doch würden derartige Gefüge auch bei einer unvollständigen Homogenisierung eines inhomogenen Rohstoffes entstehen. Welche Interpretation zutrifft, kann nicht abschliessend entschieden werden. Die serielle Korngrössenverteilung der nicht-plastischen Magerungselemente lässt den Schluss zu, dass eine Magerungs-Zugabe ausgeschlossen werden kann und dass aus der chemischen Zusammensetzung der neun Scherbenkörper Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der verwendeten Rohstoffe gezogen werden können. Die hohen MgO-Gehalte sind nicht etwa auf die Präsenz ophiolithischer Bestandteile zurückzuführen, was in einer positiven Korrelierung des MgO mit dem Chrom (Cr) zum Ausdruck käme, was nicht der Fall ist (Abb. 6l), sondern auf ihren Dolomitreichtum, wie dies die positive Korrelation des MgO mit dem CaO belegt (Abb. 6c). Die Mineralformel des Dolomits lautet bekanntlich $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Archivalische Hinweise auf die Lehmgruben der Winterthurer Hafner finden sich in den Winterthurer Ratsprotokollen. Sie vermelden in den Jahren 1500, 1501 und 1539, dass sie sich auf dem *Heiligenberg*, dem heutigen Heiligberg, und dem *Lindtberg*, heute Lindberg, befanden (Bellwald 1980, Quellen 14 und 15, S. 347), siehe Abb. 20. Beide Erhebungen bestehen aus Mergeln und Mergelsandsteinen der Oberen Meeressolasse, die mit spät-pleistozänen Moränenmaterial der letzten Eiszeit (q4m) bedeckt sind (Rey et al. 2011). Heute ist das betreffende Gebiet überbaut und lässt keine Schlüsse über die Beschaffenheit der Moräne zu. Auch die Erläuterungen zur geologischen Karte schweigen sich aus (Wildberger et al. 2011). Zudem

ist zu fragen, ob die Hafner des ausgehenden 17. Jahrhunderts noch dieselben Rohstoffe nutzten, wie ihre Vorfahren anfangs des 16. Jahrhunderts. Die beigen Engoben stammen nämlich mit grösster Wahrscheinlichkeit aus den jüngeren holozänen Schwemml Lehmen bzw. Sedimenten (siehe weiter unten). In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts wurden der Winterthurer Ton und die Öfen wie folgt charakterisiert: "Um Winterthur gräbt man sehr guten Thon, aus welchem die berühmten Winterthurer Kachel-Öfen verfertigt werden. Sie werden zwar nicht mehr in solcher Menge, als ehedem, gemacht. Der Geschmak an dem Ausländischen hat das Einheimische mit seinen Schönheiten und vorzüglichen Vortheilen verdrängt." (Faesi 1765, 232).

Mit den Tonvorkommen in Winterthur beschäftigte sich auch Jauch (2014, 135–136). Sie listet am Lindberg folgende Abbaustellen auf: *Leimenegg* oder *Letten im Lind* am südöstlichen Vorsprung des Lindbergs, *Lehmgrubenstrass* in Verlängerung der Bäumlistrasse sowie die Fluren *Lörlibad* und *Walchweiher* (Abb. 21). Bezuglich *Lörlibad* schreibt sie: «Schriftquellen des 18. Jahrhunderts zufolge wurde hier eine halbe Stunde ausserhalb der Winterthurer Altstadt Material für eine rote Engobe abgebaut. Das erste ist das Lörlibad, hat seinen ersten und fürnammsten ursprung in einem wald, oder holtz, Limperg genannt, eine halbe stund von der statt gelegen, um welche gegend meistenteils forren wachsen, u. ein sonderbar rothlechte erden gefunden wirt, so die hafner zum grund des grünen geschirrs brauchen, u. sie hurb erd nennen...». Für die Tonvorkommen ausserhalb des Lindbergs bezieht sie sich auf Lugeon (1907).

In der Schweiz fallen bei der Waschung holozäner fluvioglazialer Kiese enorme Mengen toniger bis lehmiger Rückstände an. Deren mineralogische Zusammensetzung variiert systematisch. So enthalten beispielsweise die Kiesschlämme der West- und Zentralschweiz wenig Dolomit, diejenigen aus der Ostschweiz aber viel (Mumenthaler 1979). Kiesschlamm-Durchschnittsproben führen in den Regionen Genfersee 1.7, Freiburg 2.0, Aarau-Luzern 2.2, Zürich 8.3, Zug 6.0 und Bodensee 21.9 Gew. % Dolomit bzw. haben MgO-Gehalte von 1.59, 2.11, 2.17, 2.91, 2.99 und 6.93 Gew. % (Mumenthaler et al. 1987). Diese regionalen Unterschiede stimmen generell mit den MgO-Gehalten schweizerischer spätpleistozäner feinkörniger fluvioglazialer Ablagerungen bis holozäner Lehme überein. So haben in der Westschweiz acht Lehme des Kantons Freiburg Maximalwerte von 3.35 Gew. % MgO (Blanc 2007a, Maggetti et al. 2017) und 37 Ziegel- und Backsteinlehme der holozänen Seenablagerungen von Payerne solche von 3.23 Gew. % MgO (Sigg et al. 1986).

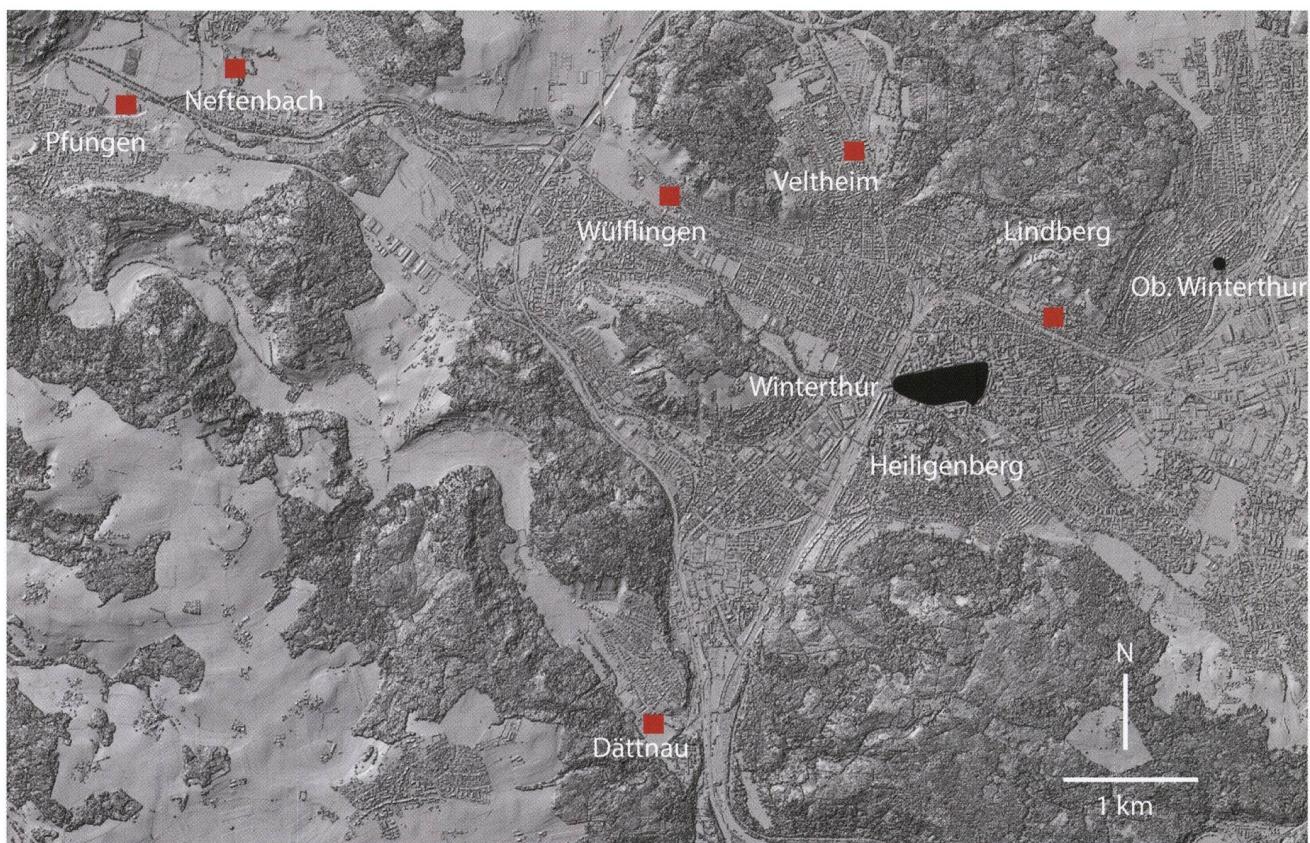


Abb. 20: Topographische Situation um Winterthur. Schwarze Fläche = Altstadt Winterthur, rote Quadrate = Ziegeleien. *Grundlage © swisstopo. Bearbeitung M. Maggetti.*

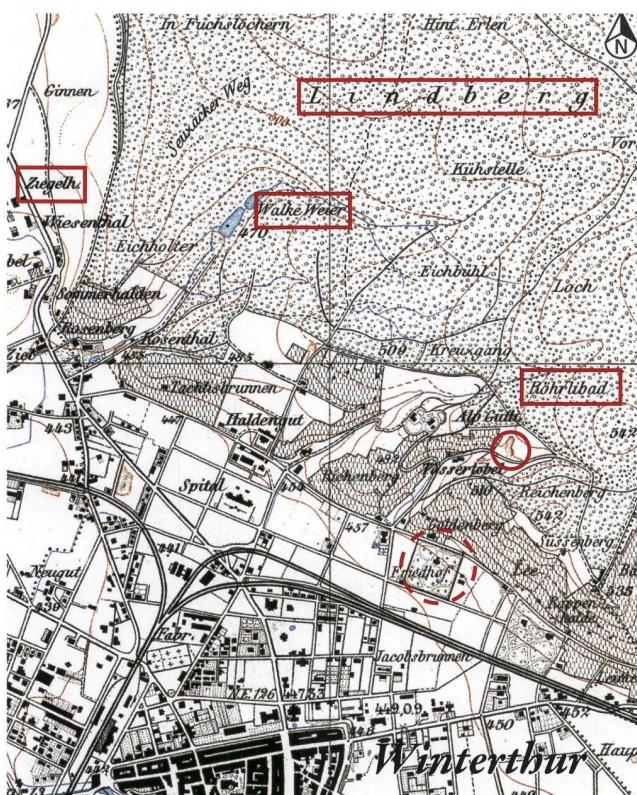


Abb. 21: Ausschnitt des Blattes 65 Winterthur des «Topographischen Atlas der Schweiz im Massstab der Original-Aufnahmen» 1:25'000 (sogenannte Siegfried-Karte), Erstausgabe 1879. Rot umrandet drei Lokalnamen, die Ziegelhütte Veltheim, der Friedhof mit dem ehemaligen Standort der aufgegebenen, namenlosen Ziegelei nordöstlich der Altstadt Winterthur (strichliertes Kreis) und eine mögliche Lehmgrube (Kreis). Die Bezeichnung Winterthur wurde nachträglich eingefügt. *Grundlage © swisstopo. Bearbeitung M. Maggetti.*

Die Umgebung von Winterthur ist reich an feinkörnigen, siltigen bis tonigen Hang- bis Schwemm-Lehmen und Seesedimenten des Holozäns (Rey et al. 2011, Wildberger et al. 2011). Diese wurden seit dem 19. Jahrhundert von der lokalen Ziegel- und Backsteinindustrie in Dättnau, Neftenbach, Pfungen, Veltheim und Wülflingen bei Winterthur als Rohstoffe abgebaut (Lugeon 1907), siehe Abb. 20. Laut dem damaligen Besitzer soll die Ziegelhütte Wülflingen «schon einige 100 Jahre bestehen» (Lugeon 1907, 415). Sie erscheint denn auch als Einzige der genannten Ziegelhütten auf Blatt X und XI der sogenannten Wild-Karte des Kantons Zürich (Wild 1852–1865, Wild 1988, Dürst 1990, Oberli 1990). Zwischen Winterthur und Ober-Winterthur verzeichnet Blatt IV *Frauenfeld-St. Gallen* der «Topographischen Karte der Schweiz» 1:100'000 (sogenannte Dufour-Karte) in der Erstausgabe von 1850 eine Ziegelei am südwestlichen Fusse des Lindberges (Abb. 20). Deren Standort ist auch auf Blatt XI der Wild-Karte eingetragen. Auf der Erstausgabe 1879 des Blattes 65 *Winterthur* des «Topographischen Atlas der Schweiz im Massstab der Original-Aufnahmen» 1:25'000 (sogenannte Siegfried-Karte) befindet sich an ihrer Stelle ein Friedhof (Abb. 21). Der Ton der Ziegelei Veltheim wurde seit den 1860er Jahren ausgebeutet (Lugeon 1907, 414). Die drei Ziegelhütten Neftenbach, Veltheim und Wülflingen sind auf der Erstausgabe 1879 des Blattes 65 *Winterthur* der Siegfried-Karte verzeichnet. Die Ausgabe 1896 desselben Blattes verzeichnet ein grosses Ziegelei-Areal bei Pfungen. Die Ziegelei Dättnau bestand erst seit 1896, vorher gab es in der Nähe nur eine unbedeutende Hütte mit Handbetrieb (Lugeon 1907, 374). Sie erscheint erstmals in der Ausgabe 1904 der Nr. 65 des Siegfried-Atlases. Die Ziegeleien Veltheim und Wülflingen fehlen in der Ausgabe von 1922 des Blattes *Winterthur*, währenddem Dättnau, Neftenbach und Pfungen noch in der Letztausgabe 1945 aufgeführt sind.

In den Lehmgruben nehmen die MgO-Gehalte (wie auch die CaO-Gehalte) generell von den obersten Schichten nach unten zu und erreichen bis 8.76 Gew. % MgO (Zschokke 1907). Diese Entkalkung der obersten Schichten durch zirkulierende saure Wässer und subsequenter Ausfällung der Karbonate in den tieferen Lagen ist wohlbekannt und wurde durch die minutiosen Untersuchungen von Benghezal (1989) beim Oberwinterhurer Grabungsareal «Unteres Brühl» und von Béarat (1992) in der ehemaligen Lehmgrube Dättnau dokumentiert. Die MgO-Gehalte (in Gew. %) liegen im ersten Falle bei 1.84 (UK gewachsener Boden), 2.70 (20 cm im Boden) und 6.46 (70 cm im Boden), und im zweiten bei 2.76–3.08 (in 1m Tiefe), 3.26 (2m), 8.50 (3m) und 8.95 (4m).

Derartige Lehmvorkommen sind vermutlich auch von den Winterhurer Hafnern des ausgehenden 17. Jahr-

hunderts genutzt worden, denn die chemische Zusammensetzung der untersuchten Kacheln passt im Grossen und Ganzen nicht schlecht zu den publizierten chemischen Analysen der Winterthurer Rohstoffe. Zudem sind die von Béarat analysierten Lehmvorkommen, wie die Rüdlinger Ofenkacheln, reich an braunen bis roten Tonknoten (Béarat 1992).

Die Engoben

Beige Engobe: Ihre MgO-Gehalte sind mit einem Mittel von 8.5 Gew. % mehr als doppelt so hoch wie diejenige der Scherbenkörper (Tab. 4). Diese hohen MgO-Gehalte plädieren für eine lokale Herkunft der Überzüge, wobei sich die Frage stellt, ob sie durch Abschlämmen eines grobkörnigeren lokalen Rohstoffes oder direkt in der Grube gewonnen wurden, ohne intensive Aufbereitung. Für die letztere Hypothese sprechen zwei Argumente: (1) Ihr mikroskopischer Aspekt gleicht frappant demjenigen der sehr feinkörnigen Bauelemente des mittelalterlichen Töpfereofs *Untertor* 21-25 in Winterthur, die einem kaum aufbereiteten Ton entsprechen dürften (Béarat 1992, Proben Wi 1-6); (2) Diese Strukturelemente sind aber deutlich CaO-reicher (über 28 Gew. %) und kommen daher als Edukte der Engoben nicht in Betracht. Ein Dättnauer Lehm aus 4m Tiefe (Probe Wi 53) passt hingegen chemisch recht gut mit dem Mittel von acht Engoben überein (Tab. 4), woraus gefolgert werden kann, dass die Engoben tieferen Schichten des von den Pfaus ausgebeuteten Lehmvorkommens entsprechen dürften. Die abweichende chemische Zusammensetzung der Engobe Ofe 27b bezeugt, dass sie aus einem anderen Rohstoff hergestellt wurde und sich daher die Frage stellt, ob diese Kachel zum ursprünglichen Ofen gehörte oder von einem anderen Winterthurer Pfau'schen Ofen stammt.

Die bislang untersuchten freiburgischen und jurassischen Ofenkacheln des ausgehenden 18. Jahrhunderts haben keine Engoben. Ein ähnlicher CaO-reicher Engobe-Typ, aber mit deutlich weniger MgO (2.2 Gew. %), wurde hingegen auf einer polychrom bemalten Lisene und einer türkisfarbigen Füllkachel eines circa 1740 datierten Steckborner Ofens gefunden (Maggetti 2016a). Die Gründe für die Verwendung eines derartigen Überzuges, sowohl in Winterthur wie auch in Steckborn, sind nicht ganz klar. In den zeitgenössischen Steckborner und Winterthurer Rezepten fehlt erstaunlicherweise jeglicher Hinweis zu diesem Engobe-Typ (Frei 1932, Früh 2005, Boschetti-Maradi 2006, Matthes 2018). Der hohe CaO-Gehalt und die Beobachtung, dass am Rüdlinger Kachelofen diese Engobe nur auf den Fayencekacheln, aber nicht auf der grün glasierten Reliefkachel vorkommt, könnte eine technisch bedingte Beziehung zur fayencetypischen Weissglasur nahelegen. Dies wird aber nicht ausschlaggebend

gewesen sein, denn die Scherbenkörper der Rüdlinger Kacheln sind mit ihren 12–15 Gew. % CaO (Tab. 3) sogar kalziumreicher als die Freiburger Ofenkacheln, die keine Engobe besitzen. Diente die beige Engobe daher nur der oberflächlichen Glättung des Scherbens?

Weisse Engobe: Die Verwendung einer weissen Engobe ist typisch für grün glasierte Kacheln, hat schweizweit eine lange Tradition und dient der Aufhellung und der Brillanz der Grünglasur. Die weisse Engobe der grün glasierten Rüdlinger Reliefkachel unterscheidet sich durch ihre Kalzium-Armut von derjenigen einer jüngeren Steckborner Lisene (Maggetti 2016a). Ihr geringer CaO-Gehalt stimmt auch nicht mit dem Verfahren der jüngeren Pfau überein, wonach diese einer weissbrennenden Grundengobe noch Kreide, das heisst feinkörnigen Kalk, zumischten: «grund/chaubert 20 unz./kreide 18 unz.» bzw. «der grund/chaubert 6 unz./kreide 4 unz./salz 1 unz.» (Boschetti-Maradi 2001, 32). Diese zwei Rezepte wurden auch von Matthes transkribiert (Matthes 2018, Anhang, 2. Büchlein). Im ersten Büchlein lautet die Mischung (in Unzen): «Grund dazu/Huberde 6/Kreide 4/Salz 1» (Matthes 2018, Anhang). Mit «Steingutanteil» meint Bellwald wohl diese Kreide, wenn er schreibt: «Die Engobe, ein Tonschlicker mit hohem Steingutanteil, ist wohl von auswärts bezogen worden.» (Bellwald 1980, 64). Mit *chaubert* könnte eine schweizerische Huppererde, eine Passauer Erde (Früh 2005, 598) oder (als Verballhornung des Begriffes *Heimbach zu chaubert?*) die südwestdeutsche Heimbacher Erde (Ducret 1950, 95, 163, 174; Felchlin 1971, 16–19) gemeint sein, die schon 1652 als Weisserde-Handelsware erwähnt wird (Maggetti 2017a, 109–110). Interessant ist in diesem Zusammenhang noch folgender Passus: «Der reinere Ton [der Heimbacher Weisserde] wird von den Hafnern als sogenannte Weisserde zum Ueberziehen von Ofenkacheln und ähnlichen weissen Thonwaaren verwendet [...], der grösste Theil wird übrigens in die Schweiz verführt.» (Platz 1867, 47).

Der hohe Quarzanteil lässt sich gut mit einer Huppererde aus dem Jura vereinbaren, einem Quarzsand mit 10–35 % kaolinitischem Ton (Hofmann et al. 1997, 71).

Der keramische Brand

Zur Terminologie siehe Maggetti (2015a) und Maggetti/Serneels (2016).

Schrüh- und Glattbrand: Ob eine Keramik vor dem Auftrag der flüssigen Glasur nicht oder schon einmal im Schrühbrand gebrannt wurde, lässt sich an der Grenze zwischen der Glasur und dem keramischen Substrat mit dem REM erkennen. Wird die Rohglasur auf einen ungebrannten Grünling aufgebracht und hernach gebrannt,

bildet sich eine ausgeprägte Reaktionszone, deren Durchmesser laut den Experimentalbränden mindestens 80 μm beträgt, wird sie aber auf einen schon gebrannten Schrühling aufgetragen, ist die Reaktionszone, wenn überhaupt vorhanden, deutlich geringer (Molera et al. 2001, Ben Amara 2002, Ben Amara/Schvoerer 2006). Die sieben Fayencekacheln besitzen eine äusserst dünne, max. 37 μm dicke Übergangs- bzw. Reaktionszone zwischen der Glasur und der beigen Engobe (Abb. 10). Diese dünne Reaktionszone belegt, dass die beige Engobe der Fayencekacheln des Rüdlinger Ofens auf den ungebrannten Körper aufgebracht, gebrannt und dann das Ganze glasiert worden ist. Ein zweimaliger Brand ist technisch und finanziell gesehen sinnvoll, denn einem ungebrannten Kalzit- und Dolomit-reichen Substrat wären beim einmaligen Brand viele Gase (H_2O aus dem Zerfall der Tonminerale und CO_2 aus der Dissoziation der Kalzite und Dolomite) entwichen, die zum Aufschäumen der Glasur und zur Zerstörung der Scharfffeuer-Dekoration oder zumindest zu einer fehlerhaften Glasur (Blasen, Abroller, Nadelstiche) geführt hätte.

Die Abwesenheit oder die geringe Dicke einer derartigen Reaktionszone zwischen der Glasur und dem keramischen Substrat (Engobe oder Scherbenkörper) ist ein allgemeines Kennzeichen deutscher, französischer und freiburgischer Fayencen des 18. Jahrhunderts (z. B. Rosen 1995, 2009; Maggetti 2007, 2012a, 2013a, 2013b, 2015b; Maggetti et al. 2014, 2015b).

Für die grün glasierte Reliefkachel sind Resorptionen durch die Bleiglasur erkennbar. Wie die Abbildung 8d zeigt, reagierten die Glasur und die weisse Engobe während des Garbrandes. Die zwei grossen Quarze ragten ursprünglich nicht so weit in die Glasur hinein, sondern waren von einer tonigen Matrix umgeben. Quarze und Matrix wurden durch die Bleiglasur resorbiert, wie man dies an den kleinen Kristallen der Engobe erkennt, die sich in der Glasur nahe am Kontakt zur Engobe scharren. Die grösseren Quarzkristalle in der Glasur sind Relikte derartiger Resorptionsprozesse. Am Beispiel der zwei grossen Quarze kann abgeschätzt werden, wo die ursprüngliche Grenze zwischen Glasur und Engobe lag: Es ist die schwarze strichlierte Linie in der Abbildung 8d. Im Querschnitt könnten circa 20–45 μm der Engobe durch die Glasur resorbiert worden sein. Ähnliche Resorptionswerte von 20 bis 30 μm Substanz im vertikalen Schnitt wurden für Steingut von Matzendorf (Maggetti 2017a) und von Ateliers am Genfersee (Maggetti/Serneels 2017) postuliert. Die geringe Dicke der Reaktionszone lässt vermuten, dass auch die weisse Engobe mit dem Scherbenkörper einmal gebrannt und der so entstandene Schrühling erst dann glasiert worden ist. Damit wäre die Unsicherheit

Bellwald's (1980, 64) «Erst die derart vorbereitete [engobierte], luftgetrocknete, möglicherweise bereits geschrührte Kachel wird in den dünnflüssigen Glasurbrei [...] eingetaucht» zugunsten der zweiten Möglichkeit gelöst.

Brenntemperaturen: Experimentelle, oxydativ geführte Brände kalkhaltiger Tone zeigen, dass die Scherbenmatrix im mikroskopischen Bilde ab 800°C isotrop rot und ab 1100°C isotrop schwarz wird (Maggetti et al. 1984). Karbonatkörper zerfallen ab 800°C und sind bei 900°C total dissoziiert. Laut der mikroskopischen Analyse sind die primären Karbonatkörper zerfallen und durch sekundäre Karbonatkristalle ersetzt (Abb. 7). Für die untersuchten Ofenkacheln sind daher Garbrandtemperaturen von mindestens 900°C (Karbonatzerfall), eher 1000°C, anzunehmen, da die Matrix unter dem Polarisationsmikroskop nicht mehr eine rötliche, sondern eine braunschwarze Färbung angenommen hat.

Die röntgenographischen Befunde stützen diese Aussagen. Quarz, Illit und Kalifeldspat stammen noch aus dem ursprünglichen Rohstoff-Gemisch und sind als primäre, reliktische Kristalle anzusehen, während sich die Plagioklase während der Schrüh- und Garbrände gebildet haben. Bei den Kalziten handelt es sich um sekundäre Phasen, die nach dem letzten Brand aus der Reaktion der Portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mit dem in der Luft enthaltenem CO_2 entstanden sind (Fabbri et al. 2014). Gestützt auf die Experimentalbrände von Maggetti (1982) können aus dem Fehlen der im Rohstoff ursprünglich vorhandenen Tonminerale (sie zerfielen in den Bränden) und dem im Brand neugebildeten Plagioklas für den Garbrand der meisten Kacheln minimale Temperaturen von circa 950°C angenommen werden. Die Temperaturen werden kaum 1050°C überschritten haben, denn sonst wären die Kacheln geschmolzen. Davon weichen die Garbrandtemperaturen von Ofe 20 ab, die auf Grund ihres Illit-Gehaltes knapp 950°C erreicht haben dürften.

Diese Temperaturschätzung passt gut mit dem postulierten Brenntemperatur-Intervall von 950–1050°C für freiburgische Ofenkacheln überein (Maggetti et al. 2014, 2015b; Maggetti/ Serneels 2016). Die äusseren cm-breiten helleren Lagen der keramischen Körper zeugen von leicht höheren Temperaturen, die aber wegen ihrer geringen Dicke nicht speziell beprobt und analysiert wurden.

Die Glasuren

Die transparente, grüne Glasur: Sie besteht zu zwei Dritteln aus Blei- und zu einem Drittel aus Siliziumoxyd (Tab. 5). Zum Vergleich: Die PbO -Gehalte der mittelalterlichen Glasuren des 11.–14. Jahrhunderts sind meist noch höher und können fast 90 Gew. % erreichen (Janke 1989).

Die Konzentration des farbgebenden Kupfers in Form von in der Glasur gelösten Cu -Ionen ist mit 3.8 Gew. % CuO sehr hoch, verglichen mit den CuO -Gehalten in den grünen Glasuren des 11.–14. Jahrhunderts, die unter 0.4 Gew. % liegen (Janke 1989) oder den grün glasierten Ziegeln des 19. Jahrhunderts von Granges-le-Bourg mit 0.8 Gew. % CuO (Maggetti 2013 b, Tab. 10). Die gemessenen PbO - und SiO_2 -Gehalte belegen den Einsatz von Quarz und einer Bleiverbindung (Minium, *Silberglätte*) im Glasurrezept. Die geringen Konzentrationen von Aluminium-, Kalzium- und Eisenoxyd könnten durch Unreinheiten des Quarzsandes in die Glasur oder, wie obig ausgeführt, durch die im gesamten Querschnitt der Glasur abgelaufenen chemischen Austauschprozesse zwischen der Glasur und der Engobe eingebracht worden sein. Ein Entscheid zwischen beiden Möglichkeiten ist schwierig. Die genannten Austauschreaktionen verunmöglichen nämlich eine rechnerische Rekonstruktion der ursprünglichen Zusammensetzung der Glasur-Rohstoffmischung. Auch der generelle Vergleich mit den Winterthurer 1725er Rezepten (Matthes 2018) schlägt fehl, da die fünf zinnfreien Grünrezepte der Tabelle 7 (Grün Nr. 1 des ersten Büchleins ist identisch mit Grün Nr. 4 des zweiten!) entweder Glas enthalten oder *Hamerschlag*, teilweise in beträchtlichen Mengen, was sich in hohen CaO - oder Fe_2O_3 -Werten niederschlagen sollte, was keineswegs zutrifft. Die vielen sogenannten *Deckeweiss-Rezepte* derselben Rezeptsammlung, die für farblose Glasuren dienten und somit als Grundglasur hätten dienen können, der man ein wenig Kupfer beigemischt hätte, fallen auch ausser Betracht, da sie meistens Glas und andere Bestandteile wie *Weinstein*, *Kalberbein* oder solche unbekannter Natur (*Hexstein*) enthalten, die sich in der Grünglasur anhand höherer CaO -, K_2O - und P_2O_5 -Gehalten bemerkbar machen würden, was aber nicht der Fall ist.

Die weissen opaken Fayenceglasuren (Weissglasuren): Dieser Glasurtyp gleicht im Gefüge und in seiner chemischen Zusammensetzung im Grossen und Ganzen den bisher analysierten Weissglasuren freiburgischer Ofenkacheln (Maggetti et al. 2014, 2015b; Maggetti/Serneels 2016). Ihre SnO_2 -Gehalte (Tab. 5) sind aber deutlich geringer als die freiburgischen Minima von 16 Gew. %. Die mittleren Na_2O -Gehalte von circa 2 Gew. % und die Chlorgehalte (Cl) belegen den Einsatz von Salz, entsprechend den zehn Glasur-Rezepturen in den Winterthurer Rezeptbüchlein von 1725, die Zinn als Rezept-Bestandteil besitzen (Tab. 8; Matthes 2018). Die geringen K_2O -Gehalte von circa 1 Gew. % sind eher auf illitische Verunreinigungen des Quarz-Lieferanten (Sand, Kiesel, Stein) als auf einen gezielten Pottasche-Zusatz (K_2CO_3 ; Maggetti 2013b) zurückzuführen. Alaun $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ wäre auch ein denkbarer K-Lieferant (Matthes

2015, 205; 2011; 2018), war aber wenig gebräuchlich (Tab. 8) und kommt für die Rüdlinger Glasuren sicher nicht in Betracht, da kein Schwefel nachzuweisen war.

Die geringen Gewichtsprozente Aluminiumoxyd (Al_2O_3) lassen auf die Zugabe von Kaolinit zur wässrigen Rohglasur schliessen, um deren Viskosität zu erhöhen und dadurch ein Zerfliessen zu verhindern (Maggetti 2013b). Sie könnten durchaus aber von den oben angesprochenen illitischen Verunreinigungen stammen. Weitere Oxyde wie beispielsweise CaO und MgO sind entweder durch zusätzliche Beigaben (*Haubererde*, *Huberterde*) oder auf Verunreinigungen im Sand oder der Flussmittel, vor allem der nie ganz reinen Pottasche, zurückzuführen. Das Pb/Sn-Verhältnis ist ein gutes Indiz, um die Dosierung des Äschers festzustellen, falls keine spätere Blei-Zugabe dieses Verhältnis verändert hat (Maggetti 2013b, 330). Für ein Pb/Sn-Verhältnis von exakt 3.5 wird im Äscher nur Bleistannat gebildet, ohne überschüssiges Blei- oder Zinnoxyd. Liegt das Verhältnis über 3.5, bleibt nach der Reaktion, das heisst der Veraschung beider Metalle, Bleioxyd übrig. Liegt er darunter, verbleibt überschüssiges Zinnoxyd, erkennbar als grosse Cassiterit-Einzelkristalle. Für Ofe 21, 23, 24 und 25 sind die Verhältnisse unter 2.6, für Ofe 27 bei 3. Die Ausgangsmischung für den Äscher enthielt demnach zuwenig Blei, um das gesamte Zinn in Bleistannat umzuwandeln, wie dies die grossen Cassiterit-Einzelkristalle bezeugen (Abb. 10). Das abweichende Pb/Sn-Verhältnis von Ofe 27 könnte ein weiterer Hinweis sein, dass diese Kachel nicht gleichzeitig mit den anderen gefertigt worden ist.

Die Präsenz von Glasrelikten in den Rüdlinger Weissglasuren fügt sich zum (raren) Nachweis derartiger Bestandteile freiburgischer Ofenkachelglasuren (Maggetti et al. 2014, Fig. 8b). Die Zugabe von Glaspulver als zusätzliches Flussmittel in der Weissglasur-Rezeptur scheint hingegen ein typisches Merkmal der Winterthurer Hafnerwerkstätten gewesen zu sein, wie dies die 1725er Winterthurer Rezeptbüchlein belegen: «35-mal erscheint Glas mit 5–10% als Rezeptbestandteil, zweimal erreicht der Glasanteil 16 und 18%. Es gibt keine Angabe, welches Glas gemeint ist. Drei Rezepte enthalten nur Glas (50–80%) als Hauptgemengteil» (Matthes 2018). Derartige Gläser könnten rezyklierten Glasbruch (Matthes 2018) darstellen, dessen ursprüngliche chemische Zusammensetzung aber schwierig zu eruieren ist, da die kleinen Glaspulverkörner schon bei der Herstellung der Weissfritte oder spätestens im Glattbrand aufgeschmolzen und sich chemisch der flüssigen, bleireichen Umgebung angepasst haben werden. Es erstaunt daher nicht, dass die chemische Zusammensetzung der identifizierten Glaspartikel grösstenteils derjenigen der Weissglasuren entspricht, mit Ausnahme der

Zinn- und Kalziumoxyd-Werte. Die niedrigen SnO_2 -Gehalte zweier Glasrelikte (Tab. 5) sind auf Fremd-Cassiterite zurückzuführen, die in die geschmolzenen Glaspfoten aus der Cassiterit-reichen Umgebung inkorporiert wurden. Die wenigen MgO-Anteile stammen aus einem Dolomitzusatz oder eventuell aus der Holzasche. Hohe CaO-Werte sind typische Kennzeichen für Hohl- und Flachgläser des sogenannten Waldglas-Typs (Wedepohl 2003, Gerber/Stern 2012), doch fehlen bei den analysierten Glaseinschlüssen die für Waldglas hohen K_2O -Konzentrationen. Die chemische Natur und das Gefügebild – viele Quarze in einer glasigen Matrix (Abb. 10f) – lassen sich am Besten mit einer in der Pfau'schen Hafnerei produzierten Quarz-Blei-Kalk(\pm Dolomit)-Fritte vereinbaren.

Das Mikrogefüge gibt einige Hinweise auf die Herstellung der Fayence- bzw. Weissglasur. So sind die bis circa $30\text{ }\mu\text{m}$ grossen Cassiterithaufen Relikte der weissen Fritte (Weissfritte), die auf dem Boden des Fayenceofens, an seiner heisesten Stelle (Anonymus 1762, Tafel IX; Pancoucke/Plomteux 1783a, b; Maggetti 2015a, Abb. 6), erzeugt wurde. Die Existenz solcher Fritterelikte zeigt: (1) dass die Glasurmühle ein relativ grobkörniges Pulver lieferte und (2) dass im Glattbrand keine Homogenisierung der Glasur bzw. keine Auflösung der Cassiterithaufen erfolgte. Ein weiterer reliktischer Korntyp der Weissglasur sind noch die grossen rundlichen Quarze, deren angerundete bis rundliche Umrissse bei der beginnenden Aufschmelzung im Laufe des Glattbrandes entstanden (Abb. 10c-f). Derartige Zumischungen von gemahlenem Quarz zur gemahlenen Weissfritte sind typisch für Fayenceglasuren freiburgischer Werkstätten (Blanc 2007a, 2007b; Maggetti et al. 2014, 2015b) und auch vieler europäischer Fayence-Manufakturen (z. B. Fayencen des 16.–17. Jahrhunderts aus Deruta und Gubbio, Viti et al. 2003), auch wenn der Sinn dieser Usanz bislang noch nicht geklärt werden konnte, da zeitgenössische technische Anleitungen keine Hinweise über Sinn und Zweck solcher Zugaben geben (Maggetti 2013b). Wollte man am teuren Zinn sparen, da auch Quarzkristalle oder Gasblasen eine Glasur opak machen können (Mason/Tite 1997, Molera et al. 2001), wollte man die Transparenz der Glasur erhöhen (Kingery/Aronson 1990), wollte man die wässrige Weisspulversuspension ein wenig eindicken (Tite 2009), oder wollte man die Viskosität der flüssigen Glasur erhöhen, um dem Zerfliessen beim Glasurbrand entgegenzuwirken, da die Ofenkacheln im Ofen senkrecht gestellt wurden (Antonelli et al. 2014, Maggetti et al. 2015b, Matthes 2018)? Diese Quarze können nicht vom Sandbett stammen, auf dem das Weiss gebrannt wurde (Caussy Manuskript, circa 1742–1747 in De la Hubaudière/Soudée Lacombe 2007, 160, 206; Anonymus 1762, Tafel IX; Boyer 1827; Maggetti

2013a), denn: (1) ihre Korngrößen müssten ja denjenigen der Weissfrittepartikel gleichen, da beide im selben Durchgang gemahlen wurden. Sie sind aber meistens deutlich grobkörniger (z. B. Maggetti 2013b, Figs. 15, 23) – ein stringenter Hinweis, dass die Quarze und diese Partikel separat gepulvert worden sind; (2) im gebrannten, weissen Frittekuchen sind die grossen Quarze aus der Sandlage nur in der Millimeterdicken unteren Randzone an- und eingeschmolzen zu finden – sonst sind überall nur kleine Cassiterite zu sehen (Maggetti 2013a, Figs. 11, 12). Die an der Unterseite der Weissfritte anhaftenden Quarze (siehe Beispiel in Maggetti 2013a, Fig. 8) wurden ja abgeschlagen (Anonymus 1793; Matthes 2015, Anmerkung 21) und die Fritte in der Glasurmühle weiterverarbeitet. Zudem würden die anhaftenden Sandbettquarze der analysierten Weissfritte aus Granges-le-Bourg (Maggetti 2013a) bei Weitem nicht ausreichen, um die Menge der Quarzsplinter zu generieren, die in der Weissglasur dieser Fayencen zu sehen ist; (3) in den Weissglasurpartikeln der hier analysierten Mn-haltigen Scharfffeuerfarbe Violett (für ein anderes Beispiel siehe Maggetti 2016b und Maggetti/Serneels 2016) sind keine Quarzpartikel zu sehen, auch nicht in der gesamten Farbe, was aber der Fall sein müsste, wenn die grossen anhaftenden Quarze des weissen Frittekuchens mitgepulvert worden wären.

Die Fayence-Technik soll in den 1540er Jahren über Südtiroler Werkstätten nach Winterthur gelangt sein (Frei 1928, 69–72; Bellwald 1980, 65). Zur Untermauerung dieser Hypothese könnten naturwissenschaftliche Analysen der Glasuren wichtige Hinweise geben, wenn sich nicht die Frage stellen würde, inwieweit solchen Rezeptsammlungen zu trauen ist. Die italienischen Fayence- bzw. Majolika-Manufakturen des 16. Jahrhunderts verwendeten ein Kalium-reiches Flussmittel, wenn man dem Manuskript von Piccolpasso Glauben schenken darf (Lightbown/Caiger-Smith 1980, L'Hôte et al. 2007, Heimann/Maggetti 2014, 295–296). Er schrieb seine Rezepte in den Jahren 1557 bis 1559 auf und erwähnt selten NaCl in der Herstellung des *marzacotto* bzw. des Meisterguts, einer Fritte aus Sand und einem K-Flussmittel (Weintrester oder Kaliumtartrat-Kristalle, das heisst Weinstein). Eine zweite italienische handschriftliche Rezeptsammlung stammt von Dionigi di Francesco Marmi (1610–1681), einem Vertreter einer wichtigen Töpferdynastie von Montelupo. Er kompilierte sie fast 80 Jahre nach Piccolpasso, in den Jahren 1636 bis 1640 (1674) (Berti 2003). In ihr finden sich 21 Rezepte für den *marzacotto* (Calabraci codex, Buch I, Teil I, *marzacotti*). 20 davon enthalten wie bei Piccolpasso zwar einen Kaliumhaltigen Rohstoff, der aber meistens (in 16 Rezepten von 20) mit NaCl kombiniert ist. Ein einziges Rezept hat nur NaCl und kein K-Flussmittel (Berti 2003). Diese K-Na Kombination stimmt mit den hohen Kalium-

und Natrium-Gehalten zinnhaltiger Weissglasuren italienischer Fayencen des 13. bis 17. Jahrhunderts überein (Tite 2009), die aber gemäss Piccolpasso ja nur K haben dürfen, sodass zu fragen ist, wie repräsentativ Piccolpasso's Niederschrift eigentlich für die italienischen Rezepte sein kann. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei den französischen Fayencen. Durch die Auswertung vieler zeitgenössischer Rezeptsammlungen konnte Maggetti (2013b) nämlich nachweisen, dass die französischen Hafner des 18. Jahrhunderts für die Herstellung ihrer Weissglasuren als Flussmittel hauptsächlich Meersalz (Natriumchlorid NaCl) und weniger Soda (Natriumkarbonat Na₂CO₃) verwendet haben sollten. Die wenigen naturwissenschaftlichen Weissglasur-Analysen französischer Fayencen des 18. Jahrhunderts zeigen aber ein ganz anderes Bild! Die Na₂O-Gehalte dokumentieren zwar den Einsatz von Salz, doch können die hohen K₂O-Werte nur mit der Verwendung eines Kalium-haltigen Flussmittels erklärt werden, das in den zeitgenössischen Rezeptsammlungen nicht erwähnt wird. Dasselbe gilt auch für die französischen Bodenkacheln des Mittelalters und der Renaissance (Diskussion in Maggetti et al. 2015b).

In den zehn Weissglasur-Rezepten der 1725er Rezeptbüchlein aus Winterthur werden, abgesehen vom Glas, nur zwei Na-haltige Flussmittel, nämlich Salz (10 Rezepte) und Alaun (1 Rezept) vermerkt (Tab. 8). K-haltige Flussmittel (Pottasche, Weinstein) fehlen vollständig, unter der Annahme, dass es sich beim Alaun nicht um einen K-Alaun handelt. Die hohen Na₂O- und die niedrigen K₂O-Gehalte der Rüdlinger Weissglasuren würden daher sehr gut zu diesen Rezepturen passen. Laut dem Mikrogefüge folgte Abraham Pfau dem Weissfritte-Verfahren A oder B (Maggetti 2015a, Maggetti/Serneels 2016, Abb. 6), denn nur in diesen können die ehemaligen gemahlenen Weissfritte-Splinter in Form reliktisch erhaltener Kleindomänen gefasst werden. Matthes (2018; «In den Rezeptbüchlein erscheint nie der Begriff Meistergut, wie in manchen zeitgenössischen Rezepten») postuliert deswegen, dass das Verfahren A in Winterthur nicht angewendet worden sei. Falls dies stimmt, hätten die Winterthurer Pfau, zumindest 1725, kein Meistergut, das heisst eine Fritte aus Sand und Flussmittel (Salz, Soda, evtl. Pottasche, usw.) mit dem Pb- und Sn-Äscher gemischt, sondern die Stoffmischung gemäss dem Verfahren B in einem einzigen Brand zur Weissfritte gebrannt. Eine exakte quantitative Rückrechnung des Weissglasur-Rezeptes ist aber nicht möglich, weil das Natrium in den Bränden sehr stark abdampft. Das Rezept wird neben möglichst reinem Sand, Blei, Zinn und Flussmitteln (mehr NaCl als Pottasche) auch Passauererde und eventuell noch geringe Mengen an *Haubererde* und *Huppererde* enthalten haben, wie dies in den Rezepten der Berner Fayence-Manufaktur dokumentiert ist (Matthes 2013, 2015).

Welches der zehn 1725er Fayenceglasur-Rezepte stimmt nun mit der Zusammensetzung der Rüdlinger opaken, zinnoxydgetrübten Weissglasur überein? Das von 1.9:1 bis 2.5:1 varierende $\text{PbO}:\text{SnO}_2$ -Verhältnis würde zu den Verhältnissen der Winterthurer Rezeptbüchlein passen (Matthes 2018). Eine in Frage kommende Mischung könnte laut Tabelle 8 das Rezept Nr. 1 (Matthes 2018, Anhang, 1. Büchlein) oder das gleichlautende Rezept Nr. 3 (Matthes 2018, Anhang, 2. Büchlein) sein, wobei unter *Bley* und *Zinn* laut Matthes (2018) die Oxyde PbO resp. SnO_2 und unter *Stein* Kiesel, das heisst reiner Quarz (SiO_2), gemeint sind. Falls Abraham Pfau dem Verfahren A folgte, würden *Bley* und *Zinn* aber nicht dem oxydischen, sondern dem metallischen Zustand entsprechen. Damit wäre aber nur die Weissfritte, aber nicht die Weissglasur charakterisiert, da die Rezepte keinen Quarzzuschlag nach der Synthese der Weissfritte erwähnen. Daraus ist zu folgern, dass kein 1725er Rezept der Rüdlinger Fayenceglasur gerecht wird.

Laut Bellwald (1980, 64) sollen die Winterthurer Hafner anfänglich ihre Glasuren selbst hergestellt haben. «In der Zeit der Grossproduktion, ab dem zweiten Viertel des 17. Jahrhunderts, scheinen sie einen grossen Teil der benötigten Glasuren fertig bezogen zu haben.» Bellwald stützt sich für diese Aussage auf ein Gutachten vom 3. Mai 1661, wo die Hafner Ludwig III Pfau und Hans Heinrich II Graf im Streitfall zwischen dem Winterthurer Stadtrichter und Eisenhändler Joachim Hösli wegen Lieferung schlechter Hafnerglasur nach Lindau als Experten involviert waren (Bellwald, 1980, Quelle 29, 351). Wie Bellwald zu einer derartigen Aussage gekommen ist, wird sein Geheimnis bleiben, denn die Archivalie sagt überhaupt nichts über periodisch erfolgte auswärtige Glasur-Einkäufe für die Pfau'sche Hafnerei. Die Manufaktur wird ihre Glasuren aber sicher selbst hergestellt haben, wie dies die zehn Fayenceglasur-Mischungen in den 1725er Rezeptbüchlein belegen (Tab. 8; Matthes 2018).

Die Inglasur-Farben

Blau: Die charakteristische mikrostrukturelle Kombination einer durch Kobalt (Co^{2+}) blau gefärbten Glasmatrix mit darin eingelagerten SiO_2 -Kristallen und Blei-Kalzium-Arsenaten (Abb. 12c, d) des Blau 1 wurde schon in freiburgischen Kacheln des Rudolf Stern, datiert 1776, des Andreas Nuoffer, datiert 1770–1775, und des Johann Baptist Nuoffers, circa 1780–1785, festgestellt (Maggetti et al. 2014, Maggetti/Serneels 2016). Dieses eigenartige Gefüge ist auch aus anderen europäischen Fayence-Manufakturen bekannt (z. B. Granges-le-Bourg, Anfangs 19. Jahrhunderts: Maggetti 2013b; Fulda, 1741–1760: Maggetti 2015b). Ähnliche Pb-Ca-Arsenat , mit oder ohne kombinierte SiO_2 -Kristalle, wurden in Blauglasuren französi-

scher Bodenfliesen aus Brou (1531–32; Bouquillon 2000), italienischer Fayencen aus Faenza (*berettino*, Tite 2009), Laterza (Dell'Aquila et al. 2006), Pavia (Capelli/Riccardi 2002) und Deruta und Gubbio (hier der mittleren Zusammensetzung $(\text{Ca},\text{Pb})_3(\text{AsO}_2)_2$; Viti et al. 2003), im «Della Robbia Blau» (Zucchiatti et al. 2006), in römischer Majolika (Meucci/Carattoni 2016) sowie in spanischen Fayencen des 16. Jahrhunderts (Pradell et al. 2013) gefunden. Morphologisch analoge Blei-Arsenate beschrieben Tite (2009), Bajnóczi et al. (2014) und Maggetti/d'Albis (2017) sowie Blei-Barium-Arsenate Maggetti (2015b). Nach den Analysen von Colomban et al. (2018) sind es Pb-As-Apatit -Kristalle.

Bläue Co-Ni-Gläser und -Glasuren aus Europa sind bis zum 16. Jahrhundert Arsenfrei, danach Arsenhaltig, mit oder ohne Wismut (Gratuze et al. 1996, Roldán et al. 2006, Pérez-Arentegui et al. 2008). Für die italienische Majolika der Renaissance erfolgte dieser Wechsel um circa 1520 (Pappalardo et al. 2004, Padeletti et al. 2006, Zucchiatti et al. 2006). Dies kann entweder mit einer technischen Novität – um circa 1520 gelang nämlich Peter Weidenhammer in Sachsen die Herstellung von *Zaffer*, einem Röstprodukt kobaltführender Erze (Hartwig 2001, Hammer 2004, Zucchiatti et al. 2006) –, oder mit einem Wechsel in den Kobalterzen erklärt werden. Arsen ist ein wichtiger Bestandteil der für die Blaufarbenherstellung verwendeten Minerale wie dem nickelhaltigen Skutterudit $(\text{Co},\text{Ni})\text{As}_3$ oder dem Erythrit $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ aus dem sächsischen Erzgebirge, der massgeblichen europäischen Blaufarben-Region des 13. bis 18. Jahrhunderts (Gratuze et al. 1996, Hammer 2004). Der Arsengehalt im Zaffer beruht auf einer unvollständigen Röstung dieser Minerale (Padeletti et al. 2006, Barilaro et al. 2008). Solch unreine Röstprodukte, das heisst Kobaltoxyde, wurden ab circa 1540–60 mit Quarzsand und Pottasche zu einem blauen Glas, *Smalte* genannt, geschmolzen (Minerophilus Freibergensis 1730, Mühlethaler/Thissen 1969).

So unterscheidet der Minerophilus Freibergensis, ein unbekannter Bergmann-Autor, in seinem 1730 erschienenen Lexikon klar zwischen *Zaffer* und *Smalte*, wenn er auf Seite 526 schreibt: «Safflor, Saffra, Zapher-Farb, Saffra, Zaffer, ist ein blauer mineralischer Stein, der den Nahmen von Saphier hat, und bey Schneeberg, Annaberg [beide in Sachsen] und anderen Orten aus den so genannten gifftigen Cobelt [Kobalt] bereitet wird; Er wird desswegen Stein genennet, weil die blaue Farbe so feste in die Fässer geschlagen wird, worinnen er dergestalt erhärtet, dass er wie ein Stein mit eisern Schlägeln muss zerbrochen werden, siehe Blaue Farbe» und auf Seiten 126–127: «Blaue Farben-Glas ist das von Kobalt und Quartz zusammen-

geschmolzene Werck, welches so blau-helle wie Glass, so hernach gepocht, gestossen, und durch die Mühle im Wasser und zur blauen Farbe preparirt wird. Blau-Farben-Kobalt ist eine graue Berg-Art, woraus die blaue Farbe gemacht wird, und sehr häufig und ergiebig um Schneenberg, einige zu Annaberg, und anderen Orten des Gebürges gebrochen wird, welche dann gepocht, geröst, mit Sänden und Bottasche vermischt und geschmolzen wird, daraus das Blau-Farben-Glass entstehet, welches dann gepocht und gemahlen wird.»

Dass nicht nur Pottasche als Flussmittel, sondern auch Weinstein, Steinsalz oder Meersalz zum Einsatz kamen, um ein blaues Glas zu erzeugen, belegen die 50 Jahre älteren Rezepte von Kunckel (1679). In seinem «zweyten Theil» stellt er auf den Seiten 61–62 acht unterschiedliche Blau-Rezepte vor, darunter drei mit der Flussmittel-Kombination Weinstein (nicht Pottasche!) und Salz (doppelt soviel wie Weinstein), siehe Maggetti (2015b, Anhang 8, 153). Die Vorschrift XLI (Kunckel 1679, Zweyter Theil, 61) gibt eine Vorstellung, wie solch ein Smalte-Blau erzeugt wurde:

Ein schön blau Glas zum Mahlen.

Nimm Bley-Aschen 1. Pfund / reinen Sand von Kiesslingen 2. Pf. Saltz 2. Pfund / weiss calcionirten Weinstein 1. Pfund / Venedisch oder ander fein Glas ein halb Pfund / Zaffera ein halb Pfund / schmeltze es zusammen / und lösche es in Wasser/ schmeltze es wieder / und dieses muss man zu etlichen mahlen wiederhoblen; man muss auch dergleichen Procedere mit allen Schmelzgläsern / wo Weinstein zukommt / vornehmen / denn solche sonst zu viel Saltz behalten / und ungestalt in Mahlen werden; auch muss man dieses Gemeng / wenn es recht schön soll werden / einen oder 2. Tag und Nacht im Glas-Ofen gelinde calcioniren.

Über die historischen und technischen Aspekte der kobaltblauen Gläser existiert eine umfangreiche Literatur (Taylor 1977, Dayton et al. 1979, Horschik 1979, Porter 1997; Emons/Emons 1999, 2000; Hammer 2004, Stege 2004, Colombari 2013).

Für das hier untersuchte Scharfffeuerblau 1 wurde laut den mikroskopischen Evidenzen *Smalte* und nicht etwa *Zaffer* verwendet, denn es konnten keine eigenständigen Kobaltpigmente identifiziert werden und die Kornform der gemahlenen Smalte-Splitter ist teilweise noch zu erkennen. Die chemische Analyse zeigt weiter, dass im Blau nicht nur Kalium vorkommt, wie man dies erwarten sollte, wenn nur Pottasche für die Synthese der Smalte verwendet wurde, sondern dass Natrium und Chlor vorhanden sind. Demnach wurde auch NaCl (mit Soda?) als Flussmittel eingesetzt. Bei diesem Prozess entstand schlussendlich das

charakteristische Gefüge des Blaus, das heisst die Einbettung idiomorpher Kristalle in einer glasigen Matrix. Die eigengestaltigen Pb-Ca-As- und stengeligen SiO₂-Partikel (Cristobalite?) kristallisierten bei den hohen Maximaltemperaturen und während der Abkühlung aus der Glasschmelze, während die rundlichen SiO₂-Partikel wohl noch relikтив erhaltene Quarze des ursprünglichen Sandes sind. Der hohe Anteil sichtbarer SiO₂-Phasen ist ein Hinweis, dass im Rezept der Sandanteil viel zu hoch bemessen wurde, um ein homogenes, kristallfreies Blauglas zu erzeugen. Aber dies war vielleicht gewollt, um ein opakes Blau zu erhalten.

Das Rüdlinger Blau 1 enthält weder Barium noch Mangan und unterscheidet sich diesbezüglich vom einschlussreichen Inglosurblau jüngerer Fayencen der Manufakturen Le Bois d'Epense/Les Islettes (Maggetti et al. 2009c) und Fulda (Maggetti 2015b), sowie jüngerer freiburgischer Ofenkacheln (Maggetti et al. 2014, Maggetti/Serneels 2016). Die Rohstoffe waren demnach verschieden.

Das Rüdlinger Blau 2 unterscheidet sich chemisch nicht wesentlich vom Blau 1 (Gesamt und Glasmatrix, Tab. 6), mit Ausnahme des deutlich niedrigeren SiO₂- und höheren PbO-Gehaltes, was mit dem SiO₂-Kristallreichtum im Blau 1 zusammenhängt. Die Präsenz von weissen Quarzen und/oder Cristobaliten ergibt ein helles Blau, während dem das einschlussfreie Blau 2 einen deutlich dünneren und farbintensiveren, dunkelblauen Pinselstrich ermöglicht. Die chemische Ähnlichkeit ist ein Hinweis, dass beide Farben im gleichen Schmelzprozess synthetisiert wurden. Wird das flüssige Blauglas im Schmelztopf bei hohen Temperaturen eine geraume Zeit ruhen gelassen, können sich vorhandene Kristalle gravitativ anreichern, wodurch sich zwei Zonen in der Flüssigkeit bilden, eine einschlussfreie und eine einschlussreiche. Beide Glasschmelzen können dann separat extrahiert, abgekühlt und pulverisiert werden. Aus der kristallfreien entstünde so ein dunkelblaues und aus der kristallreichen ein hellblaues Glaspulver.

Wie passt nun die chemische Zusammensetzung des Rüdlinger Blau zu den jüngeren 1725er Blau-Rezepten (Matthes 2018, Anhang)? Während die Natur der anderen Ingredienzen klar ist, kann die *Saflorfarb* als geglühtes Erz (*Zaffer*) oder als blaues kobalthaltiges Glas (*Smalte*) interpretiert werden. Matthes (2018) spricht sich für eine Smalte aus: «*Saflorfarb* ist hier in den Rezepten nach meiner Ansicht – auch wegen der *farb* im Namen – die schon im 16. und 17. Jahrhundert im Handel übliche kobaltblaue Smalte [...].» Dies würde aber bedeuten, dass dieser Gemengteil mit den anderen (Tab. 7) nochmals aufgeschmolzen werden musste, um die wasserlöslichen

Flussmittel (Weinstein, Salz) zu silikatisieren bzw. in wasserunlösliche Verbindungen umzuwandeln. Warum hätten die Winterthurer Hafner, abgesehen von den finanziellen Aspekten, eine derartig mühselige Prozedur auf sich nehmen sollen, wenn die blaue Farbe schon vorhanden war? Die Winterthurer Rezepte sind meines Erachtens Rohmischungen, um die verschiedenen glasigen Farb- und Glasurpulver zu erzeugen, auch wenn fast alle Rezepte sich über die technischen Aspekte des Aufschmelzens, Abkühlens und Mahlens ausschweigen (Matthes 2018: «Nur bei drei Rezepten Pfaus, die kein Salz enthalten, wird besonders betont, das Vorsatzgemenge solle *gekucht* werden. Bei allen anderen wird offenbar das *zum Kuchen brennen* als selbstverständlich vorausgesetzt.»). Bei der *Saflorfarb* handelt es sich meines Erachtens um *Zaffer*, gemäss dem Minerophilus Freibergensis (1730), der das geröstete Kobalterz als *Zapher-Farb*, *Safflor*, *Zaffer* usw. bezeichnet (siehe oben).

Das Flussmittel Salz ist in neun von zehn Blau-Rezepten aufgelistet, Weinstein (K-Flussmittel laut Piccolpasso: L'Hôte et al. 2007, Lightbow/Caiger-Smith 1980) hingegen nur in vier (Tab. 7). Der K₂O-Gehalt im Rüdlinger Blau wäre mit einer dieser Mischungen zu vereinbaren. Nun haben zwei von vier Rezepten deutlich mehr Weinstein als Salz, die Blaufarbe aber in etwa gleichviel K₂O wie Na₂O, sodass, unter Berücksichtigung, dass Natrium beim Brennen verdampft, am ehesten die Rezepte 2 (Rezeptbüchlein 1) und 5 (Rezeptbüchlein 2) in Frage kämen. In beiden ist das Verhältnis von Blei zu Stein 2:1. In der chemischen Analyse des Rüdlinger Blau müsste demnach mehr PbO als SiO₂ vorhanden sein, was aber nicht zutrifft, denn die Verhältnisse sind fast 1:2 (Tab. 6). Daraus ist zu folgern, dass das Rüdlinger Blau keiner 1725er Rezeptur entspricht.

Braun: Die braunen Pinselstriche vom Typ 1 und 2 verdanken ihre Färbung erwartungsgemäss dem Mangan, entweder als gelöstes Ion im Glas (Braun Typ 2) oder noch zusätzlich in kristalliner Form (Braun Typ 1). Im Gegensatz zum Braun und Mauve der freiburgischen Ofenkacheln (Maggetti 2016b) ist das Rüdlinger Braun 1 eisenfrei. Die vielen grossen Gasblasen im Braun 1 sind auf die während des Garbrandes erfolgte Abspaltung von Sauerstoff aus den sich umwandelnden Pyrolusiten zurückzuführen. Die recht hohen Na₂O-Gehalte (Tab. 6) sind nicht mit den salzfreien 1725er Braun-Rezepten Nr. 3 und 6 (Tab. 7) zu vereinbaren, wie auch die allgemein niedrigen K₂O-Gehalte schlecht zum Weinstein-Zusatz des Rezeptes 7 passen. In den restlichen Braun-Rezepten ist nur wenig Braunstein aufgeführt, was gut mit dem Braun Typ 2 übereinstimmen dürfte.

Gelb: Als färbende Pigmente konnten in beiden Gelbtypen kristalline Phasen nachgewiesen werden, die eingehüllt in eine glasige Matrix, als pulverige Malsubstanz aufgepinselt wurde. Laut der mikro-chemischen Analysen handelt es sich meistens um Blei-Antimonat (PbSb)-Kristalle, selten um Pb-Sb-Sn-Mischkristalle (Tab. 6). Die theoretische stöchiometrische Zusammensetzung des wasserfreien PbSb-Gelbpigmentes vom Typ Neapelgelb (Pb₂Sb₂O₇), das heisst 58 Gew. % PbO und 42 Gew. % Sb₂O₅, konnte wegen der geringen Korngrösse und der dadurch mitanalysierten Umgebung aber nicht gemessen werden. Erhöhte Eisengehalte verfärben diese Kristalle rot. Die recht beträchtlichen SnO₂-Gehalte der Gesamtanalyse (Kristalle und einhüllende glasige Matrix) von bis zu 10 Gew. % widerspiegeln die Gehalte an Cassiterit, die zur Aufhellung des Gelbtones, in Form von Weissfritte-pulverkörner, dem Farbgemisch beigegeben wurden. In der Glasmatrix sind die Sn- und Sb-Oxydgehalte niedrig, tragen zur Farbe nicht bei und sind wohl im Glas gelöst.

Im Gelb vom Typ 2 konnten um Zinnoxidrelikten kleinkörnige Aggregate zinnhaltiger Blei-Antimonate identifiziert werden. Diese Gefüge sind Überbleibsel der Hochtemperatur-Farbsynthese, wonach Cassiterit mit Antimon und Blei zu gelben Mischkristallen reagierte (Maggetti et al. 2009b). Die bisher untersuchten Gelbpigmente schweizerischer Ofenkacheln des Kantons Freiburg gehören ausschliesslich zum PbSb-Typ (Maggetti 2016b, Maggetti/Serneels 2016). Die Herstellung dieser Farbpigmente kann bei Maggetti et al. (2009b) eingesehen werden.

Die Gelbgemische der 1725er Rezeptsammlung sind nicht einfach zu interpretieren, zumal die genaue Natur einiger Ingredienzen (*Flitschen, file*) nicht zu identifizieren ist (Matthes 2018). *Schlif* ist laut Matthes (2018) «[...] der Abrieb von den feinkörnigen Sandstein-Schleifsteinen der Messerschleifer. Er ist in der Regel reich an sehr feinen Eisenteilchen und Quarzkörnchen.» Bei Berücksichtigung der signifikant hohen Na₂O-Gehalte der glasigen Matrix könnten von den neun Gelbrezepten nur diejenigen in Frage kommen, in denen Salz als Flussmittel genannt wird (Tab. 7). Beiden fehlt aber der für die Rotfärbung einiger Blei-Antimonat-Kristalle notwendige Eisen-Zuschlag in Form von Fe-Feilspänen, Hammerschlag oder *Schlif* (4 Rezepte), sowie der für die K₂O-Gehalte verantwortliche Kaliumlieferant in Form von Weinstein (ein einziges Rezept). Eisen und Kalium könnten aber durchaus auch als Verunreinigung des Sandes/Kiesels/Steins in die Mischung gebracht worden sein. Demgegenüber wird das für das Gelb Typ 2 notwendige Zinn in keinem Rezept erwähnt, was als zusätzliches Argument genommen werden kann, wonach beide Rüdlinger Gelb keinem 1725er Gelbrezept entsprechen.

Im Übrigen sind die Rezepte 2 (1. Büchlein) und 5 (2. Büchlein) identisch.

Olivgrün: Die Kombination von gelben PbSb-Kristallen in einer durch Kupfer grün gefärbten Glasmatrix wird vom menschlichen Auge als opakes Olivgrün wahrgenommen. Dies ist ein klassisches keramisches Grün. Es wurde als Olivgrün persischer glasierter Ziegel, italienischer Majoliken und Meissener Porzellan nachgewiesen, siehe die Zusammenstellung bei Maggetti/d'Albis (2017, Tab. 7). Das Rüdlinger Olivgrün ist der erste derartige Nachweis für schweizerische Fayence-Ofenkacheln und -Geschirr. Es entspricht laut Tabelle 7 aber keinem 1725er Rezept (Matthes 2018). Dort ist zu erkennen, dass die Rezepte 1 (1. Rezeptbüchlein) und 4 (2. Rezeptbüchlein) identisch sind.

Schwarz: Die Rüdlinger Schwarz Typen 1a, 1b und 2 unterscheiden sich im mikroskopischen Bilde und chemisch deutlich von den bisher analysierten Analoga schweizerischer Ofenkacheln (Maggetti 2016b, Maggetti/Serneels 2016). Typ 1c gleicht hingegen gefügemässig und chemisch dem braunschwarzen Konturstrich des freiburgischen Blumenofens (Maggetti 2016b). Braunite wurden bisher in mehreren Mn-Schwarzfarben europäischer Fayencen nachgewiesen (Coentro et al. 2012, Molera et al. 2013, Pradell et al. 2013, Maggetti 2015b). Beim Brand können sich aber noch andere Mn-Phasen wie Bustamit, Hausmannit und Kentrolit bilden (Molera et al. 2013). Das Rüdlinger Schwarz 1 enthält Eisen, während das Schwarz 2 eisenfrei ist. Letzteres unterscheidet sich von den anderen Braun- und Schwarz-Farben durch geringe, aber signifikante Barium (Ba)-Gehalte, die mit einem anderen Mn-Edukt, nämlich Psilomelan ($BaMn^{2+}Mn^{4+}_8O_{16}(OH)_4$) vereinbart werden könnten. Laut Molera et al. (2013) muss aber berücksichtigt werden, dass viele Mn-Lagerstätten mit Baryt ($BaSO_4$)-Adern kombiniert sein können. Wie im Braun 1 sind die vielen grossen Gasblasen des Schwarz 2 auf die während des Garbrandes erfolgte Dissoziation von Sauerstoff aus den sich zersetzenen Psilomelanen zurückzuführen. Die 1725er Rezeptsammlung enthält keine Schwarzfarben.

Türkis: Für diese Scharffeuerfarbe wurde einer Weissfritte ein wenig Kupfer zugemischt oder die Farbe aus den Ingredienzen erschmolzen (Matthes 2018). Unter dem REM gleicht sie dem Türkis einer Steckborner Füllkachel (Maggetti 2106a) und des freiburgischen Blumenofens (Maggetti 2016b), ist hingegen chemisch dem ersten ähnlicher als dem zweiten, das erstaunlich hohe 5–6 Gew. % Al_2O_3 besitzt. Von den sieben 1725er Grün-Rezepten müssen einzig die identischen Nr. 2 (1. Büchlein) und 6 (2. Büchlein) diskutiert werden, da nur sie Zinn auflisten.

Erwägt man die Verhältnisse von Bley zu Stein, müssten in der Türkis-Analyse die Gehalte an PbO deutlich höher sein als diejenigen an SiO_2 , was aber nicht der Fall ist (Tab. 8). Das Rüdlinger Türkis oder Meergrün passt also wiederum nicht zu den Rezepten des Winterthurer Hafners David III Pfau.

Violett: Laut makroskopischen und mikroskopischen Evidenzen sind zwei Violett-Typen zu unterscheiden: zum Einen das primäre Violett der Pinselstriche, zum Andern das durch weiträumige Mangan-Diffusion aus den braunen oder schwarzen Mn-haltigen Pinselstrichen in die Weissglasur hinein entstandene, sekundäre Violett. Letzteres unterscheidet sich von der Weissglasur morphologisch überhaupt nicht und chemisch nur durch einen geringen Mn-Gehalt. Dasselbe gilt generell auch für das primäre Violett, wonach zu folgern ist, dass diese Inglasurfarbe einem Gemisch von Weissfritte und wenig Mangan (als Mn-Rohstoff oder als gefärbtes Mn-Glas dazugemischt) entspricht, das aufgeschmolzen, abgekühlt und zu einem violetten Glaspulver gemahlen wurde. Ihre Weissfritte ist aber eine andere als diejenige der Weissglasur, da beide gleich hohe SiO_2 -Gehalte besitzen, obwohl die Weissfritte des Violetts keinen Quarz-Zuschlag wie die Weissglasur aufweist. Ionar im Bleiglas gelöstes Mangan liegt unter oxidierenden Brennbedingungen als Mn^{3+} vor und färbt ein Bleiglas violett, während es unter reduzierenden Brennbedingungen als Mn^{2+} eine nicht sehr intensive braune Verfärbung bewirkt (Rhodes 1973, 210–211). Das freiburgische Violett-Rezept des freiburgischen Blumenofens war anders als dasjenige der Rüdlinger Kachel Ofe 24, denn beider SiO_2 - und PbO-Gehalte sind deutlich verschieden (Maggetti 2016b). Die Winterthurer 1725er Rezeptsammlung enthält ein einziges Rezept, «Läberfarb» genannt, das einem dunklen Manganbraunviolett entsprechen dürfte (Matthes 2018). Es listet folgende Ingredienzen auf (in Unzen): 22 Bleiäschchen + 13 Zinnaschen + 14 Salz + 22 Stein + 2 Braunstein. Von den Bestandteilen her würde es zwar gut zum Rüdlinger Violett passen, doch müsste dieses etwa gleich hohe SiO_2 - und PbO-Gehalte aufweisen (unter der Annahme, dass im Gegensatz zum Salz wenig Blei im Garbrand verdampft), was nicht der Fall ist. Damit kann auch diese Inglasurfarbe keinem 1725er Rezept zugeordnet werden.

SCHLUSS

Die chemischen, mikroskopischen und röntgenographischen Analysen von neun Kacheln und einem Stopflehm des Rüdlinger Kachelofens erbrachten folgende Ergebnisse:

- 1) Der Stopflehm unterscheidet sich durch seinen sehr hohen CaO-Gehalt (27 Gew. %) von demjenigen der Kacheln (12–15 Gew. % CaO). Er könnte lokaler Herkunft sein.

2) Die neun Ofenkacheln sind sich gefügtemässig und chemisch so ähnlich, dass eine Herkunft aus einem einzigen Hafnerzentrum (Winterthur) plausibel erscheint. Eine Kachel (Ofe 24) ist aber auf Grund ihres Dekors als Reparaturkachel einzustufen und stammt von einem anderen Winterthurer Ofen. Eine weitere Kachel (Ofe 27) passt in der Zusammensetzung der Engobe und der Glasur nicht zu den anderen und könnte ursprünglich auch zu einem anderen Ofen gehört haben.

3) Die neun Ofenkacheln unterscheiden sich durch einen signifikant höheren Magnesiumanteil von den bisher analysierten schweizerischen CaO-reichen Kacheln. Sie divergieren chemisch nicht sehr von den bisher analysierten Lehmen der Winterthurer Umgebung.

4) Für die Fayencekacheln lagen die Temperaturen des Garbrandes zwischen 950 und 1050°C und für die reliefierte grünglasierte Füllkachel knapp unter 950°C.

5) In der grün glasierten reliefierten Füllkachel trennt eine weisse, CaO-arme Engobe den Scherbenkörper von der Bleiglasur (Abb. 22). Sie entspricht wahrscheinlich einer quarzreichen Huppererde aus dem Jura. Diese Engobe diente traditionell der Aufhellung und der Verstärkung der Brillanz der grünen Glasur.

6) In allen acht Fayence-Ofenkacheln trennt eine feinkörnige, beigefarbige Engobe den Scherbenkörper von der weissen, opaken Fayenceglasur (Abb. 22). Sie ist deutlich CaO-reicher als der Scherbenkörper und könnte einer feinkörnigen Lage der Winterthurer Lehme entsprechen. Die Gründe für einen derartigen Überzug sind unklar.

7) Die transparente Bleiglasur der reliefierten Füllkachel besteht fast nur aus Silizium- und Bleioxyd. Die grüne Färbung wird durch im Glas ionar gelöstes Kupferoxyd verursacht. Mit fast 4 Gew. % ist der CuO-Anteil hoch.

8) Die weisse, opake Fayenceglasur enthält im Mittel 14 Gew. % Zinnoxyd. Im mikroskopischen Bild ist ein beträchtlicher Anteil von Quarzsplittern zu erkennen, die vor dem Garbrand der Weissfritte als Quarzpulver zugemischt wurden.

9) Die Untersuchungsresultate der chromatischen Verzierungen sind in der Tabelle 9 zusammengefasst. Die diversen Farbaufträge zeigen wellige Grenzverläufe zur Fayence-Fondglasur, ein typisches Merkmal der Ingglasur- bzw. der Scharffeuer-Farben. Für die Dekoration wurden farbige Glaspulver verwendet.

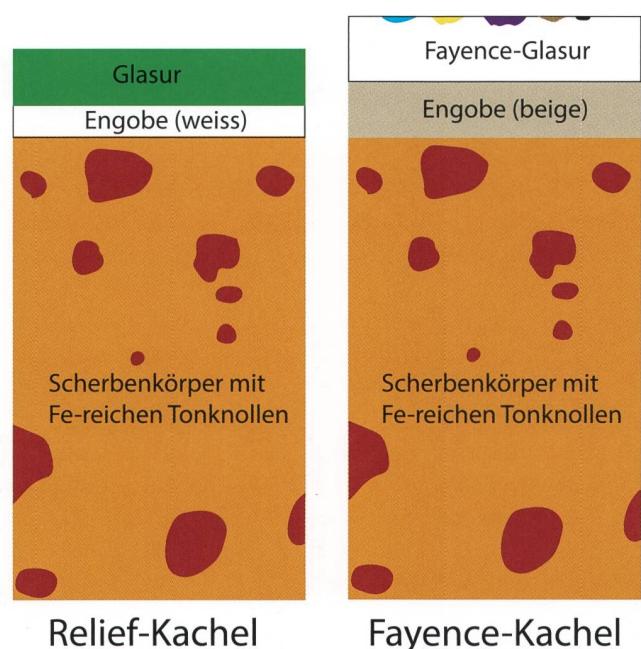


Abb. 22: Schematische Darstellung des Querschnittes durch eine grünglasierte Relief- und eine mit Ingglasur- bzw. Scharffeuer-Farben bemaalte Fayence-Kachel des Rüdlinger Kachelofens. Zeichnung M. Maggetti.

10) Die technischen Merkmale des Rüdlinger Kachelofens von 1681/1682 unterscheiden ihn von den bisher naturwissenschaftlich untersuchten schweizerischen Kachelöfen. Die mikroskopisch-morphologischen Aspekte und die chemische Zusammensetzung der Glasuren und der Ingglasurfarben können, mit Ausnahme der Weissfritte und dem Braun Typ 2, mit keinem Rezept der zwei 1725 datierten Rezeptbüchlein des Winterthurer Hafners David III Pfau vereinbart werden.

Mit vorliegender Untersuchung ist nun zwar ein erster Schritt zur materialmässigen Charakterisierung der Winterthurer Kachelofenproduktion gemacht worden, doch sind weitere Analysen notwendig, um das gesamte Spektrum zu erfassen.

Abstract

Chemical, microscopic and X-ray analyses of nine tiles and one filler clay of the Rüdlinger tiled stove yielded the following results: (1) The filler clay differs by its very high CaO content of 27 wt. % from that of the tiles (12-15 wt. % CaO). He could well be of local origin; (2) The nine stove tiles are texturally and chemically so similar that an origin from a single stove mason center (Winterthur) seems plausible, even if at least one tile is classified as a repair tile due to its decoration. It derives from another Winterthur kiln; (3) The nine stove tiles differ from the previously analyzed Swiss CaO-rich tiles due to a significantly higher magnesium content. They fit chemically to the previously analyzed loams and clays in the Winterthur region; (4) For the faience tiles, the temperatures of the second firing were between 950 and 1050°C, for the relieved green glazed filling tile just below 950°C; (5) In the green-glazed, relief filling tile, a white, low-CaO engobe separates the body from the lead glaze (Fig. 20). It probably corresponds to a quartz-rich Hupper earth from the Jura mountains; (6) All eight faience stove tiles have a fine-grained, beige coloured engobe between the ceramic body and the white faience glaze resp. white glaze (Fig. 20). It is significantly more rich in CaO than the body and could correspond to a fine-grained layer of the Winterthur loam/clay deposits; (7) The transparent lead glaze of the relief filler tile consists almost exclusively of silicon and lead oxide. The green color is caused by a high amount (4 wt. %) of copper oxide dissolved in the glass; (8) The opaque white faience glaze contains quartz powder that has been added to the white frit before the second firing. It contains on average 14 % by weight of tin oxide; (9) The results of the chromatic decoration are summarized in table 9. The various paint layers show wavy borderlines to the underlying faience glaze, a typical feature of inglaze colours. Coloured glass powders were used for the decoration; (10) The technical characteristics of the Rüdlinger tiled stove from 1681/1682 differentiate it from the previously scientifically studied Swiss tiled stoves. The microscopic-morphological aspects and the chemical compositions of both glazes and inglaze colours can not be agreed with any recipe from the two 1725 dated recipe booklets of the Winterthur stove mason David III Pfau, with the exception of the white frit and the brown 1. Although the present study has made a first step in the characterization of the important Winterthur tiled stove production, further analyzes are necessary to cover the entire spectrum.

Dank

Ich danke Giorgio Behr und Walter Steinemann für die Erlaubnis, den Ofen beproben zu dürfen, Hafnermeister Thomas Brunner für die Probennahme und die vielen spannenden und interessanten Diskussionen, Jürg Schmid für die Fotos des Rüdlinger Kachelofens, Margrit Früh für die kunsthistorischen Erläuterungen, Patrick Dietsche für die Probenvorbereitung, Vincent Serneels für die chemischen RF-Analysen, Alexandre Salzmann für die Röntgenanalysen, Christoph Neururer für die wertvollen Ratschläge bei den REM-Messungen, Nicole Bruegger für die Reinzeichnung der Abb. 6 und die Kontrolle des Literaturverzeichnisses, Jasmin Maggetti für das Lektorat, Roland Blaettler für die akribische redaktionelle Durchsicht des Manuskriptes und Daniel Diezi für die perfekte graphische Umsetzung.

Adresse des Autors:

Marino Maggetti
Universität Freiburg i. Ue.
Departement für Geowissenschaften, Erdwissenschaften
Chemin du Musée 6
CH-1700 Freiburg/Schweiz
marino.maggetti@unifr.ch

LITERATUR

Anonymous (1762): Fayancerie, contenant douze planches. In: Briasson, A.-C., David, M.-A., Le Breton, A. F. & Durand, L. (Hrsg.), Recueil de Planches, Sur Les Sciences, Les Arts Libéraux, Et Les Arts Mécaniques, Avec Leur Explication. Vol 1 [?], Paris, [1762 ?]. Faksimile der Tafeln mit Begleittext, Inter-livres, Paris 2002.

Antonelli, F./Ermeti, A. L./Lazzarini, L./Verità, M./Raffaelli, G. (2014): An archaeometric contribution to the characterization of Renaissance maiolica from Urbino and a comparison with coeval maiolica from Pesaro (The Marches, Central Italy). *Archaeometry* 56, 5, 784–804.

Baeriswyl, A. (2006): Innovation und Mobilität im Spiegel der materiellen Kultur – archäologische Funde und historische Fragestellung. Ein Versuch. *Europa im späten Mittelalter. Politik-Gesellschaft-Kultur. Historische Zeitschrift, Beihefte, New Series* 40, 512–537.

Bajnóczi, B./Nagy, G./Tóth, M./Ringer, I./Ridovics, A. (2014): Archaeometric characterization of 17th-century tin-glazed Anabaptist (Hutterite) faience artefacts from North-East-Hungary. *Journal of Archaeological Science* 45, 1–14.

Barilaro, D./Crupi, V./Interdonato, S./Majolino, D./Venuti, V./Barone, G./La Russa, M. F./Bardelli, F. (2008): Characterization of blue decorated Renaissance pottery fragments from Caltagirone (Sicily, Italy). *Applied Physics, A* 92, 91–96.

Béarat, H. (1992): La céramique du four de potier d'Untertor 21–25, Winterthur: étude chimique, minéralogique et technique. In: Lehmann, P., Zwei Töpferöfen in der Winterthurer Altstadt. Berichte der Zürcher Denkmalpflege, Archäologische Monographien 12, 64–73, 184–186, 195–199.

Bellwald, U. (1980): Winterthurer Kachelöfen. Von den Anfängen des Handwerks bis zum Niedergang im 18. Jahrhundert. Stämpfli & Cie, Bern.

Ben Amara, A. (2002): Céramiques glaçurées de l'espace méditerranéen (IX^e–XVII^e siècles ap. J.-C.): Matériaux, techniques et altération. Thèse non publiée, Université de Bordeaux 3.

Ben Amara, A./Schvoerer, M. (2006): Interaction between lead glazes and bodies: Research on the mode of application of the glazing mixtures. In: Perez-Arategui, J. (ed.), 34th International Symposium on Archaeometry, Zaragoza, 3–7 May 2004, Vol. 2.621. Institución «Fernando el Católico», Zaragoza, 399–404.

Benghezal, A. (1989): Groupes de référence des poteries gallo-romaines de Seeb (ZH-Suisse) et Oberwinterthur (ZH-Suisse): Caractéristiques minéralogiques, chimiques et techniques. Travail de diplôme non publié, Université de Fribourg.

Berti, F. (ed.) (2003): Dionigi Marmi, Segreti di Fornace. Aedo Editore, Montelupo Fiorentino.

Blanc, C. (2007a): Étude archéométrique de la faïencerie du Sauvage, Fribourg (1758–1810). Thèse non publiée, Département des Géosciences, Faculté des Sciences, Université de Fribourg.

Blanc, C. (2007b): Étude archéométrique. In: Maggetti, M. (dir.), La faïence de Fribourg (1753–1844). Faton, Dijon, 82–125.

Boschetti-Maradi, A. (2006): Gefässkeramik und Hafnerei in der Frühen Neuzeit im Kanton Bern. *Schriften des Bernischen Historischen Museums* 8. Bern.

Boschetti-Maradi, A. (2012): Technikgeschichte, Herrschaftsrechte und "Kulturräume". Zur Keramikentwicklung in der Schweiz im 12.–14. Jh. In: Boschetti-Maradi, A./de Capitani, A./Hochuli, St./Niffeler, U. (Hrsg.), Form, Zeit und Raum. Grundlagen für eine Geschichte aus dem Boden. Festschrift für Werner E. Stöckli zu seinem 65. Geburtstag. *Antiqua* 50. Basel, 245–254.

Boschetti-Maradi, A./Gutscher, D./Leibundgut, M./Frey-Kupper, S. (2004): Die Untersuchungen im Rathaus Nidau 1993. *Archäologie im Kanton Bern* 5, 641–676.

Bouquillon, A. (2000): Observations sur la technique et la composition des glaçures de quelques carreaux de pavements Renaissance provenant de Brou, Longecourt-en-Plaine, Thouars, Langres, Polisy et Rouen. In: Rosen, J. (éd.), *Images du pouvoir. Pavements de faïence en France du XIII^e au XVIII^e siècle. Musée de Brou/Réunion des Musées nationaux, Brou/Paris*, 185–187.

Bourgarel, G. (1995): Fribourg. Rue de la Samaritaine. *Archéologie fribourgeoise, chronique archéologique* 1993, 49–56.

Bourgarel, G. (2000): La céramique de poêle fribourgeoise révélée par les fouilles archéologiques. In: Richard, A./Schwien, J.-J. (éd.), *Archéologie du poêle en céramique du Haut Moyen Âge à l'Époque moderne. Technologie, décors, aspects culturels. Revue archéologique de l'Est*, 15^e supplément, 51–57.

Bourgarel, G. (2011): Céramique en milieu urbain dans le Canton de Fribourg: 1150–1350. *Akten des Kolloquiums zur Mittelalterarchäologie in der Schweiz – Actes du Colloque Archéologie du Moyen Âge en Suisse, Frauenfeld*, 28–29.10.2010. Verlag Archäologie der Schweiz, Basel, 427–447.

Bourgarel, G. (2013): Les premiers témoignages de productions stannifères en Suisse et dans le canton de Fribourg (XV^e–XVII^e siècles). In: Maggetti, M./Morin, D./Rech, G. (éd.), *Faïences et faïenceries de l'arc jurassien et ses marges. Procédés techniques et décors. L'apport des sources et de l'archéologie. Deuxième Table Ronde Franco-Suisse*, 24–25.10.2009. Conseil Général de la Haute-Saône/Université de Fribourg, 59–89.

Boyer, M. (1827): Manuel du porcelainier, du faïencier et du potier de terre; suivi de l'art de fabriquer les terres anglaises et de pipe, ainsi que les poèles, les pipes, les carreaux, les briques et les tuiles. Roret, Paris, volume II, 83–128.

Capelli, C./Riccardi, M. P. (2002): Il contributo delle analisi petrografiche allo studio dei rivestimenti di ceramiche in blu: alcuni esempi. *Atti XXXV convegno internazionale della ceramica. Ceramic in blu, diffusione e utilizzazion del blu nella ceramica*, Savona, 31 maggio–1 giugno. Centro ligure per la storia della ceramica, Albisola, 19–28.

Coentro, S./Trindade R. A. A./Mirão, J./Candeias, A./Alves, L. C./Silva, R. M. C./Muralha, V. S. F. (2014): Hispano-Moresque ceramic tiles from the monastery of Santa Clara-a-Velha (Coimbra, Portugal). *Journal of Archaeological Science* 41, 21–28.

Colomban, P. (2013): Rocks as blue, green and black pigments/dyes of glazed pottery and enamelled glass artefacts – A review. *European Journal of Mineralogy* 25, 863–879.

Colomban, P./Maggetti, M./d'Albis, A. (2018): Non-invasive Raman identification of crystalline and glassy phases in a 1781 Sèvres Royal Factory soft paste porcelain plate. *Journal of the European Ceramic Society* 38/15, 5228–5233 (<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.07.001>).

Dayton, J./Bowles, J./Shepperd, C. (1979): «Egyptian Blue» or «kyanos» and the problem of cobalt. In: Dayton, J./Dayton, A. (eds.), *Minerals, Metals, Glazing & Man or Who was Sesostris I?* Harrap, London, Appendix I, 451–462.

De la Hubaudière, C./Soudée Lacombe, Ch. (2007): «L'art de la fayence» des Caussy, faïenciers à Rouen et Quimper au XVIII^e siècle. Éditions Lilou, Quimper.

Dell'Aquila, C./Laviano, R./Vurro, F. (2006): Chemical and mineralogical investigations of majolicas (16th-19th centuries) from Laterza, Southern Italy. In: Maggetti, M./Messiga, B. (eds.), *Geo-materials in Cultural Heritage*. Geological Society, London, Special Publication 257, 151–162.

Diderot, D. (1756): Fayence. In: Diderot, D./Le Rond d'Alembert, J.B. (éds.), *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres*. Briasson, Paris, vol. 6 [1756], 454–460.

Ducret, S. (1948): Das Freysche Mastico. *Mitteilungsblatt Keramik-Freunde der Schweiz* 8, 34–35.

Ducret, S. (1950): Die Lenzburger Fayencen und Öfen des 18. und 19. Jahrhunderts. AZ-Presse, Aarau.

Dürst, A. (1990): Die topographische Aufnahme des Kantons Zürich 1843–1851. *Cartographica Helvetica* 1, 2–17.

Emons, H.-H./Emons, M. (1999): Cobalt-Blaufarben. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin* 33, 111–135.

Emons, M./Emons, H.-H. (2000): Blaufarben – Blåfarve, ein historisches Beispiel deutsch-norwegischer Zusammenarbeit. *Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab Skrifter* 2, 3–32.

Ewald, J./Tauber, J. (1975): Die Burgruine Scheidegg bei Gelterkinden. *Berichte über die Forschungen* 1970–74. Walter, Olten/Freiburg i. Br.

Fabbri, B./Gualtieri, S./Shoval, S. (2014): The presence of calcite in archaeological ceramics. *Journal of the European Ceramic Society* 34/7, 1899–1911.

Faesi, J. C. (1765): Johann Conrad Faesis, Pfarrers der Gemeinde Uetikon an dem Zürich-See, und Mitglieds der Eidgenössischen Gesellschaft zu Schinznach, genaue und vollständige Staats- und Erd-Beschreibung der ganzen Helvetischen Eidgenossenschaft, der selben gemeinen Herrschaften und zugewandten Orten, Band 1. Orell/Gessner & Co., Zürich.

Felchlin, M. (1971): Das Arkanum der Matzendorfer Keramiken. *Jahrbuch für solothurnische Geschichte* 44, 7–55.

Frascoli, L. (1997): Handwerker- und Kaufmannshaushalte im frühneuzeitlichen Winterthur. Untersuchungen zu vier Liegenschaften in der Altstadt. *Monographien der Kantonsarchäologie Zürich* 29. Zürich/Elgg.

Frascoli, L. (2007): Und was macht der Süden? Keramikherstellung und -gebrauch zwischen dem 15. und Ende 19. Jahrhundert in Winterthur. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit* 18, 117–122.

Frei, K. (1928): Zur Geschichte der Winterthurer Ofenmalerei. Führer durch die Eröffnungsausstellung des Winterthurer Gewerbe-museums. Winterthur.

Frei, K. (1932): Bemalte Steckborner Keramik des 18. Jahrhunderts. *Mitteilungen der antiquarischen Gesellschaft in Zürich* XXXI/1, 1–104.

Frey, J. (2016): Manche mögen's bunt – Polychrom bemalte Fayence-Ofenkacheln aus Zürich, datiert vor 1542. In: Stephan, H.-G. (Hrsg.), *Keramik und Töpferei im 15./16. Jahrhundert. Beiträge des 47. Internationalen Symposiums für Keramikforschung vom 8. bis 12. September 2014 in der Lutherstadt Wittenberg*. Hallesche Beiträge zur Archäologie des Mittelalters 2. Beier & Beran, Langenweissbach, 41–49.

Frey, R./Wildberger, A./Frank, S./Freimoser, M. (2011): Blatt 1072 Winterthur. *Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Karte 140*. Bundesamt für Landestopografie – swisstopo, Bern.

Früh, M. (2005): Steckborner Kachelöfen des 18. Jahrhunderts. Huber, Frauenfeld/Stuttgart/Wien.

Früh, M. (2015): Ein Renaissance-Ofen von Abraham Pfau findet eine neue Heimat. Der Winterthurer Ofen in Rüdlingen und seine Stammheimer Brüder. Die Renaissance der «Stube» Rüdlingen. Rüdlingen.

Gerber, Y./Stern, W. B. (2012): Archäometrische Analyse der Gläser. In: Gerber, C./Gerber, Y./Stern, W. B./Kaiser, L./Eramo, G., Court, Pâture de l'Envers. *Une verrerie forestière jurassienne du début du 18^e siècle, volume 2: Des matières premières aux productions*. Service archéologique du canton de Berne, Berne, 95–162.

Gratuze, B./Soulier, I./Blet, M./Vallauri, L. (1996): De l'origine du cobalt: du verre à la céramique. *Revue d'archéométrie* 20, 77–94.

Hammer, P. (2004): Das Sächsische Blaufarbenwesen und der Handel mit Kobaltfarben – nach Unterlagen der Bücherei der Bergakademie Freiberg. In: Winkler Prins, C. F./Donovan, S. K. (eds.), *VII International Symposium «Cultural Heritage in Geosciences, Mining and Metallurgy: Libraries – Archives – Museums»: «Museums and their collections»*, Leiden, 19–23 May 2003. *Scripta Geologica, Special Issue* 4, 108–117.

Hartwig, J. (2001): De la fabrication et de l'utilisation du safre ou zaffera (cobalt) et du smalte pour les verriers du 16^e au 18^e siècle. *Verre* 7, 40–48.

Hasenfratz, A. (2011): Entwicklung und Besonderheiten des Kachelofens in der Nordostschweiz. In: *Siedlungsbefunde und Fundkomplexe der Zeit zwischen 800 und 1350. Akten des Kolloquiums zur Mittelalterarchäologie in der Schweiz*, Frauenfeld, 28.–29.10.2010. Verlag Archäologie der Schweiz, Basel, 329–332.

Heimann, R./Maggetti, M. (2014): *Ancient and Historical Ceramics. Materials, Technology, Art and Culinary Traditions*. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart.

Hofmann, F./Mumenthaler, Th./Witzig, E. (1997): Tone, Sande und Gesteine für spezielle Anwendungen. In: Schweizerische Geotechnische Kommission (Hrsg.), *Die mineralischen Rohstoffe der Schweiz*. Zürich, 65–96.

Homberger, V./Zubler, K. (2010): Mittelalterliche und neuzeitliche

che Keramik der Region Schaffhausen. Typologie, Seriation und Materialvorlage. Beiträge zur Schaffhauser Archäologie 3. Schaffhausen.

Horschik, J. (1979): Beiträge zur Geschichte der Kobaltfarbe und ihrer Verwendung in der Keramik. *Keramos* 85, 119–142.

Janke, D.-M. (1989): Technik und Herkunft mittelalterlicher Ofenkacheln aus der Nordwestschweiz. Unpublizierte Diplomarbeit, Mineralogisches Institut der Universität Freiburg (Schweiz).

Janke, D.-M./Galetti, G./Stern, W. (1991): Mittelalterliche Ofenkacheln – Chemische und mineralogische Untersuchungen. In: Tauber, J. (Hrsg.), *Methoden und Perspektiven der Archäologie des Mittelalters. Archäologie und Museum* 20. Liestal, 177–185.

Janosa, M. (1997): Ein Ofenkacheldepot vom Churer Martinsplatz. Mittelalter – Moyen Age – Medioevo – Temp medieval 2, 95–106.

Jauch, V. (2014): Vicustöpfer. Keramikproduktion im römischen Oberwinterthur. *Vitudurum* 10. Monographien der Kantonsarchäologie Zürich 45. Zürich.

Kingery, W. D./Aronson, M. (1990): The glazes of Luca della Robbia. *Faenza* 5, 221–225.

Krünitz, J. G./Korth J. W. D. (1831): Dr. Johann Georg Krünitz's ökonomisch-technologische Encyklopädie, oder allgemeines System der Staats-, Stadt-, Haus- und Landwirthschaft, und der Kunstgeschichte in alphabetischer Ordnung. Früher fortgesetzt von Friedrich Jakob und Heinrich Gustav Floerke, und jetzt von Johann Wilhelm David Korth, Doktor der Philosophie, Band 154. Paulische Buchhandlung, Berlin.

Kunckel, J. (1679): Ars Vitraria Experimentalis, oder Vollkommene Glasmacher-Kunst. Frankfurt/Leipzig.

Lehmann, P. (1992): Zwei Töpferöfen in der Winterthurer Altstadt. Berichte der Zürcher Denkmalpflege. Archäologische Monographien 12. Zürich/Elgg.

Lesny, K./Heege, A. (2012): Behautung. In: Roth Heege, E., Ofenkeramik und Kachelöfen. Typologie, Terminologie und Rekonstruktion. Schweizer Beiträge zur Kulturgeschichte und Archäologie des Mittelalters 39. Schweizerischer Burgenverein, Basel, 52–53.

L'Hôte, J. M./Rosen, J./Sfeir-Fakhri, L. (2007): Les trois livres de l'art du potier. Éditions de la Revue de la céramique et du verre, Vendin-le-Vieil.

Lightbown, R./Caiger-Smith, A., (1980): The Three Books of the Potter's Art. Dover, London.

Lugeon, M. (1907): Dättnau, Neftenbach, Pfungen, Winterthur. In: Letsch, E. (Hrsg.), *Die schweizerischen Tonlager*. I. Geologischer Teil. Beiträge zur Geologie der Schweiz. Geotechnische Serie IV. Geologische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Bern, 373–374, 395–396, 399–400, 414.

Maggetti, M. (1982): Phase Analysis and Its Significance for Technology and Origin. In: Olin, J. S./Franklin, A. (eds.), *Archaeological Ceramics*. Smithsonian Institution Press, Washington D. C., 121–133.

Maggetti, M. (1994): Mineralogical and Petrographical Methods for the study of ancient pottery. In: Burragato, F./Grubessi, O./Lazzarini, L. (eds.), *1st European workshop on archaeological ceramics*. Università degli studi La Sapienza, Roma, 23–35.

Maggetti, M. (2007): Technique de la faïence française (fin XVIII^e/début XIX^e siècle). In: Maggetti, M. (dir.), *La faïence de Fribourg*. Faton, Dijon, 14–31.

Maggetti, M. (2008): Naturwissenschaftliche Untersuchung alter Keramik. In: Hauptmann, A./Pingel, V. (Hrsg.), *Archäometrie: Methoden und Anwendungsbeispiele naturwissenschaftlicher Verfahren in der Archäologie*. Schweizerbart, Stuttgart, 91–109.

Maggetti, M. (2012): Technology and Provenancing of French faience. In: Herrero, J.M./Vendrell, M. (eds.), *Seminarios de la Sociedad Espanola de Mineralogia* 09, 41–64.

Maggetti, M. (2013a): La tuilerie-faïencerie de Granges-le-Bourg: Analyses archéométriques de la céramique. In: Maggetti, M./Morin, D./Rech, G. (éds.), *Faïences et faïenceries de l'arc jurassien et ses marges. Procédés techniques et décors. L'apport des sources et de l'archéologie*. Deuxième Table Ronde Franco-Suisse. Actes du colloque Vesoul 24-25.10.2009. Conseil général de la Haute-Saône, 33–57.

Maggetti, M. (2013b): Glaçures et pigments de la faïencerie Granges-le-Bourg (Haute-Saône). Analyse et reconstitution technique. In: Janot, F./Giuliato, G./Morin, D. (éds.), *Indices et traces: la mémoire des gestes. Actes du colloque international 16-18 juin 2011*. Presses Universitaires de Nancy, 319–360.

Maggetti, M. (2015a): Europäische Fayencetechnik im 18. Jahrhundert. In: Stasch, G., *Made in FD. Spitzentechnologie aus der Fuldaer Fayence-Manufaktur (1741–1760)*. Vonderaumuseum, Fulda, 26–39.

Maggetti, M. (2015b): Naturwissenschaftliche Charakterisierung von Fayencen aus Fulda. In: Stasch, G., *Made in FD. Spitzentechnologie aus der Fuldaer Fayence-Manufaktur (1741–1760)*. Vonderaumuseum, Fulda, 125–154.

Maggetti, M. (2016a): Technologische Analyse zweier Steckborner Ofenkacheln von circa 1740. *Bulletin der Keramik-Freunde der Schweiz* 88, 13–24.

Maggetti, M. (2016b): Technologische Analyse der Scharffefarben dreier Kachelöfen von der Reichengasse 59 in Freiburg/Schweiz. *Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles* 105, 91–119.

Maggetti, M. (2017a): Technologische Analyse eines frühen (1800–1806) Matzendorfer Steinguts. *Mitteilungsblatt Keramik-Freunde der Schweiz* 131, 105–123.

Maggetti (2017b): Analyse historique et technologique du carnet de notes du faïencier carougeois Antoine Louis Baylon. *Mitteilungsblatt Keramik-Freunde der Schweiz* 131, 124–156.

Maggetti, M./Westley, H./Olin, J. (1984): Provenance and Technical Studies of Mexican Majolica Using Elemental and Phase Analysis. In: Lambert, J. B. (ed.), *Advances in Chemistry Series*, American Chemical Society, 205, 151–191.

Maggetti, M./Galetti, G. (2000): Naturwissenschaftliche Analyse der Fayence von Matzendorf. In: *200 Jahre keramische Industrie in Matzendorf und Aedermannsdorf 1798–1998*. Matzendorf, 100–183.

Maggetti, M./Morin, D./Serneels, V. (2009a): High-Mg faences from Granges-le-Bourg (Haute-Saône). In: Biro, K. T./Szilagyi, V./Kreiter, A. (eds.), *Proceedings of the conference EMAC'07, 9th European Meeting on Ancient Ceramics, 24-27 October 2007. Vessels: Inside and outside*. Budapest, 207–216.

Maggetti, M./Neururer, Ch./Rosen, J. (2009b): Antimonate opaque glaze colours from the faience manufacture of Le Bois d'Épense. *Archaeometry* 51/5, 791–807.

Maggetti, M./Rosen, J./Neururer, C. (2009c): Grand feu colours used in the faience manufacture Le Bois d'Épense/Les Islettes. In: Moreau J. F./Auger, R./Chabot, J./Herzog, A. (eds.), *Proceedings ISA 2006, 36th Int. Symposium on Archaeometry*. Quebec, 307–316.

Maggetti, M./Rosen, J./Serneels, V. (2011): White Earthenware from Lorraine (1755-c.1820): Provenance and Technique. *Archaeometry* 53/4, 765–790.

Maggetti, M./Galetti, G./Torche-Julmy, M.-Th. (2014): Analyses scientifiques de quelques catelles de poêles fribourgeois du XVIII^e s. *Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles* 103, 59–82.

Maggetti, M./Serneels, V./Stasch, G. (2015a): Composition and technology of 18th century high magnesia faïences from Fulda. *Journal of Archaeological Science. Reports* 2, 40–50.

Maggetti, M./Bourgarel, G./Serneels, V./Kozlowski, G. (2015b): Les catelles de trois poêles du XVIII^e siècle de la maison Grand-Rue 59 à Fribourg. *Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles* 104, 74–113.

Maggetti, M./Serneels, V. (2016): Chemische und technologische Analyse einiger Fayencekacheln eines Johann Baptist Nuoffer zugeschriebenen Kachelofens von circa 1780–85. *Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles* 105, 32–90.

Maggetti, M./d'Albis, A. (2017): Phase and compositional analysis of a Sèvres soft paste porcelain plate from 1781. *European Journal of Mineralogy* 29, 347–367.

Maggetti, M./Serneels, V. (2017): Étude archéométrique des terres blanches poreuses («faïences fines») des manufactures de Carouge, Jussy, Nyon et Turin. *Mitteilungsblatt Keramik-Freunde der Schweiz* 131, 158–222.

Maggetti, M./Zwick, P./Serneels, V. (2017): Une marne des Rites pour la faïence de Fribourg ? *Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles* 106, 119–126.

Marti, R. (2000): Zwischen Römerzeit und Mittelalter. *Forschungen zur frühmittelalterlichen Siedlungsgeschichte der Nordwestschweiz (4.–10. Jh.)*. Archäologie und Museum 41A. Liestal.

Mason, R. B./Tite, M. S. (1997): The beginnings of tin-opacification of pottery glazes. *Archaeometry* 39, 41–58.

Matter, A. (2000): Keramikentwicklung in Winterthur vom 12. Jh. bis um 1400. Sechs Kellerverfüllungen aus der Altstadt. *Archäologie im Kanton Zürich 1997–1998. Berichte der Kantonsarchäologie Zürich 15*. Zürich/Elgg, 183–245.

Matter, A./Wild, W. (1997): Neue Erkenntnisse zum Aussehen von Kachelöfen des 13. und frühen 14. Jahrhunderts. Befunde und Funde aus dem Kanton Zürich. *Mittelalter – Moyen Age – Medioevo – Temp medieval* 2, 77–95.

Matthes, W. E. (1990): Keramische Glasuren. Grundlagen, Eigenschaften, Rezepte, Anwendung. 2. Auflage. Augsburg.

Matthes, W. E. (2009): Zu einem Rezeptbüchlein von Hafnerglasuren, angelegt 1765, kürzlich aufgefunden in Braunau am Inn. In: Kaltenberg, A., *Keramik des Mittelalters und der Neuzeit in Oberösterreich. Band 1: Grundlagen*. Studien zur Kulturgeschichte von Oberösterreich, Folge 23 – Nearchos 17. Linz, 785–787.

Matthes, W. E. (2010): Zur historischen Technik der Fayenceglasuren – Eine Handschrift mit Rezepten für Fayencefarben und -glasuren von 1775. In: *Keramische Begegnungen Sachsen-Schlesien-Böhmen, Tagungsband des 42. Int. Symposiums Keramikforschung, Sept. 2009*. Görlitz, Raeren, 185–187.

Matthes, W. E. (2011a): Ein Beitrag zur historischen Glasurtechnologie – Rezepte für Fayence-Glasuren und -Farben in einer Handschrift des 18. Jahrhunderts aus Wels. *Jahrbuch des Musealvereines Wels* 35, 299–304.

Matthes, W. E. (2011b): Farbrezepturen für Hafnerware und Fayencen in der Handschrift von Johann Kizberger in Wels. In: Felgenhauer-Schmidt, S./Hofer, N./Kühtreiber, K./Scharrer-Liska, G. (Hrsg.), *Keramik und Technik. Internationale Fachtagung der Österreichischen Gesellschaft für Mittelalterarchäologie. 43. Int. Symposium Keramikforschung, Mauten a. d. Donau. Beiträge zur Mittelalterarchäologie in Österreich 27*. Wien, 189–192.

Matthes, W. E. (2012): Eine handschriftliche Sammlung von Blei- und Fayence-Glasurrezepten des Hafnermeisters Johann Kizberger in Wels (Oberösterreich). *Keramik in Mitteldeutschland – Stand der Forschung und Perspektiven. 41. Int. Hafnersymposium des Arbeitskreises für Keramikforschung, Dresden 2008. Veröffentlichungen des Landesamts für Archäologie Dresden* 57. Dresden, 403–407.

Matthes, W. E. (2013): Glasuren für Ofenkacheln – Historische Beispiele von Rezepten des 17. bis 19. Jahrhunderts. In: Siebenmorgen, H. (Hrsg.), *Blick nach Westen: Keramik in Baden und im Elsass. 45. Internationales Symposium Keramikforschung, Badisches Landesmuseum Karlsruhe, 24.–28.9.2012*. Karlsruhe, 233–241.

Matthes, W. E. (2015): Das Rezeptbüchlein des Daniel Herrmann im Bernischen Historischen Museum. Ein Beitrag zur Technik historischer Fayenceglasuren und -farben des 18. Jahrhunderts. In: Glaser, S. (Hrsg.), *Keramik im Spannungsfeld zwischen Handwerk und Kunst. Beiträge des 44. Internationalen Symposiums Keramikforschung im Germanischen Nationalmuseum, Nürnberg, 19.–23. September 2011*. Nürnberg, 203–212.

Matthes, W. E. (2017): Das Rezeptbüchlein der Hafner Herrmann aus Langnau. Ein Beitrag zur Technik der historischen Fayenceglasuren und -farben des 18. Jahrhunderts. In: Heege, A./Kistler, A., *Keramik aus Langnau. Zur Geschichte der bedeutendsten Landhafnerei im Kanton Bern*. Bern, 226–238.

Matthes, W. E. (2018): Zwei handschriftliche Rezeptbüchlein aus Winterthur für Fayencefarben und -glasuren aus der Mitte des 18. Jahrhunderts. In: *Keramik zwischen Produktion, praktischem Gebrauch, Werbung, Propaganda und Mission. Beiträge vom 50. Internationalen Symposium für Keramikforschung, Innsbruck, 25.–29.9.2017*. Nearchos 23, 139–160.

Matthes, W. E. (2019): Engoben, Glasuren und Farben. In: Heege A., *Keramik aus St. Antönien. Die Geschichte der Hafnerei Lütscher und ihrer Produkte (1804–1898)*. Archäologie Graubünden, Sonderheft 7/2. Chur, 431–446.

Meucci, C./Carratoni, L. (2016): Identification of the majolica polychromatic decoration by IRFC methodology. *Journal of Archaeological Science. Reports* 8, 224–234.

Minerophilus Freibergensis (1730): Neues und curieuses Bergwerks-Lexicon, worinnen nicht nur alle und jede beym Bergwerck, Schmeltz-Hütten, Brenn-Hause, S(t)aiger-Hütten, Blau-Farben-Mühlen, Hammerwercken etc. vorkommende Benennungen, sondern auch derer Materien, Gefässse, Instrumenten und Arbeits-Arten Beschreibung enthalten. Chemnitz.

Molera, J./Pradell T./Salvado, N./Vendrell-Saz, M. (2001): Interactions between clay bodies and lead glazes. *Journal of the American Ceramic Society* 84/5, 120–128.

Molera, J./Coll, J./Labrador, A./Pradell, T. (2013): Manganese brown decorations in 10th to 18th century Spanish tin glazed ceramics. *Applied Clay Science* 82, 86–90.

Mühlethaler, B./Thissen, J. (1969): Smalt. *Studies in Conservation* 14, 47–61.

Mumenthaler, Th. (1979): Zusammensetzung und Verwertbarkeit von schweizerischen Kiesschlamm im hydrothermalen Härtungsprozess. *Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie* 58. Schweizerische Geotechnische Kommission, Bern.

Mumenthaler, Th./Peters, Tj./Iberg, R. (1987): Kiesschlammverwertung, ein Beitrag zur Nutzbarmachung und Bewirtschaftung stark verlehmter Kiesvorkommen. *Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie* 71. Schweizerische Geotechnische Kommission, Bern.

Oberli, A. (1990): Die Wild-Karte des Kantons Zürich 1852–1868. *Cartographica Helvetica* 2, 27–38.

Padeletti, G./Ingo, G. M./Bouquillon, A./Pages-Camagna, S./Aucouturier, M./Roehrs, S./Fermo, P. (2006): First-time observation of Mastro Giorgio masterpieces by means of non-destructive techniques. *Applied Physics A* 83, 475–483.

Pancoucke, Ch.-J./Plomteux, C. (1783a): Fayencerie (Art de la). *Encyclopédie méthodique. Arts et métiers mécaniques, dédiés et présentés à Monsieur Le Noir, conseiller d'Etat, lieutenant général de police, tome deuxième.* Paris/Liège, 506–528.

Pancoucke, Ch.-J./Plomteux, C. (1783b): Fayencerie. Recueil de planches de l'Encyclopédie, par ordre de matières, tome second. Paris/Liège, 506–528.

Pappalardo, G./Costa, E./Marchetta, C./Pappalardo, L./Romano, F.P./Zucchiatti, A./Prati, P./Mando, P.A./Migliori/A. Palombo, L./Vaccari, M.G. (2004): Non-destructive characterization of Della Robbia sculptures at the Bargello Museum in Florence by the combined use of PIXE and XRF portable systems. *Journal of Cultural Heritage* 5, 183–188.

Pérez-Arantegui, J./Resano, M./García-Ruiz, E./Vanhaecke, F./Roldán, C./Ferrero, J./Coll, J. (2008): Characterization of cobalt pigments found in traditional Valencian ceramics by means of laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry and portable X-ray fluorescence spectrometry. *Talanta* 74, 1271–1280.

Platz, Rh. (1867): Beiträge zur Statistik der inneren Verwaltung des Grossherzogtums Baden. 25. Heft. Geologische Beschreibung der Umgebungen von Lahr und Offenburg (Sectionen Lahr und Offenburg der topographischen Karte des Grossherzogtums Baden). Müller'sche Hofbuchhandlung, Carlsruhe.

Porter, Y. (1997): Origines et diffusion du cobalt utilisé en céramique à l'époque médiévale. Étude préliminaire. In: *La céramique médiévale en Méditerranée. Actes du 6^e congrès, Aix-en-Provence, 13–18 novembre 1995*, 505–512.

Pradell, T./Molina, G./Molera, J./Pla, J./Labrador, A. (2013): The use of micro-XRD for the study of glaze colour decorations. *Applied Physics A* 111, 121–127.

Rhodes, D. (1973): Clay and glazes for the potter. 2nd, revised edition. Radnor (Pennsylvania).

Roldán, C./Coll, J./Ferrero, J. (2006): EDXRF analysis of blue pigments used in Valencian ceramics from the 14th century to modern times. *Journal of Cultural Heritage* 7, 134–138.

Rosen, J. (1995): La faïence en France du XIV^e au XIX^e siècle. *Histoire et technique.* Paris.

Roth, E. (1999): Ein bernischer Fayence-Kachelofen aus dem Jahr 1518. *Kunst und Architektur in der Schweiz* 50/2, 22–32.

Roth Heege, E. (2001): Bernische Kachelöfen im späten Mittelalter. *Keramos* 171, 73–100.

Roth Heege, E. (2007): Konfession und keramische Bilderwelt, oder: Spiegeln sich in der Ofenkeramik des 16. Jahrhunderts im schweizerischen Mittelland Einflüsse der Reformation und der Gegenreformation? In: Jäggi, C./Staecker, J. (Hrsg.), *Archäologie der Reformation. Studien zu den Auswirkungen des Konfessionswechsels auf die materielle Kultur.* Berlin/New York, 369–397.

Roth Heege, E. (2009): Zwischen Tradition und Innovation. Kachelöfen der Schweiz, 15.–17. Jahrhundert. In: Scholkmann, B./Frommer, S./Vossier, C./Wolf, M. (Hrsg.), *Zwischen Tradition und Wandel. Archäologie des 15. und 16. Jahrhunderts.* Tübinger Forschungen zur historischen Archäologie. Tübingen, 291–303.

Roth Heege, E. (2011): Die archäologischen Untersuchungen. In: Roth Heege, E./Thierrin-Michael, G., *Frühneuzeitliche Hafnerei in Zug (Schweiz). Archäologische und archäometrische Untersuchungen. Beiträge zur Mittelalterarchäologie in Österreich* 27, 53–59.

Roth Heege, E. (2012): Ofenkeramik und Kachelöfen. Typologie, Terminologie und Rekonstruktion. *Schweizer Beiträge zur Kulturgeschichte und Archäologie des Mittelalters* 39. Schweizerischer Burgenverein, Basel.

Roth Heege, E./Thierrin-Michael, G. (2016): Archäometrische Untersuchung. In: Roth Heege, E./Thierrin-Michael, G., *Oberaltstadt 3/4. Eine Töpferei des 16. Jahrhunderts und die Geschichte der Häuser.* Archäologie der Stadt Zug 2. Zug, 13–153.

Scheidiger, H. (1998): REM Untersuchungen. Schlussbericht. Unpubliziertes Manuskript, Kantonsarchäologie Bern.

Schnyder, R. (1989): Winterthurer Keramik. Ausstellung im Museum Lindengut, Winterthur, 28. Oktober 1989–15. Juli 1990. Winterthur.

Schnyder, R. (2011): Mittelalterliche Ofenkeramik aus Zürich. Band I: Das Zürcher Hafnerhandwerk im 14. und 15. Jahrhundert. Zürich.

Sigg, J./Maggetti, M./Galetti, G. (1986): Contribution à l'étude des terres argileuses de la région de Payerne. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 78/2, 159–193.

Stäheli, C. (2002): Kacheln, Model und Modelle: ofenkeramische Abfälle des 15./16. Jahrhunderts aus Diessenhofen/TG. *Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte* 59, 333–356.

Staehelin, W. A. (1970): Keramische Forschungen aus bernischen

Archiven: Die Öfen der Manufaktur Frisching. Mitteilungsblatt der Keramik-Freunde der Schweiz 81, 3–35.

Stege, H. (2004): Out of the Blue? Considerations on the early use of smalt as blue pigment in European easel painting. *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung* 18/1, 121–142.

Tauber, J. (1980): Herd und Ofen im Mittelalter. Untersuchungen zur Kulturgeschichte am archäologischen Material vornehmlich der Nordwestschweiz (9. bis 14. Jahrhundert). *Schweizer Beiträge zur Kulturgeschichte und Archäologie des Mittelalters* 7. Olten/Freiburg i. Br.

Taylor, J. R. (1977): The origin and use of cobalt compounds as blue pigments. *Science and archaeology* 19, 3–15.

Thierrin-Michael, G. (2011): Die archäometrische Untersuchung. In: Roth Heege, E./Thierrin-Michael, G., Frühneuzeitliche Hafnerei in Zug (Schweiz). Archäologische und archäometrische Untersuchungen. Beiträge zur Mittelalterarchäologie in Österreich 27, 59–64.

Thierrin-Michael, G. (2015): Reibschüssel- und Gebrauchsgeramik-Produktion in Oberwinterthur und Umgebung in römischer Zeit: ein Überblick über die naturwissenschaftlichen Untersuchungen 1999–2011. In: Jauch, V., Vitudurum 10, Vicustöpfer. Keramikproduktion im römischen Winterthur. Monographien der Kantonsarchäologie Zürich 45. Zürich, 154–170.

Thierrin-Michael, G. (2015): Archäometrische Untersuchung ausgewählter Grosswarenarten. In: Frey, J. (Hrsg.), Court, Pâturage de l'Envers. Une verrerie forestière jurassienne du début du 18e siècle, Band 3: Die Kühl- und Haushaltskeramik. Bern, 299–326.

Thierrin-Michael, G./Zanco, A./Galetti, G. (2002): Gallo-Roman Pottery from Kilns in Oberwinterthur (Switzerland): Two Reference Groups. In: Kilikoglou, V./Hein, A./Maniatis Y. (eds.), Modern Trends in Scientific Studies on Ancient Ceramics. BAR International Series 1001. Oxford, 299–304.

Tite, M. S. (2009): The production technology of Italian maiolica: A reassessment. *Journal of Archaeological Science* 36, 2065–2080.

Viti, C./Borgia, I./Brunetti, B./Sgamellotti, A./Mellini, M. (2003): Microtexture and microchemistry of glaze and pigments in Italian Renaissance pottery from Gubbio and Deruta. *Journal of Cultural Heritage* 4, 199–210.

Wedepohl, K. H. (2003): Glas in Antike und Mittelalter. Geschichte eines Werkstoffs. Stuttgart.

Whitebread, I. K. (1986): The characterisation of argillaceous inclusions in ceramic thin sections. *Archaeometry* 28/1, 79–88.

Wild, J. (1852–1865): Karte des Kantons Zürich im Massstab von 1:25000 nach den in den Jahren 1843 bis 1851 gemachten Aufnahmen von 1852 bis 1865 auf Stein graviert im topographischen Bureau in Zürich. Zürich.

Wild, K. (1988): Vom Bauernbub zum Professor. Johannes Wild (1814–1894). Richterswil.

Wildberger, A./Frey, R./Frank, S./Freimoser, M. (2011): Blatt 1072 Winterthur. Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Erläuterungen, 140. Bundesamt für Landestopografie – swisstopo, Bern.

Wyss, R. L. (1973): Winterthurer Keramik. Schweizer Heimatbücher 169–172. Haupt, Bern.

Zschokke, B. (1907): Technologische Untersuchung der schweiz.

Tone ausgeführt in der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt am Schweiz. Polytechnikum. Beiträge zur Geologie der Schweiz. Geotechnische Serie, IV. Technologischer Teil. Geologische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Bern.

Zucchiatti, A./Bouquillon, A./Katona, I./D'Alessandro, A. (2006): The «Della Robbia Blue»: A case study for the use of cobalt pigments in ceramics during the Italian Renaissance. *Archaeometry* 48/1, 131–152.

ANHANG – TABELLEN

Datierung	Fundort/Standort	Hafner-Werkstatt	Ofen	Anzahl Analysen	Chemische Zusammensetzung		Literatur
					Ca-arm	Ca-reich	
11.-12. Jh.	Ödenburg bei Wenslingen (BL)			12	12		a,b
13.-14. Jh.	Alt-Schauenburg bei Frenkendorf (BL)			29	29		a,b
	Burg Bischofstein bei Sissach (BL)			10	10		a,b
	Froburg bei Trimbach (SO)			10	10		a,b
	Burg Scheidegg bei Gelterkinden (BL)			39	39		a,b
15. Jh.							
16. Jh. (Letztes Viertel)	Zug	Oberaltstadt 3		31	31		c, d
17. Jh.							
18. Jh.							
c. 1740	C. F. Meyerhaus, Kilchberg	Steckborn		2		2	e
c. 1750	Porrentruy (Gd. Fin.)	Cornol?		3		3	f
c. 1750-1800	Freiburg Stadt	Freiburg (Sauvage)	1.2	3	1	2	g
1747-1755	Freiburg Stadt	Freiburg	3	2		2	h
1770-1775	Freiburg Stadt	Freiburg (A. Nuoffer)	4	2		2	i
1776	Freiburg Stadt	Freiburg (J. R. Stern)	5	2		2	i
1770-1790	Freiburg Stadt	Freiburg	6	3		3	h
1770-1790	Freiburg Stadt	Freiburg	7	3		3	h
1780-1785	Freiburg Stadt	Freiburg (J. B. Nuoffer)	8	2		2	k
1780-1810	Freiburg Stadt	Freiburg (J. B. Nuoffer)	9	1		1	i

a: Janke (1989); b: Janke et al. (1991); c: Thierrin-Michael (2011); d: Roth-Heege & Thierrin-Michael (2016); e: Maggetti (2016); f: Thierrin-Michael (2003); g: Blanc (2007a, b); h: Maggetti et al. (2015b); i: Maggetti et al. (2014); k: Maggetti & Serneels (2016)

Tab. 1: Zusammenfassende Darstellung der bisherigen archäometrischen quantitativen Analysen schweizerischer Ofenkacheln. Gelb unterlegt die Jahrhunderte ohne derartige Analysen.

Proben-Nr.	Objektbeschreibung	Grösste Länge (cm)	Probengewicht gemahlen (g)
Ofe 14	Zargenfragment einer grün glasierten reliefierten Blattkachel bzw. Füllkachel.	6.1	6.0
Ofe 15	Stopflehm.	9.9	7.2
Ofe 20	Randfragment einer grün glasierten, reliefierten Blattkachel bzw. Füllkachel.	14.3	9.0
Ofe 21	In den Ingglasur-Farben Blau, Braun und Gelb polychrom bemaltes Fragment eines horizontalen Fayence-Stabes zwischen den grün glasierten, reliefierten Blattkacheln.	4.9	7.4
Ofe 22	In den Ingglasur-Farben Blau, Gelb, Türkis und Schwarz polychrom bemaltes Fragment einer Fayence-Fussgesimskachel.	8.2	11.9
Ofe 23	In den Ingglasur-Farben Blau, Gelb, Türkis und Schwarz polychrom bemaltes Fragment einer Fayence-Fussgesimskachel.	12.9	24.0
Ofe 24	In den Ingglasur-Farben Blau, Gelb, Schwarz und Violett polychrom bemaltes Fragment einer Fayence-Turmsockel-Gesimskachel. Historische Reparatur.	16.0	22.4
Ofe 25	In den Ingglasur-Farben Blau, Gelb, Schwarz und Violett polychrom bemaltes Fragment einer Fayence-Fussgesimskachel.	10.6	8.5
Ofe 26	In den Ingglasur-Farben Blau, Gelb und Schwarz bemaltes Fragment einer Fayence-Kranzgesimskachel. Hellgelbes Tulpenmotiv.	17.6	21.0
Ofe 27	In den Ingglasur-Farben Blau, Braun, Gelb, Olivgrün, Mauve (Leberfarb) und Schwarz bemaltes Fragment einer reliefierten Fayence-Kranzkachel mit Puttenkopf.	16.2	8.7

Tab. 2: Probenliste.

Oxyd, Element	Proben-Nr.									
	Ofe 14	Ofe 15	Ofe 20	Ofe 21	Ofe 22	Ofe 23	Ofe 24	Ofe 25	Ofe 26	Ofe 27
SiO ₂	61.21	53.19	65.02	63.46	62.33	62.25	59.92	62.10	62.55	62.16
TiO ₂	0.61	0.47	0.65	0.64	0.62	0.62	0.64	0.62	0.62	0.63
Al ₂ O ₃	11.21	8.13	11.16	11.26	11.19	11.12	11.26	11.17	11.18	11.55
Fe ₂ O ₃	4.25	3.25	4.17	4.32	4.21	4.21	4.46	4.18	4.21	4.41
MnO	0.11	0.09	0.12	0.12	0.11	0.11	0.13	0.11	0.11	0.11
MgO	4.62	5.38	3.94	4.21	4.81	4.68	4.84	4.73	4.44	4.67
CaO	15.22	27.59	12.21	13.18	14.64	14.40	15.03	14.47	14.50	14.00
Na ₂ O	0.59	0.74	0.77	0.89	0.67	0.68	0.61	0.68	0.71	0.62
K ₂ O	1.97	1.50	2.02	1.95	1.91	1.97	2.01	1.96	1.98	2.05
P ₂ O ₅	0.10	0.16	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10
<hr/>										
Ba	224	220	234	239	233	218	245	231	239	218
Cr	102	69	120	115	104	112	117	99	109	112
Cu	19	17	32	27	23	25	16	28	24	21
Nb	11	11	12	13	14	11	12	13	13	13
Ni	67	42	67	68	63	71	72	66	65	68
Pb	163	15	121	60	69	76	82	94	127	75
Rb	99	65	90	98	98	98	90	97	97	102
Sr	251	524	203	222	233	230	227	239	229	222
V	77	52	90	86	82	90	77	86	88	90
Y	27	26	23	25	25	27	26	26	26	25
Zn	73	55	62	65	65	64	65	66	66	68
Zr	171	174	174	176	178	175	157	178	173	169
<hr/>										
SUMME	100.03	100.63	100.27	100.24	100.73	100.25	99.11	100.23	100.54	100.41
GV	5.92	22.86	8.61	6.4	5.9	5.79	5.61	6.05	5.38	5.15

Tab. 3: Resultate der Röntgenfluoreszenzanalyse der zehn Proben. Oxyde, Summe und GV (Glühverlust) in Gew. %, Elemente in ppm. Die Summe schliesst die Oxyde und die Elemente, aber nicht den GV ein.

Typ, Analysen- Nr.	Analysierte Fläche/ Punkt	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cl	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	PbO
Scherbenkörper															
Ofe 20a-10	2.0x1.6 mm		2.8	11.2	66.0				2.0	13.1	0.6		4.3		
Ofe 21-3	2-0x1.8 mm		2.8	10.6	64.6				2.1	14.5	0.6		4.8		
Ofe 21-8	2-0x1.8 mm	0.7	4.2	10.4	64.9				2.0	12.8	0.5		4.1		0.4
Ofe 22-7	0.8x0.7 mm		2.7	10.7	62.5				2.3	16.0	0.6		5.2		
Ofe 23-17	2.0x1.8 mm	0.8	4.4	11.8	62.7				1.8	13.8	0.5		4.2		
Ofe 24a-5	2.0x1.8 mm		4.2	9.4	53.8				1.5	24.3	0.4		5.2		1.2
Ofe 25-13	2.0x1.8 mm	0.9	4.8	12.1	59.9				2.2	14.6	0.5		4.7		0.3
Ofe 27-13	1.2x1.0 mm		2.9	11.1	62.8				2.2	15.4	0.6		5.0		
<i>Mittel</i>		0.3	3.6	10.9	62.2				2.0	15.6	0.5	0.0	4.7		0.2
Tongalle im Scherbenkörper															
Ofe 24a-10	40x50 µm	0.5		20.3	61.5	0.4			13.5	2.3			0.9		0.6
Ofe 24a-11	50x50 µm	1.8	0.7	12.6	66.5				5.9	1.0	0.8	2.5	7.7		0.5
Ofe 24b-3	150x150 µm	1.1	1.2	13.3	60.5				8.8	1.1	1.3		11.5		1.2
Ofe 24b-4	200x300 µm	0.2	2.0	14.4	59.0				7.0	3.3	0.7	0.5	12.1		0.8
Ofe 24c-5	100x250 µm	0.4	1.3	12.7	67.1				7.7	1.3	0.9	0.8	7.8		
Beige Engobe															
Ofe 21	0.25x0.19 mm	0.6	7.1	21.8	41.0				0.9	21.0	0.6		6.0	1.0	
Ofe 22	0.6x0.5 mm	0.8	7.8	15.6	47.7			0.5	1.3	20.3	0.6		4.9	0.5	
Ofe 23-1	0.6x0.5 mm	0.7	8.9	16.6	43.8		0.2	0.5	0.7	23.9	0.4		4.0	0.3	
Ofe 23-2	0.6x0.5 mm	0.8	9.1	16.4	43.2		0.3	0.6	0.7	24.1	0.5		4.3		
Ofe 24c-1	1.2x0.7 mm	1.9	9.0	10.9	46.6		0.3	0.5	1.0	25.6	0.5		3.7		
Ofe 24c-2	1.2x0.7 mm	2.3	9.2	10.8	45.4		0.8	1.1	0.7	25.8			3.9		
Ofe 25	0.6x0.5 mm	1.0	8.7	12.2	45.8		0.9	0.3	0.5	25.9	0.6		4.1		
Ofe 26	0.6x0.5 mm	1.1	8.0	12.1	47.2		0.8	0.3	0.6	25.1	0.6		4.2		
Ofe 27b	0.6x0.5 mm	0.4	6.5	27.5	37.4		0.8		1.2	19.7			5.3	1.2	
<i>Mittel (ohne Ofe 27b)</i>		1.2	8.5	14.6	45.1		0.4	0.5	0.8	24.0	0.5		4.4	0.2	
Wi 53 (Dättnau 4m)		0.41	8.95	9.21	51.05		0.10		1.79	23.50	0.47		3.58		
Dolomitkörner in der beigen Engobe															
Ofe 27b-35	8x8 µm	0.1	16.7	39.7	28.1				7.9				7.5		
Ofe 27b-36	8x8 µm	0.2	18.2	30.0	29.4			1.2	0.3	13.8	0.3		5.1	1.5	
Ofe 27b-37	8x8 µm		19.0	37.1	26.3			1.6		7.0			7.1	1.9	
Weisse Engobe															
Ofe 20a-7	80x70 µm		1.7	19.1	71.7	0.2			2.9	1.6	1.1		1.7		
Ofe 20a-8	100x80 µm		1.4	15.7	75.2	0.1			2.6	2.4	1.0		1.6		
Ofe 20a-9	120x100 µm		1.1	12.3	81.1	0.1			1.9	1.7	0.6		1.2		
Reliktische Phyllosilikate in der weissen Engobe															
Ofe 20a-1	Punkt		2.2	27.9	59.5	0.5			3.7	1.4	1.8		3.0		
Ofe 20a-2	Punkt		2.1	25.5	64.3	0.5			3.3	1.7	0.4		2.2		
Ofe 20a-3	Punkt		2.4	31.9	56.6	0.3			3.9	1.4	0.6		2.9		
Ofe 20a-4	Punkt		2.0	26.0	63.7	0.1			3.9	1.5	0.6		2.2		
Ofe 20a-5	Punkt		1.9	24.0	67.8	0.1			3.1	1.0	0.4		1.7		
Ofe 20a-6	Punkt		2.1	26.6	61.6	0.1			3.9	1.8	1.7		2.2		

Tab.4: Chemische Analysen der Scherbenkörper, der Tongallen, der weissen Engobe und der phyllosilikatischen Kristalle mittels REM-EDS. Normalisiert auf ein Total von 100 Gew. %. Wi 53 laut Béarat (1992), XRF-Analyse.

Glasur, Analysen- Nr.	Analysierte Fläche, Punkt	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cl	K ₂ O	SnO ₂	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	PbO
Transparente, grüne Glasur													
<i>Ohne Quarzeinschlüsse</i>													
Ofe 20a-11	150x60 µm			1.4	28.6				2.0		0.6	3.8	63.6
Ofe 20a-13	150x60 µm			1.4	29.0				1.7		0.5	3.9	63.5
Ofe 20b-1	220x200 µm				27.4				2.0		0.5	3.8	66.3
Ofe 20b-2	220x200 µm				27.5				2.0		0.4	3.9	66.2
Ofe 20b-3	220x200 µm				27.4				1.8		0.4	3.8	66.6
<i>Mittel</i>				0.6	28.0				1.9		0.5	3.8	65.2
<i>Mit Quarzeinschlüssen</i>													
Ofe 20a-12	150x60 µm			1.2	39.1		0.1		1.6		0.4	3.2	54.4
Opake, weisse Zinnglasur													
<i>Gesamt</i>													
Ofe 21-7	220x220 µm	2.1		1.0	50.5	0.7	0.5	13.7	1.4		0.3		29.8
Ofe 23-1	800x200 µm	2.4	0.6	1.7	49.0	0.7	1.7	14.3	1.6		0.3		27.7
Ofe 24-3	2100x80 µm	1.7		0.9	47.8	0.6	1.0	15.8	1.2		0.3		30.7
Ofe 25-11	900x200 µm	2.5	0.6	1.4	49.3	0.5	0.8	13.6	1.9		0.2		29.2
Ofe 27a-1	250x210 µm	2.0		1.1	48.6	0.6	1.3	12.6	1.7		0.4		31.7
<i>Mittel</i>		2.1	0.2	1.2	49.0	0.6	1.1	14.0	1.6		0.3		29.8
<i>Glasmatrix</i>													
Ofe 27c-10	Punkt	1.1		1.8	53.0	1.0	3.1	2.6	2.0		0.3		35.1
Ofe 27c-11	Punkt	1.4		1.3	51.4	1.0	3.0	4.6	2.0		0.5		34.8
Ofe 27c-12	Punkt	1.5		1.4	51.3	0.9	3.0	6.2	2.0		0.4		33.3
<i>Mittel</i>		1.3		1.5	51.9	1.0	3.0	4.5	2.0		0.4		34.4
<i>Glasrelikte</i>													
Ofe 23-5	30x50 µm	2.9	1.2	3.6	51.3	0.2	3.2		13.1	1.0	0.3		23.2
Ofe 25-10	50x30 µm	2.8	2.0	2.0	49.2	0.6	1.3	1.6	12.1		0.4		28.0
Ofe 27a-2	Punkt	1.7	2.5	0.8	47.0	0.9	2.1	2.4	6.4		0.5		35.7
Ofe 27c-5	Punkt	0.9		1.7	50.0	0.9	2.6		14.7		0.3		28.9
Ofe 27c-6	Punkt	1.6		1.1	48.9	0.4	2.6		18.0		0.3		27.1

Tab. 5: Chemische Zusammensetzung der Glasuren mittels REM-EDS. Normalisiert auf ein Total von 100 Gew. %.

Farbe, Analysen- Nr.	Analysierte Fläche, Punkt	Na ₂ O	MgO	As ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cl	K ₂ O	SnO ₂	Sb ₂ O ₅	CaO	BaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	PbO
Blau																			
<i>Gesamt (Blau 1)</i>																			
Ofe 21-1	50x35 μm	1.8		0.5	1.3	58.5	0.5	1.6	1.6		0.9				1.3	1.8	0.4		29.8
Ofe 22-2	50x20 μm	3.0		1.2	2.2	52.6	0.2	2.2	1.9		1.4				1.3	0.4	0.2		33.4
Ofe 23-2	120x20 μm	2.9	0.9		2.5	54.8	0.3	3.3	2.1		1.4				1.3	0.3	0.1		30.1
Ofe 23-4	20x5 μm	2.5		1.2	2.1	60.5	0.1	2.7	1.9		1.1				1.2	0.4	0.2	0.3	25.8
Ofe 24a-6	2.0x1.8mm	1.7		1.3	1.4	55.5	0.4	2.2	4.2		1.1				1.4	1.5	0.4		28.9
Ofe 27c-2	150x40 μm	1.3		1.7		58.5	0.7	3.2	1.5		0.8				1.8	1.0	0.4		29.1
Ofe 27c-7	100x30 μm	1.1		0.5	1.7	60.0	0.6	3.1	1.5		0.7				1.9	1.0	0.5		27.4
Ofe 27c-9	80x30 μm	1.6		1.0	2.2	55.8	0.5	3.5	1.7		1.5				1.3	0.4	0.2		30.3
<i>Mittel</i>		2.0	0.1	0.9	1.7	57.0	0.4	2.7	2.1		1.1				1.4	0.9	0.3		29.4
<i>Gesamt (Blau 2)</i>																			
Ofe 21-2	15x5 μm	2.8		0.2	1.2	49.0	0.2	2.3	1.0		1.2				2.3	1.3	0.6		37.9
Ofe 22-1	50x20 μm	3.2		1.1	2.2	50.7	0.3	2.2	1.8		1.4				1.4	0.3	0.2		35.2
Ofe 23-3	20x5 μm	2.9	0.2	1.0	2.3	53.2	0.2	3.5	1.7		1.7				1.5	0.8	0.4	0.4	30.2
<i>Mittel</i>		3.0	0.1	0.8	1.9	51.0	0.2	2.7	1.5		1.4				1.7	0.8	0.4	0.1	34.4
<i>Glasmatrix (Blau 1)</i>																			
Ofe 24a-8	5x10 μm	2.1		1.2	1.5	51.2	0.4	3.5			1.5				2.0	2.3	0.5		33.8
Ofe 27c-3	20x5 μm	1.9		0.3	1.7	51.1	0.6	4.3			0.6				2.1	1.8	0.8		34.8
Ofe 27c-4	Punkt	0.8		0.7	1.8	52.0	0.5	3.3			0.8				2.1	1.6	0.7		35.7
Ofe 27c-8	Punkt	1.7		0.9	2.2	56.4	0.5	3.1	1.7		1.6				1.5	0.6	0.3		29.5
<i>Helle Nadeln</i>																			
Ofe 24a-7	Punkt	0.6		18.8		7.8	2.0	0.3	0.2		10.4				0.5	0.6	0.5		58.3
Ofe 27c-1	Punkt	0.5		13.7		18.3	2.0	0.7			4.5				0.5	0.2			59.6
Braun																			
<i>Gesamt (Braun 1)</i>																			
Ofe 21d-1	10x10 μm	2.9	0.6		1.5	31.4	0.1	1.1	3.1		2.1				34.5				22.7
<i>Gesamt (Braun 2)</i>																			
Ofe 21-85	10x5 μm	3.8	0.5		1.1	43.3		2.0	2.0		2.1				5.3	0.6			39.3
Ofe 21-86	20x10 μm	4.5	0.3		0.7	37.1		1.7	15.3		1.4				4.3	0.5			34.2
<i>Kristall im Braun 1</i>																			
Ofe 21d-4	Punkt	0.1	0.1		0.6	3.6	0.1	0.1	0.9		0.7				93.3				0.5
Gelb																			
<i>Gesamt (Gelb 1)</i>																			
Ofe 24c-3	120x40 μm	1.8				1.2	32.1		0.9	4.3	10.1	2.7			0.2	1.1			45.6
Ofe 24c-4	50x50 μm	1.4				1.3	27.8		0.8	6.1	13.7	3.1				1.3			44.5
Ofe 26-5	70x70 μm	1.9				1.7	40.8	0.7	2.0	6.9	4.0	5.8				1.0			35.2
Ofe 27a-4	250x30 μm	1.5	0.2			1.8	37.7	0.2	2.2	10.0	6.3	3.9			0.6	1.0			34.6
Ofe 27d-17	120x40 μm	1.7				1.2	32.9	0.5	1.4	9.1	9.5	4.0				1.2			38.5
Ofe 27d-18	120x30 μm	1.9				1.3	33.8	0.5	1.3	7.3	9.5	3.9				1.2			39.3
<i>Mittel</i>		1.7				1.4	34.2	0.3	1.4	7.3	8.9	3.9			0.1	1.1			39.6

Tab. 6: Chemische Zusammensetzung der Inglesurfarben mittels REM-EDS. Normalisiert auf ein Total von 100 Gew. %.

Farbe, Analysen-Nr.	Analysierte Fläche, Punkt	Na ₂ O	MgO	As ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cl	K ₂ O	SnO ₂	Sb ₂ O ₅	CaO	BaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	PbO
<i>Gesamt (Gelb 2)</i>																			
Ofe 21b-6	20x20 μm	1.9				26.4	0.2	0.4		15.8	7.0				2.2				46.1
Ofe 21b-8	60x20 μm	1.6	0.9		2.1	28.8		0.5		13.2	11.0			0.3	2.8				38.8
<i>Gelbe PbSb-Kristalle (Gelb 1)</i>																			
Ofe 26-1	Punkt	1.1			2.5	7.7		1.0		35.1	5.2		0.5		0.6				46.3
Ofe 26-2	Punkt	3.5			3.4	8.0		0.3		29.1	2.3				1.2				52.2
Ofe 27a-3	Punkt	3.1	2.6		3.4	8.3	1.6	0.3		32.5	6.6		0.7	0.7	0.3				39.9
Ofe 27b-1	Punkt	3.0	2.2		3.3	3.8	1.0			27.4	2.0		0.3	0.1	0.2			1.9	54.8
Ofe 27d-1	Punkt	1.6			1.6	2.0				39.3					0.3				55.2
Ofe 27d-2	Punkt	1.8			2.9	4.5				47.5					0.6				42.7
Ofe 27d-5	Punkt	0.5			1.7	4.3				30.8	2.1				0.9				59.7
<i>Mittel</i>		2.1	0.7		2.7	5.5	0.4	0.2		34.5	2.6		0.2	0.1	0.6			0.3	50.1
<i>rote PbSb-Kristalle</i>																			
Ofe 21b-4	Punkt		2.8		3.9	5.5				34.7			0.6		4.0				48.5
Ofe 21b-9	Punkt				3.6					27.5	1.9		0.2	4.7					62.1
Ofe 24c-1	Punkt				1.1	0.9				38.6	2.1		0.5	2.0					54.8
Ofe 27d-3	Punkt	3.0			3.4	6.0				30.5					2.6				54.5
Ofe 27d-9	Punkt	2.6			3.3	4.7				26.5	1.7				5.0				56.2
Ofe 27d-14	Punkt	2.8			3.3	5.3				28.9					2.3				57.4
Ofe 27d-15	Punkt	0.7			1.7	6.8				28.6					3.2				59.0
<i>Mittel</i>		1.3	0.4		2.9	4.2				30.8	0.8		0.1	0.1	3.4				56.1
<i>Gelbe PbSbSn-Kristalle (Gelb 2)</i>																			
Ofe 21b-2	Punkt	1.1	0.3		1.6	11.0			7.7	23.7	4.4				1.3				49.0
<i>Glasmatrix (Gelb 1)</i>																			
Ofe 24c-2	Punkt	1.6			2.6	47.3	0.2	2.2	1.4	0.8	0.9			0.2	1.1				41.7
Ofe 26-3	12x12 μm	2.0			2.3	53.2		2.9	2.9		2.2				1.0				33.5
Ofe 26-4	12x12 μm	1.8			2.0	51.1	0.4	3.1	3.4		2.4				1.0				34.8
Ofe 27d-4	Punkt	1.6			2.5	40.3		1.8	2.4	5.5	2.1				1.6				42.2
Ofe 27d-8	8x4 μm	2.5			1.7	42.9		2.4	4.5		2.6				2.9				40.5
Ofe 27d-10	Punkt	1.5			1.7	47.2		2.2	3.6		1.6				1.4				40.8
Ofe 27d-11	Punkt	1.3			1.5	43.6		1.8	1.3	4.6	3.0				1.2				41.7
Ofe 27d-13	Punkt	1.3			1.7	46.0		2.0	2.3		2.1				1.9				42.7
Ofe 27d-16	Punkt	1.2			1.4	47.3		2.0	1.3		1.8				3.8				41.2
<i>Cassiteritreiches Glaskorn</i>																			
Ofe 27d-6	8x3 μm	1.6			1.8	31.2		1.0	28.0		3.4				1.0				32.0
Ofe 27d-7	8x3 μm	1.6			1.4	28.9		0.6	37.3		2.5				0.6				27.1

Olivgrün																			
<i>Gesamt</i>																			
Ofe27b-3	300x30 μm	2.4			1.1	37.7		1.8	9.4	3.9	2.2		-		0.6		2.1	38.8	
Ofe 27b-14	250x30 μm	1.6			1.0	45.9	0.8	2.5	3.4		1.8			0.7		2.4	39.9		
<i>Gelber Kristall</i>																			
Ofe 27b-1	Punkt	3.0	2.2		3.3	3.8	1.0			27.4	2.0		0.3	0.1	0.2			1.9	54.8
<i>Glasmatrix</i>																			
Ofe 27b-2	Punkt	1.5			1.9	47.0	0.7	2.2	2.8		1.6			0.5		2.2	39.6		
Ofe 27b-9	Punkt	1.9			1.0	44.5	0.5	2.6	2.2		1.9			1.0		2.6	41.8		
Ofe 27b-10	Punkt	2.0			1.1	45.6	0.4	2.7	2.8		1.8			0.6		2.4	40.6		
Ofe 27b-11	Punkt	1.7			1.0	48.0	0.2	2.9	2.5		1.7			1.2		2.3	38.5		
Ofe 27b-12	Punkt	1.6			1.0	45.9	0.8	2.5	3.4		1.8			0.7		2.4	39.9		
<i>Grüne Weissglasur an der Grenze zum Scherbenkörper</i>																			
Ofe27b-4	300x30 μm	1.6			0.8	52.6	0.7	1.5	13.5	0.4	1.3			0.3		1.2	26.1		

Tab. 6: Fortsetzung

Farbe, Analysen- Nr.	Analysierte Fläche, Punkt	Na ₂ O	MgO	As ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cl	K ₂ O	SnO ₂	Sb ₂ O ₅	CaO	BaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	CuO	PbO
----------------------------	---------------------------------	-------------------	-----	--------------------------------	--------------------------------	------------------	----	------------------	------------------	--------------------------------	-----	-----	------------------	-----	--------------------------------	-----	-----	-----	-----

Schwarz																			
<i>Gesamt (Schwarz 1a)</i>																			
Ofe 23-6	30x50 μm	3.3	1.0		1.9	47.3	0.5	3.3			2.4			2.0	0.7	0.2	0.2	0.6	36.6
Ofe 23-7	30x50 μm	3.4	0.8		1.9	47.5	0.4	3.4			2.2			2.3	0.6			0.6	36.9
<i>Gesamt (Schwarz 1b)</i>																			
Ofe 24b-2	350x80 μm	2.3		0.5	1.0	42.8	0.4	2.6	3.9		1.4			6.3	1.2	1.0	0.3		36.3
<i>Gesamt (Schwarz 1c)</i>																			
Ofe 24a-1	250x100 μm	2.4			0.8	39.3	0.1	1.1	13.2		1.3			5.4	0.5				35.9
Ofe 24a-2	200x80 μm	2.5				38.6	0.3	1.4	12.6		1.2			5.3	0.4				37.7
<i>Glasmatrix (Schwarz 1c)</i>																			
Ofe 24a-9	Punkt	1.6			0.9	43.1	0.5	1.8	3.0		1.1			5.6	0.4				42.0
<i>Gesamt (Schwarz 2)</i>																			
Ofe 25-1	100x200 μm	2.5	0.6		1.6	32.2		0.6	1.2		2.3	0.3		31.9					26.8
Ofe 25-3	80x80 μm	2.4	0.7		1.7	33.6		0.8	1.4		3.0	0.6		30.9					24.9
Ofe 25-7	400x80 μm	2.5	0.6		2.2	31.7		0.6	1.3		2.1	0.7		32.0					26.3
<i>Glasmatrix (Schwarz 2)</i>																			
Ofe 25-2	10x10 μm	3.9	0.8		3.9	41.1		0.6			1.3	1.1		2.5					44.8
Ofe 25-4	Punkt	2.1	0.6		1.6	44.6		1.0	0.6		1.4	0.7		4.5					42.9
<i>Kristall in Schwarz 2</i>																			
Ofe 25-8	Punkt		0.3		0.6	13.6			1.3		1.6	0.5		80.3					1.8
<i>Weissglasur-Einschluss (ohne sekundäre grosse Quarze) in Schwarz 2</i>																			
Ofe 25-9	10x10 μm	2.2	0.4		0.9	27.2	0.2		33.0		2.6	0.3		3.8					29.4
<i>Cassiterit-reiche Zone der Weissglasur am Kontakt zum Schwarz 2</i>																			
Ofe 25-5	30x20 μm	1.9	0.3		0.7	25.4	0.3		42.1		2.4	0.4		2.3					24.2
Ofe 25-6	100x30 μm	2.1	0.4		0.9	27.8	0.3	0.2	38.0		2.3			2.2					25.8

Türkis																			
<i>Gesamt</i>																			
Ofe 23-16	40x30 μm	3.0	0.4		1.2	43.2	0.3	2.3	10.0		2.4			0.3			2.0	34.9	
<i>Darunter liegende Weissglasur (Gesamt)</i>																			
Ofe 23-12	400x100 μm	2.5	0.5		1.6	51.1	0.5	1.7	13.1		1.7			0.3			1.3	25.7	
Ofe 23-13	400x100 μm	2.3	0.4		1.4	50.6	0.5	1.7	13.7		1.6			0.4			1.3	26.1	

Violett																			
<i>Gesamt</i>																			
Ofe 24a-4	800x50 μm	1.9			0.9	50.6	0.4	1.0	13.6		1.0			0.7	0.3				29.6

Tab. 6: Fortsetzung

Blau Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Titel	Violet Blau	Blau	Blau	Viol Blau	Blau	Blau Nr.6	Blau	Blau	Himmel- blau	Himmel- blau
Masseinheit	Unzen	Pfund	Pfund	Unzen	Pfund	Löffel		Pfund		Löffel
Bley, Glätte		2	13		2	5	2 Pf	13	6/4 Pf	
Weinstein	12	1/4		12	1/4					
Salz	4	1/4	8	4	1/4	4	2 vrl.	8	1/4	
Glas	1	1/4		1	1		1 vrl.			
Kieselstein, Stein, Gstein	3	1	12	3	1	6	1 Pf	12	1 Pf	
Saflorfarb	3	1/4	4	3	1/4	2	1/4	4	1/4	1
Braunstein								2 vrl		
Weiss										1

Braun Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Titel	Braun	Braun	Braun	Bon Braun	Braun	Braun	Chafle Braun
Masseinheit	Unzen	Unzen	Pfund	Unzen	Unzen	Pfund	Unzen
bley, Bley, Blei, Glätte	10	10	12	10	10	12	
Minien							12
Salz	2	2		1	2		1
Weinstein							1
Glas			1			1	2
Kieselstein, Kiesel, Stein	11	7	10	7	11	10	9
Braunstein	1	1	1	1	1	1	1
Flitsch							1

Gelb Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9*
Titel	Gelbe	Schwefel gelb	Gold- grund auf Weis	Gelbes ins Braune	Schwefel gelb	Gelbs darin	Gelbs für inwendig	Gelbs	Hafner gelbs
Masseinheit	Pfund	Löffel	Pfund	Unzen	Löffel	Unzen	Unzen	Unzen	Loth
Blei, Bley, Glätte, Goldglette, Silberglette	3	12	1/4	12	12	12		4	11
Minien							12		
Fluss									2
Salz				1		2			
Weinstein							1		
Glas							1		
Sand, Kiesel, Stein		12		10	12	10	10	6	
Antimonglas, Antimonium	3		1/4	2		2		2	9
Eisenfeilspäne, Hamerschlag	1	5			5				
Flitschen							1		
füle						1		1	
Schlif			1/4						

* datiert 25.3.1738

Tab.7: Ingredienzen der Farbrezepte gemäss Matthes 2018 (Anhang). Grau hinterlegte Rezept-Nr. stammen aus dem ersten Büchlein. Pf = Pfund, vrl = viertel.

Grün Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Titel	Grüne Farb	Mergrün	ein anderes Mergrün	Grüne farb	Meergrün	ein anderes	ein anderes
Masseinheit	<i>Löffel</i>	<i>Pfund</i>	<i>Löffel</i>	<i>Löffel</i>		<i>Pfund</i>	<i>Löffel</i>
Bleiasche, Bley, Glätte	1	5	6	1	8/4 Pf	5	6
Salz		3	4		3 1/2 vrl	3	4
Glas	10			10	2 vrl		
Kiesel, Stein		3	5		5 1/2 vrl	3	5
Hamerschlag			1				1
Kupferasche, Kupferäschen	1	1/8	1	1	1/2 vrl	1/2 vrl	1
Saflorfarb			1				1
Zin, Zinn		1				1	

Tab. 7: Fortsetzung

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Titel	Gutweis (Schmelz)	Gutweis (Schmelz)	Gut Weiss	ein Anderes	ein anderes	ein anderes	Gut Weiss Ein anderes	Ein Anderes	Steiner Weiss	Ein Anderes
Bley, Stock Bley	4	3	4	8	3		5	4	4	7
Bleiaschen						5/4 o. A.				
Zin, Zinn	2	1	2	4	1	3/4 o. A.	1	1	3/4	2
Silberglätte		½			½					
Salz	1 ½	2	1 ½	4	2	4 vrl	3	3	2/4	3 ½
Sand, Kiesel, Stein	3	2	3	8	2	1 pf	3	3		5 ½
Glas	2	¼	2	2			2	¼	6/4	1
Alun					1/4					

Tab. 8: Rohstoffe für die Weissglasurmischungen laut den beiden 1725er Rezeptbüchlein aus Winterthur (Matthes 2018, Anhang). Masseinheit in Pfund (pf) mit Ausnahme des vrl (= Viertel) und o. A. (= ohne Angaben). Silberglätte (Krünitz 1831) = Massicot oder Massicotit, d. h. gelbe, rhombische Modifikation von PbO. Grau hinterlegte Rezept-Nr. stammen aus dem ersten Büchlein. Das Rezept mit dem „Knopf Bley“ wurde wegen des unklaren Begriffs nicht aufgenommen.

Farbe/Glasur	Dicke (Max.) μm	Aspekt (Ursache)	Färbung durch	Gefüge
Blau 1	75	Opak (Pb-As-Ca-, SiO_2 -Kristalle)	Co^{2+} gelöst in der Glasmatrix	Pb-As-Ca- & SiO_2 - Kristalle in einer blauen Glasmatrix
Blau 2	15	Transparent	Co^{2+} gelöst in der Glasmatrix	Einige Fremd-Kristalle (Cassiterit, Quarz) aus der Weissglasur in einer blauen Glasmatrix
Braun 1	20	Opak (Mn-Kristalle, Blasen)	Pyrolusit- und Braunit (?)-Kristalle sowie Mn^{2+} gelöst in der Glasmatrix	Reliktische Pyrolusit- und Neo-Braunit-Kristalle sowie Fremd-Cassiterite in einer braunen Glasmatrix
Braun 2	6	Transparent bis opak (Cassiterite)	Mn^{2+} gelöst in der Glasmatrix	Heterogen verteilte Cassiterite in einer braunen Glasmatrix
Gelb 1	50	Opak (PbSb-Kristalle)	PbSb-Kristalle	Gelbe PbSb-Frittesplitter und Fremd-Cassiterite in einer farblosen Glasmatrix
Gelb 2	45	Opak (PbSb-, PbSbSn-, SiO_2 -Kristalle)	PbSb-, PbSbSn-Kristalle	Gelbe PbSb-Frittesplitter und Quarze in einer farblosen Glasmatrix
Olivgrün	45	Opak (SnO_2 -, PbSb-Kristalle)	PbSb-Kristalle & Cassiterite mit Cu^{2+} gelöst in der Glasmatrix	Gelbe PbSb-Frittesplitter in einer grünen Weissfritte
Schwarz 1	120	Transparent	Mn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} gelöst in der Glasmatrix	Fremd-Cassiterite in einer schwarzen Glasmatrix
Schwarz 2	240	Opak (Braunite, Cassiterite)	Braunit & Mn^{2+} gelöst in der Glasmatrix	Braunit in einer braunvioletten Glasmatrix mit wenig Fremd-Cassiteriten
Türkis	100	Opak (Cassiterite)	Cu^{2+} gelöst in der Glasmatrix	Türkisfarbige Weissfritte (SnO_2 -Weiss in einer grünen Glasmatrix)
Violett	100	Opak (Cassiterite)	Mn^{3+} gelöst in der Glasmatrix	Weissfrittesplitter (SnO_2 -Weiss) in einer violetten Glasmatrix
Weissglasur	Mittel 255	Opak (Cassiterite & Quarze)	Cassiterite	Weissfrittesplitter (SnO_2 -Weiss) mit Quarzzuschlag

Tab. 9: Zusammenfassung der Fayence Ingglasur- und Glasur-Analysen.