Zeitschrift: as. : Archäologie Schweiz : Mitteilungsblatt von Archäologie Schweiz = Archéologie Suisse : bulletin d'Archéologie Suisse = Archeologia Svizzera : bollettino di Archeologia Svizzera

Herausgeber: Archäologie Schweiz

Band: 25 (2002)

Heft: 3

Artikel: Experimente zur Herstellung von Terra Sigillata und anderer römischer Keramik

Autor: Weiss, Johannes

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-19557

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

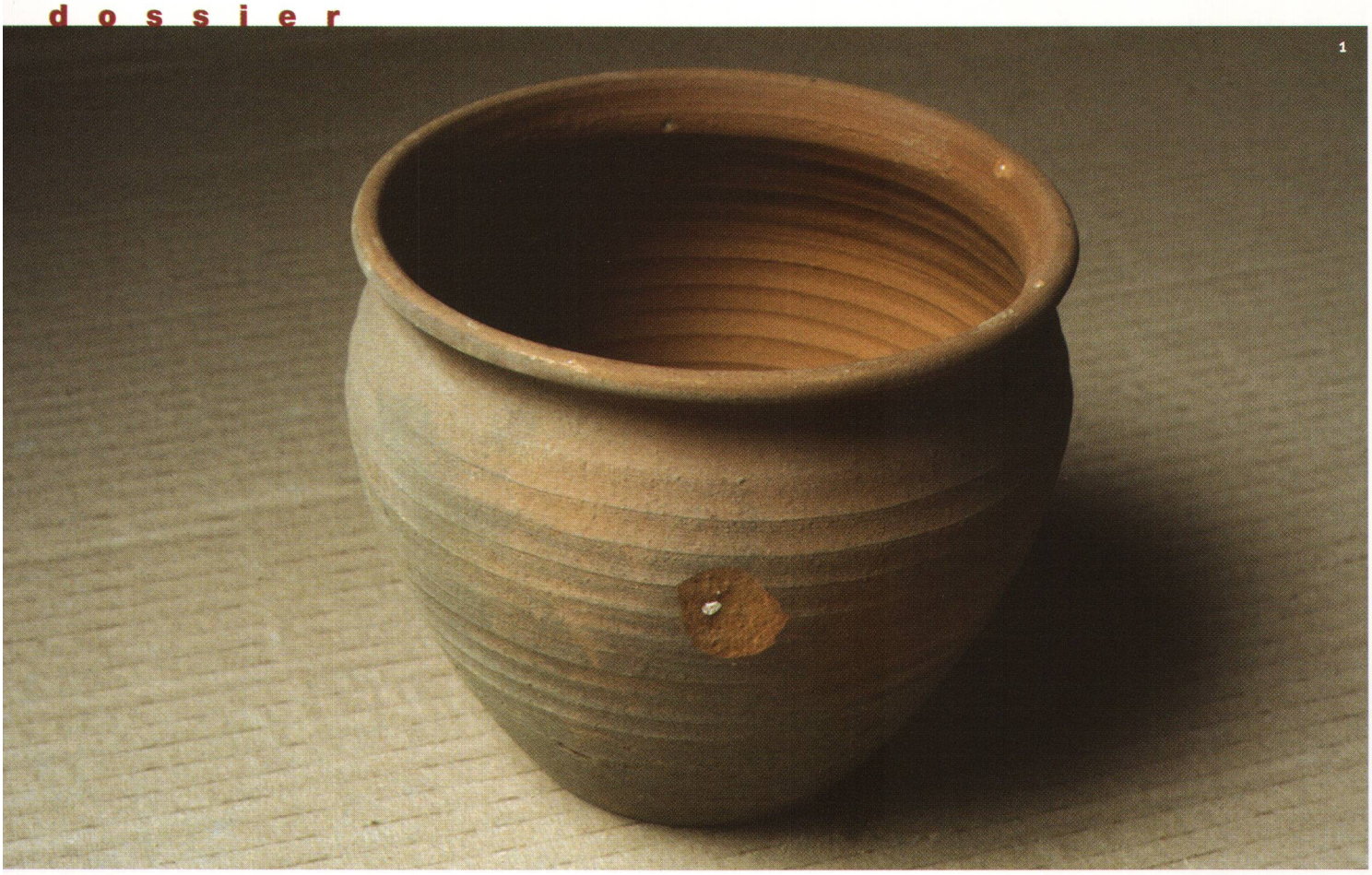
Terms of use

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: 15.07.2025

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

dossier



1

Experimente zur Herstellung von Terra Sigillata und anderer römischer Keramik

Johannes Weiss

Seit 1974 erforscht der Autor die Herstellungsweise römischer Keramik. Durch seine Pionierarbeit, verbunden mit unzähligen praktischen Erfahrungen, hat er manches Geheimnis der römischen Töpfer lüften können. Heute ist er in der Lage, identisch aussehende Repliken römischer Terra Sigillata herzustellen.

Die römerzeitlichen Töpfer in der Region der heutigen Schweiz dürften immer wieder beeindruckt gewesen sein über Importstücke ihrer Berufskollegen aus dem Süden. So zum Beispiel über die grossen scheibengedrehten Amphoren oder die ersten braunroten Terra-Sigillata-Gefässe. Letztere waren hart, glänzend und sogar wasserdicht. Wie mochten wohl die kunstvollen Reliefs auf die kostbaren Stücke gekommen sein? Lokale Kopien des edlen Tafelgeschirres dürften schon damals in den meisten Fällen ohne grosse Mühe als solche zu erkennen gewesen sein.

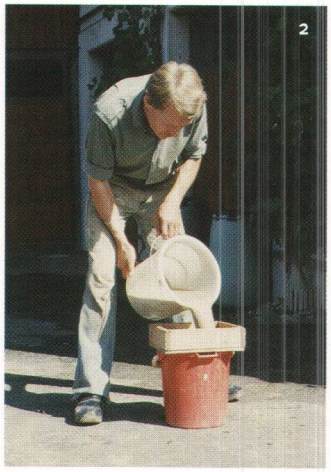


Abb. 1
Topf mit Kalktreibern.

Pot avec dégraissant calcaire.

Vaso con inclusi di calcare.

Abb. 2
Das Schlämmen von Arbeitston.

Tamisage de l'argile.

L'argillia viene filtrata.

Abb. 3
Formschiene aus Knochen.

Polissoir en os.

Spatola d'osso.

Das Rohmaterial des Töpfers

Ton und Lehm

Ton und Lehm sind die Rohmaterialien für keramische Erzeugnisse. Ton entstand durch Verwitterung aus Urgestein, wie Granit, Gneis usw. Lehm ist kein reines Verwitterungsprodukt, sondern es waren auch mechanische Zertrümmerungsprozesse in Bächen, Flüssen usw. beteiligt. Im Lehm sind oft auch jüngere Gesteine wie Kalk enthalten. Ton besteht zur Hauptsache aus kleinsten plastischen Bestandteilchen. Dieses sehr feine Material ist beim Trocknen und Brennen einem relativ starken Schwund unterworfen und neigt deshalb oft zum Reissen. Im Gegensatz dazu ist Lehm öfters sandig und kann Steinchen enthalten. Deshalb ist die Masse oft «mager» und unplastisch. Der Werkstoff des Töpfers besteht in der Regel aus einem Gemisch aus Ton und Lehm. Die Farbe der ungebrannten Erde ergibt sich durch kleinste organische oder anorganische Bestandteilchen. Während beim Brand die organischen Teile veraschen, bestimmen die anorganischen Stoffe die Farbe. Meist ist es Eisenoxyd, welches das Brenngut je nach der Art des Brennverfahrens rot bis schwarz erscheinen lässt. Für gröbere Töpfer- und Zieglerware verwendete man früher Ton, der schon in der Natur mit Lehm und Sand vermischt war, oder man fügte Magerung dazu. So liess sich die Gefahr von Spannungsrissen, die beim Trocknen und Brennen entstehen können, vermindern. Enthielt das Material jedoch Sandkörner aus Kalkstein, dehnten sich diese nach dem Brand bei Kontakt mit Feuchtigkeit um das Mehrfache aus und sprengten Stücke aus der Oberfläche (Abb.1). Besonders für Feinkeramik musste deshalb Material aus kalkfreien Tonschichten ausgewählt werden, oder man verwendete gereinigten Arbeitston.

Schlämmen

Das Reinigen des Arbeitstones von störenden Fremdkörpern geschieht meist durch Schlämmen. Dazu lässt man das Rohmaterial ganz austrocknen. Nur in diesem Zustand lässt es sich anschliessend mit Wasser ohne Probleme vollständig zur Lösung bringen. Die zerkleinerten harten Brocken werden dabei in einem Gefäss oder einer Grube mit Wasser aufgeweicht. Wird die dünnflüssige Brühe für kurze Zeit stehen gelassen, setzen sich die schwereren Teile wie Steinchen oder Sand auf den Grund ab. Je länger man wartet, desto kleinere Partikel setzen sich auf dem Grund ab. Der obere Teil der feinen Schlämme wird nun nach einigen Minuten in einen weiteren Behälter abgeleitet (Abb. 2). Mit einem Sieb oder einem Tuch lassen sich dabei schwimmende Fremdkörper abfangen. Wird dem auf diese Weise gereinigten Tonschlamm ein wenig Essig zugefügt, bilden sich Tonflocken, die sich meist nach einigen Stunden absetzen. Das Wasser über diesem Tonschlamm lässt man dann abfliessen. Ein weiteres Eindicken kann durch den Verdunstungseffekt in Behältern aus Holz oder gebranntem Ton erreicht werden. Lagert man das feuchte Material noch für einige Zeit, so wird es durch Gärprozesse für die Weiterverarbeitung verbessert, indem es plastischer wird. Es verfärbt sich dabei dunkel und beginnt zu stinken. Der erfahrene Töpfer erkennt an Farbe und Geruch diesen Veredelungsprozess, der «mauken» genannt wird. Der Arbeitston darf allerdings nicht zu fein geschlämmt werden. Gefässe aus solchem Material neigen zum Verziehen, Reissen oder es bilden sich beim Brennen gar Blasen (Abb. 4).

Magerung

Bevor man den Töpferofen kannte, war es notwendig, Keramik mit Gesteinstrümmern oder Schamotte zu magern. Diese Zuschlagstoffe schützten

die Ware bei ungleichmässigem Feuer weitgehend vor Beschädigungen durch Spannungen infolge von Temperaturunterschieden. In römischer Zeit war der Töpferofen längst bekannt, trotzdem musste man Gefässe für Kochzwecke magern, da diese beim Gebrauch im Feuer unregelmässiger Hitze ausgesetzt waren. Zwar gibt auch der Brennofen keine vollständige Sicherheit in Bezug auf Spannungsrisse. Grösseres und damit auf Spannungen anfälliges Brenngut wie Vorratstöpfe wurden deshalb in der Regel aus Material gefertigt, das einen gewissen natürlichen, sandigen Grobanteil enthielt.

Das Herstellen der Gefässe

Handaufbau

Von Hand aufgebaute Gefässe beanspruchen bedeutend mehr Zeit zum Töpfern als die auf der Töpferscheibe gedrehten, zudem sind sie unregelmässiger. Gröber gemagerte Ware lässt sich allerdings einfacher mit der Wulsttechnik anfertigen als auf der Drehscheibe, da grössere Magerungskörner zu stark bremsen. Hier treten auf der Innenseite der Töpfe die unregelmässigen Spuren des Aufbauens von Hand augenfällig in Erscheinung.

Handaufbau überdreht

Ab einer bestimmten Grösse ist es auch für einen geübten Töpfer nicht mehr möglich, ein Gefäss auf der Scheibe zu drehen. Es sei denn, er setze mehrere gedrehte und danach etwas angesteifte Teile zu einem grossen Stück zusammen. Amphoren und Krüge mit hohem Hals sind häufig mit dieser Technik hergestellt. Eine weitere Methode besteht darin, dass man grosse Stücke in Wulsttechnik aufbaut und anschliessend aussen überdreht. Das heisst, man glättet die Oberfläche auf der rotierenden Scheibe. Von aussen sind solche Stücke oft nicht von echter scheibengedrehter Ware zu unterscheiden. So sind nur auf der Innenseite von Dolien die Spuren des Handaufbaues noch deutlich zu erkennen.

Die Töpferscheibe

Die Töpferscheibe der Griechen bestand aus einem schweren Schwungrad, dessen Achse im Boden eingelassen war. Auf korinthischen Tontäfelchen aus dem 6. Jh. v.Chr. sind Töpfer bei ihrer Arbeit dargestellt. Ein Gehilfe dreht die Scheibe im Uhrzeigersinn, und der Meister töpfert direkt auf diesem Schwungkörper. Auch aus römischer Zeit kennt man Darstellungen derartiger Scheiben. Allerdings erfolgt der Antrieb mittels eines langen Stockes durch den Töpfer selbst. Es wird aber angenommen, dass auch die fussangetriebene Scheibe bekannt war. Bei dieser wird das Schwungrad mit dem rechten Fuss angeschoben und so die an einer Achse darüber befestigte Töpferscheibe in Linksrichtung gedreht. Aus verschiedenen Töpfereien sind Spursteine, in denen sich einst die Achse drehte, archäologisch nachgewiesen. Die Achse meiner eigenen Töpferscheibe dreht sich ebenfalls mit ihrem unteren spitzen Ende auf einem Stein, was sich sehr bewährt hat.

Drehen

Zuerst muss der Töpfer den Arbeitston gut durchkneten. Das heisst, man mischt das Material so, dass anschliessend weder Unregelmässigkeiten in

Abb. 4
Die Schüssel weist Blähungen auf, die infolge des zu fein geschlämmten Tons entstanden sind.

Le récipient présente des déformations dues à l'emploi d'une argile trop fine.

Le deformazioni di questa scodella sono indice di un impasto troppo fine.

4

Abb. 5
Das fertig geformte Gefäss wird auf ein Brett gezogen.

Le récipient achevé est déposé sur une planche.

Al termine della lavorazione al tornio, il recipiente è posto su un asse.

Abb. 6
Das Abdrehen einer Schale.

Tournage d'une coupe.

Rifinitura al tornio di una ciotola.

der Konsistenz, noch Luftblasen enthalten sind. Nun wird der Tonballen kräftig auf die Mitte der Töpferscheibe gesetzt. Mit nassen Händen muss die unförmige Tonmasse so zentriert werden, dass sie sich gleichmässig rund dreht. Erst jetzt bricht man mit den Fingern der linken Hand den Tonkegel auf. Die rechte Hand gibt derweil von aussen Gegendruck. Langsam zieht man so die immer dünner werdende Gefässwandung in die Höhe. Eine saubere ebenmässige Oberfläche erreicht man durch das Abglätten mit einem entsprechend geformten Werkzeug aus Holz oder Knochen. Dieses Hilfsmittel bezeichnet man heute als Formschiene (Abb. 3). Das fertige Gefäss wird bei Drehung mit einer Schnur von der Scheibe abgeschnitten. In diesem Zustand ist das frisch gedrehte Stück so weich, dass man es beim Abheben unweigerlich verformt. Bei meinen Versuchen fand ich eine Methode, wie kleine und mittelgrosse Gefässe, ohne sie mit den Händen zu berühren, von der Scheibe entfernt werden können. Bei nasser Schnittfläche lässt sich das weiche Töpfergut einfach mit erneut umgelegter Schnur von der Scheibe auf ein Brett ziehen (Abb. 5).

Abdrehen

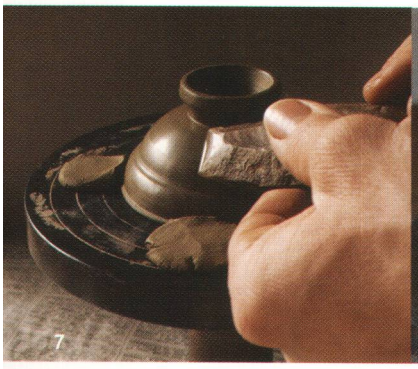
Nur bei den wenigsten Gefässtypen sind die beim Abtrennen von der Scheibe entstandenen Spuren der Schnur noch vorhanden. Bei Reibschüsseln kann es aber beispielsweise vorkommen, dass sie im unteren Teil nicht überarbeitet wurden und deshalb hier die Schnurspuren erhalten blieben. In der Regel wurde aber der Bodenbereich aussen bearbeitet. Das heisst, man drechselt den Fussbereich zurecht, was abdrehen genannt wird. Dazu befestigt der Töpfer das Gefäss in grifftrockenem Zustand, mit der Öffnung gegen unten, auf der Scheibe. Mit einem abgewinkelten, scharfen, messerartigen Werkzeug dreht er die gewünschte Form aus dem massiven Unterteil (Abb. 6). Für Krüge mit langem Hals und dergleichen muss auf der Scheibe eine zylindrische Stütze befestigt werden, die das Umkippen des Werkstückes verhindert. Sind im Ton Verunreinigungen vorhanden, werden diese oft vom Werkzeug mitgeschleppt und hinterlassen so ihre Spuren am Gefäss.

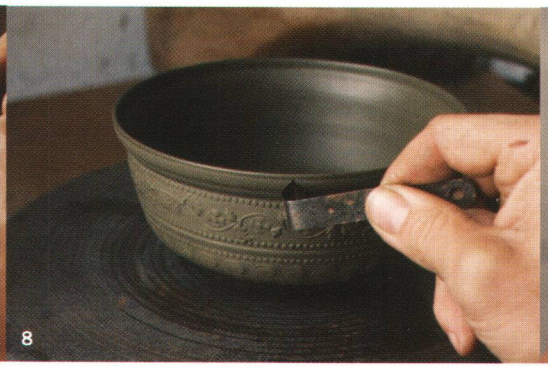
Glätten und Polieren

Will man eine glatte oder gar glänzend feine Gefässoberfläche erreichen, glättet oder poliert man diese mit einem feinen Stein. Vor allem in Terra-Sigillata-Töpfereien fand man unterschiedlich geformte Poliersteine aus Achat oder Silex. Soll die Gefässoberfläche mit dem Stein verfeinert werden, muss diese noch leicht feucht sein. Je fester der Ton jedoch während dieser Arbeit ist, desto glänzender wird das Resultat (Abb. 7). Es braucht viel Erfahrung, um eine vollständig glatte, übergangslose Oberfläche zu erreichen. Vor allem Ränder kann man auch noch zusätzlich mit einem feinen Leder glätten. Zudem lassen sich damit die feinen facettenartigen Spuren des Poliersteines zum Verschwinden bringen.

Riefelbandverzierung

Riefelbänder bringt man normalerweise erst nach dem Polieren an. Der Töpfer berührt dabei das rotierende Gefäss mit einem abgewinkelten, scharfen, federnden Werkzeug. Wird dieses sogenannte Rat-





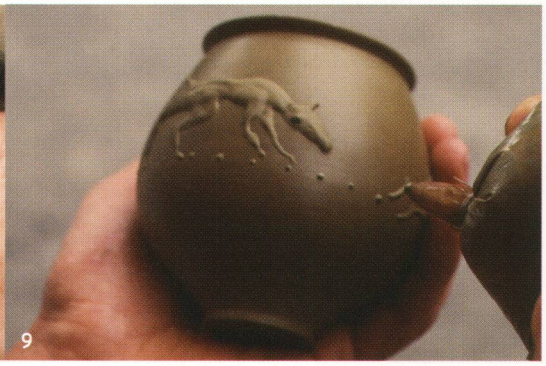


Abb. 7
Glätten und polieren.

Lissage et polissage.

Lisciatura e lucidatura della superficie.

Abb. 8
Eine Riefelbandverzierung wird angebracht.

Réalisation d'un décor guilloché.

Rotellatura.

Abb. 9
Die Barbotineverzierung.

Le décor à la barbotine.

Decorazione a foglie d'acqua.

terblech im richtigen Winkel geführt, beginnt es zu vibrieren und hinterlässt so das Riefelband (Abb. 8).

Barbotineverzierung

Diese reliefartigen Verzierungen trägt man wie heutige Zuckerbäcker mit einer Art Spritzsack auf, der eine dickflüssige Tonfüllung enthält. Mit viel Übung lassen sich mit dieser Technik auch Menschen, Tiere usw. darstellen (Abb. 9). Allerdings entstehen grosse Spannungen zwischen dem nur noch wenig feuchten, festen Gefässteil und dem viel stärker schwindenden Verzierungsauftrag. Bei meinen ersten Versuchen blätterten meine Barbotine-Verzierungen nach dem Brand wieder ab. Erst als ich den monatelang gestandenen, stinkenden Tonschlamm verwendete, entstand eine perfekte Verbindung.

Das Herstellen von Terra Sigillata

Bei meinen langjährigen Herstellungsversuchen von Terra Sigillata hatte ich immer das Ziel, der besten Qualität von originaler Terra Sigillata möglichst nahe zu kommen. Dabei galt es, die Geheimnisse von Farbe, Glanz und Zusammensetzung der Scherbenmasse zu ergründen.

Der Arbeitston und seine Aufbereitung

Für die Terra-Sigillata-Produktion dürfte man fast ausschliesslich mit geschlämmtem Töpferton gearbeitet haben. Bei meinen Herstellungsversuchen testete ich ganz verschiedene Materialien. Die wichtigsten Erfahrungen seien hier zusammengefasst:

– Am besten eignet sich eisenhaltiger Ton, der etwa 10-15% feinsten Kalk enthält. Dadurch kommen die Farbe und der Glanz des Überzuges optimal zur Geltung.
– Ungeschlämmter Ton ergibt in der Regel eine zu grobe, unruhige Oberfläche für den Glanztonüberzug. Zudem besteht eine grosse Gefahr, dass sogenannte «Kalktreiber» entstehen. Das heisst, Kalkteilchen, die so gross sind, dass man sie von Auge erkennen kann, sprengen durch ihre Ausdehnung Teile aus der Oberfläche. Dies jedoch nur, wenn der Keramikbrand eine Temperatur von über 800°C erreicht.
– Zu fein geschlämmter Ton schwindet stark, verzieht sich und reisst beim Trocknen und Brennen häufiger. Beim Brand kann sich die Gefässwandung aufblähen.
– Eisenmangel im Drehton ergibt beim Brennen eine zu blasse Farbe. Somit scheinen die Kanten hell durch den Überzug.
– Reichlich eisenhaltiges Material ohne Kalkanteil schwindet oft stark und lässt den Überzug matt und glanzlos erscheinen. Zudem wirkt die Farbe des Glanztones meist zu braun.

Weisse «Punkte» in der südgallischen Terra Sigillata

Um ein Fundstück als süd- oder mittelgallische Terra Sigillata zu identifizieren, beurteilt der Fachmann nicht zuletzt die Bruchstelle einer Scherbe. Wenn es sich um ein Erzeugnis aus den genannten Produktionsgebieten handelt, sind in der Matrix normalerweise viele kleine weisse «Punkte» zu erkennen. Zwar verwendete ich für meine Experimente Rohton

Abb. 10
Glanztonschlämme.

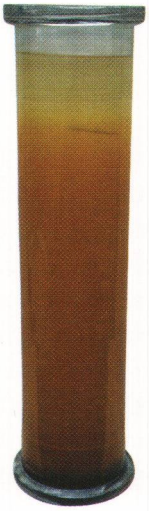
Bains d'engobe.

Preparazione della vernice.

Abb. 11
Brennversuche: abgeplatzter Glanzton.

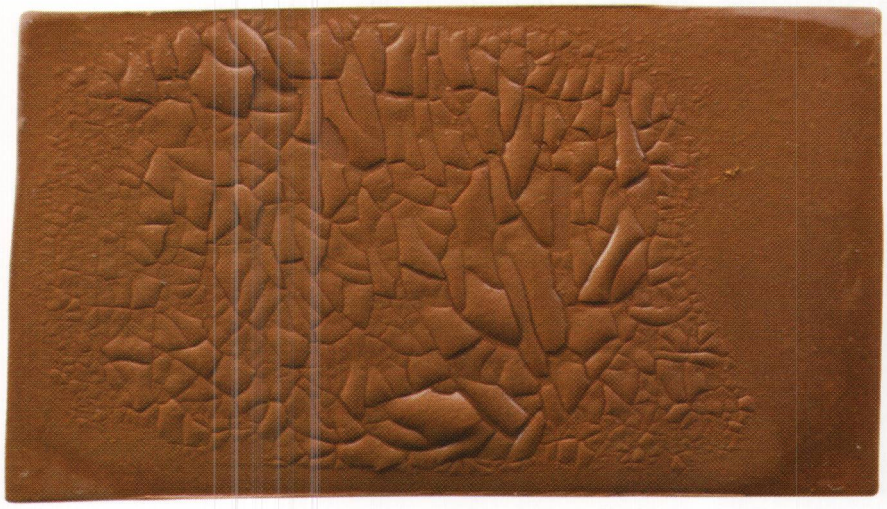
Essais de cuisson: l'engobe est craquelé.

Esperimenti di cottura: vernice scrostata.



10

11



aus der römischen Töpferei von La Graufesenque. Doch die typischen kleinen weissen Spuren waren nach dem Brand nicht zu sehen. Mit verschiedenen Zutaten versuchte ich den gewünschten Effekt zu erreichen. Doch erst nach Jahren entdeckte ich zufällig des Rätsels Lösung. Eine über längere Zeit verwendete Brennstütze aus dem südgallischen Ton fiel zu Boden und zerbrach. Die Bruchstellen wiesen zu meinem Erstaunen die magischen weissen Punkte auf. Diese waren offensichtlich entstanden, weil das Tonstück über längere Zeit einer hohen Temperatur ausgesetzt war. Ich schliesse daraus, dass der Brand in den grossen, trägen Töpferöfen sehr lange gedauert haben muss.

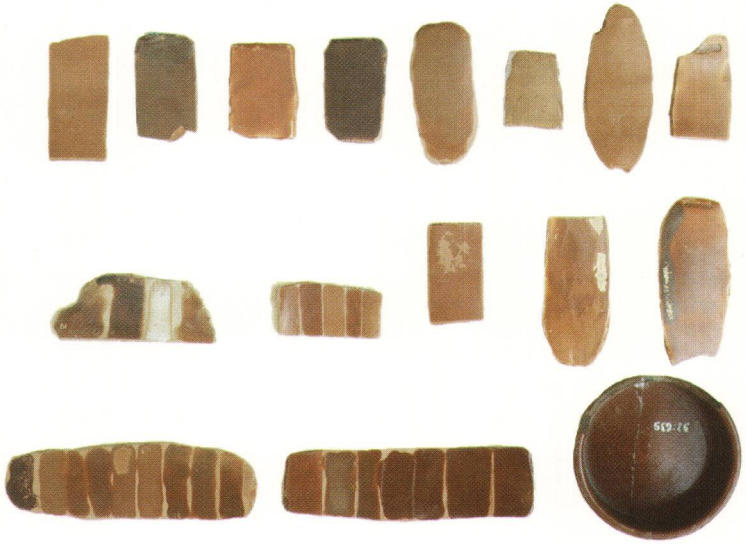
Glanztonüberzug

Beim roten, wasserdichten Überzug auf qualitativ guten römischen Terra-Sigillata-Gefässen handelt es sich nicht um eine Glasur, sondern um eine dünne Schicht von besonders feinem, eisenreichem Ton. Bei oxydierendem Brand sintern die Tonplättchen dieser sogenannten Glanztonschicht ab etwa 950°C zu einer dichten Schicht zusammen. Nicht zu verwechseln mit einer Glasur, die im Feuer flüssig wird und eine Glasschicht bildet.

Glanztongewinnung

Ähnlich wie beim Schlämmen des Arbeitstones wird zur Gewinnung des Glanztones ein eisenreicher Ton in Regenwasser aufgelöst. Wichtig ist dabei, dass das verwendete Wasser nicht sauer, sondern basisch ist. Des sauren Regens wegen kann dies heutzutage vor allem im Winter ein Problem sein. Die angesetzte Tonbrühe wird nun je nach gewünschter Qualität über Stunden oder Tage stehen gelassen. Zuerst sinken die groben, dann immer feinere Teile zu Boden (Abb. 10). Bei gutem, kalkfreiem Ton kann es viele Wochen dauern, bis sich der gesamte Ton wieder abgesetzt hat. Um einen Überzug zu erhalten, der sich für Terra-Sigillata-Herstellung bester Qualität eignet, lasse ich die «Schlämme» eine Woche stehen. Dann wird der oberste, feinste Drittel abgegossen und bis zur gebrauchsfähigen Viskosität eingedickt. Diesen Vorgang kann man beschleunigen, indem den feinst verteilten Tonpartikeln etwas Essig zugegeben wird. Dies führt zum Verkleben der Teilchen und bald sinken diese als Flocken auf den Grund. Das klare, überstehende Wasser kann dann vorsichtig abgegossen werden. Allerdings eignen sich längst nicht alle Glanztone zur Herstellung einer wasserdichten Überzugsschicht. Analysen beweisen, dass Glanzton, der aus kaolinitischem Ton gewonnen wurde, schlecht auf der Gefässoberfläche haftet und deshalb nach dem Brand zum Abblättern neigt (Abb. 11). Wird der Überzug jedoch aus einem illitischen Material gewonnen, lässt er sich dick genug auftragen, um nach dem Brand eine deckende, dichte Schicht zu gewährleisten. Der qualitativ minderwertige Überzug liesse sich nur für die sogenannte Glanztonware verwenden. Diese ist mit einer dünneren, manchmal transparenten und deshalb nicht unbedingt wasserdichten Schicht versehen.

Schon der Keramikforscher Adam Winter erhitzte manchmal den Rohton auf 300-500°C, bevor er ihn zur Glanztongewinnung ansetzte. Diese Methode hat einige Vorteile. Im Gegensatz zum frischen Ausgangsmaterial lässt sich nun ohne Mühe erkennen, ob es sich auch wirklich um eine stark eisenhaltige Erde handelt. Zudem kann man den nun bereits roten Überzug auf dem ungebrannten Gefäss mühelos erkennen. Am wichtigsten scheint mir aber die Tatsache, dass man auf diese Weise gewonnenen Glanzton etwas dicker auftragen kann, ohne dass



12

Abb. 12
Probestreifen mit Glanzton und originaler Terra Sigillata.

Echantillons avec de l'engobe et terre sigillée originale.

Campioni di vernice e terra sigillata originale.

Abb. 13
In Glanzton getauchte Schüssel.

La coupe est plongée dans le bain d'engobe.

Scodella immersa nella vernice.

Abb. 14
Gebrannte Terra-Sigillata-Kopie.

Copie d'une terre sigillée une fois la cuisson achevée.

Copia di un recipiente di terra sigillata.

er nach dem Brand vom Gefäss abplatzt. Es ist eines der grössten Probleme, den Überzug deckend und damit auch wirklich wasserdicht aufzutragen, ohne dass er an den dickeren Stellen von der Unterlage abgeworfen wird.

1978 arbeitete ich für kurze Zeit auf den Ausgrabungen der römischen Töpfereien in Rheinzabern. Dabei fand ich unten im Heizkanal eines Töpferofens erstmals ungebrannte Terra-Sigillata-Fragmente. Auf dem grauen Gefässton war der Überzug deutlich als rötliche Schicht zu erkennen. Analysen dieser Schicht lassen vermuten, dass es sich mit grosser Wahrscheinlichkeit um Glanzton handelt, der vor seiner Aufbereitung erhitzt worden war (Abb. 13). Oft liest man in der Fachliteratur, dass die römischen Terra-Sigillata-Töpfer die Gefässe, wie auch den Glanzton, aus demselben Ton hergestellt hätten. Meine Versuche mit Rohton, der bei Ausgrabungen in den römischen Töpfereien von La Graufesenque (F) und Rheinzabern (D) gefunden worden war, ergaben jedoch ein in mehrfacher Hinsicht enttäuschendes Resultat. Sowohl der Glanz wie auch die Farbe des gewonnen Überzuges stimmten in keiner Weise mit den antiken Vorbildern überein. Interessanterweise lässt sich aber aus dem Material aus La Graufesenque ein orangefarbiger Überzug gewinnen, wie er auf den dort produzierten feinen Reliefschälchen mit sogenanntem «Firnisüberzug» üblich ist.

Das Geheimnis der Farbe

Bei meinen Versuchen testete ich weit über hundert verschiedene Tone auf ihre Eignung zur Glanztongewinnung für Terra Sigillata (Abb.12). Immer wieder tauchte das gleiche Problem auf: Die Farbe des Überzuges war zu wenig intensiv rot im Vergleich zu den Originalen. Zwar lässt sich aus einem stark eisenhaltigen Material aus dem Aargauer Jura eine nahezu perfekte Terra Sigillata herstellen. Man muss jedoch eine bestimmte Brenntemperatur genau einhalten. Steigt die Hitze nur wenig höher, verändert sich die Farbe zusehends ins Braune. Da in den grossen römischen Öfen wohl kaum in allen Bereichen absolut die gleiche Idealtemperatur erreicht wurde, müsste man vermehrt braun verfärbte Ausschussware finden, was nicht der Fall ist.

Deshalb kam ich auf die Idee, dem Glanzton rot fär-

13

14

benden Hämatit zuzufügen. Zwar wurde der Überzug nun intensiv rot, aber es fehlte der Glanz. Also mischte ich das Hämatit vor der Glanztongewinnung in den Ton. Das Resultat war verblüffend. Auch wenn die Ware deutlich zu hoch oder viel zu lange gebrannt wurde, hielt sich das typische glänzende Rot und wurde sogar noch intensiver (Abb. 14). Ich bin heute der Überzeugung, dass man in den römischen Terra-Sigillata-Manufakturen dieses Geheimnis gekannt haben muss. Nur so war es möglich, eine mehr oder weniger einheitliche Farbe bei der Produktion grosser Geschirrmengen zu erreichen.

Herstellung von Relief-Terra-Sigillata

Punzen

Relief-Terra-Sigillata-Gefässe wurden bekanntlich in Formschüsseln aus gebranntem Ton gefertigt. Das Relief stempelte der Töpfer mit entsprechenden Punzen aus Ton in die noch weiche Form. Um diese Stempel herzustellen, gibt es verschiedene Möglichkeiten: Man kann sie aus plastischem Ton modellieren, oder die Figur wird aus dem schon trockenen Material herausgearbeitet. Auf alle Fälle muss man beachten, dass die Oberfläche mindestens so stark gebogen ist wie die Innenseite der zu verzierenden Form. Es ist auch möglich, ein bestehendes Motiv abzuformen. Aus dem Abdruck lässt sich dann die neue Punze gewinnen. Allerdings muss man einen beträchtlichen Schwund in Kauf nehmen. Abformung, Punze, Formschüssel und neue Schüssel machen je ca. 10% aus. Es ist nicht zwingend notwendig, dass Stempel vor ihrer Verwendung gebrannt werden.

Herstellen der Formschüssel

Die Formschüsseln bestehen in der Regel aus dem selben Arbeitston wie die später darin gefertigten Reliefschüsseln. Nach dem Antrocknen glättet der Töpfer die Innenseite der Form und dreht deren Fuss zurecht. Nun kann man mit dem Anbringen des Dekors beginnen. Man muss den Platz für die geplanten Bilder möglichst regelmässig aufteilen, ohne Spuren zu hinterlassen. Nicht perfekt gelungene Fundstücke zeigen, dass man eine unsorgfältige Arbeit nicht mehr korrigieren konnte. Drückt man eine Punze zu schwach ein, erscheint diese unvollständig. Gibt man zu viel Druck, so steht später das Motiv zu stark vor, was zu Problemen führt beim Lösen der Einformung aus dem Model. Kleine Stempel benötigen wegen ihrer kleineren Oberfläche bedeutend weniger Druck als grosse. Letztere drückt man mit Vorteil mit einer abrollenden Bewegung an, da sich sonst unter dem grossen Druck die Form verzieht (Abb. 15). Um Verformungen möglichst zu vermeiden, dreht man die dickwandige Formschüssel aussen erst nach erfolgter Verzierung ab. Nach dem Trocknen folgte der Brand im Ofen bei etwa 800°C.

Einformen in die Formschüssel

Das beste Resultat erreichte ich mit folgendem Vorgehen: Auf der Töpferscheibe wird eine Schüssel gedreht, die knapp in die Formschüssel passt. Nachdem diese etwas angesteift ist, wird sie unten sauber abgedreht. Wenn man die Aussenseite glättet, entsteht später ein perfektes Relief. Nun wird der Rohling in die auf der Scheibe montierte Form gesetzt (Abb. 16). Wenn das weiche Stück nur mit

Abb. 15
Das Herstellen einer Formschüssel.
Fabrication d'un moule.
Produzione di una matrice.

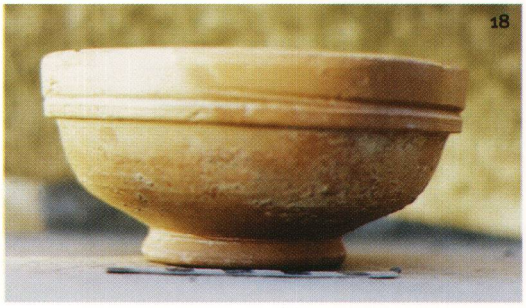
16

17

Druck gearbeitet werden, da dieser über die Form hinausragt und die Gefahr besteht, dass er zu stark ausgeweitet wird. Mit einer entsprechend geformten Formschiene erreicht man danach eine übergangslose, glatte Innenseite. Der Rand lässt sich auf der gewünschten Höhe mit einem nadelartigen Werkzeug sauber abtrennen (Abb. 17). Nun wird er oben etwas angefeuchtet, um ihm die vorgesehene Form geben zu können. Das eingeformte Gefäss muss anschliessend so weit antrocknen und schwinden, bis es sich aus der Formschüssel stürzen lässt. Wichtig ist dabei, dass die Form genügend saugfähig ist und Feuchtigkeit aufnehmen kann. Wenn sie nass ist oder durch zahlreiche Ausformungen die Saugfähigkeit verloren hat, wird das eingeformte Stück beschädigt, indem Ton an der Form kleben bleibt. Eine Formschüssel, die ihre Saugfähigkeit durch langen Gebrauch eingebüsst hat, wird wieder brauchbar, wenn man sie erneut im Ofen brennt. Dass auch die römischen Töpfer diese Verjüngungskur anwendeten, beweisen mir eingebrannte Verschmutzungsspuren aussen an verschiedenen Formen in La Graufesenque, die ich als Gebrauchsspuren interpretiere (Abb. 18).

Die Formschüsseln wurden mit der Zeit so verändert, dass sie einfacher zu handhaben waren. So ist z.B. bei der Form Dragendorff 29 der Fussbereich noch im Model enthalten. Das heisst, der in die Form eingesetzte Rohling für die Reliefschüssel musste unten genügend dick sein, dass das Material auch für den Standring reichte. Beim jüngeren Typ Dragendorff 37 wurde der Standring separat gedreht und später angesetzt.

Mühe in das Model passt, ist es von Vorteil, wenn die eingeschlossene Luft unten durch ein Loch entweichen kann. Das eingesetzte Stück darf nicht zu stark angetrocknet sein. Es besteht sonst die Gefahr, dass es sich während des nachfolgenden Arbeitsganges verschiebt und ein verzerrtes Relief entsteht. Für das Anpressen an das Negativ des Reliefs verwendete ich ein etwa 2 cm breites Holzrädchen (Abb. 16). Im Randbereich muss mit reduziertem


18

Massenproduktion und ihre Folgen

Mode oder Rationalisierung

Die folgenden Beispiele zeigen deutlich, dass neben modischen Einflüssen vor allem Rationalisierungsmassnahmen verantwortlich waren für die meisten Veränderungen an den Gefässformen. Oft wird bei den Entwicklungslinien der Terra Sigillata von modischen Veränderungen der Formen und Verzierungen gesprochen. Lag der Grund wirklich nur in der Mode, die sich wandelte? An zwei Beispielen möchte ich aufzeigen, dass hauptsächlich andere Gründe dafür verantwortlich waren.

Form Dragendorff 24

Diese Tasse mit geriefeltem Randbereich ist endlos stapelbar. Allerdings stehen dabei die einzelnen Gefässe nicht wie sonst üblich mit dem Standring im Innern der nächsten Schale. Die Berührungsstelle befindet sich auf dem Rand, beziehungsweise unter dem kleinen Randabsatz. Das heisst, die einzelnen Stücke eines Stapels müssen genau mit demselben Durchmesser gedreht werden. Auch dürfen sie sich nicht stark verziehen, denn auch dadurch besteht die Gefahr, dass sie sich im Brennstapel verklemmen. Während des Brandes und der damit verbundenen Sinterung des Glanztones besteht die Gefahr, dass die Gefässe auch bei nur geringer Belastung zusammenkleben. Zwar lassen sie sich mit einer drehenden Bewegung wieder voneinander lösen, allerdings führt dies oft zu unschönen Verletzungen der Überzugsschicht. Mit der Zugabe von etwas Sand auf die Kontaktstellen lässt sich dies weitgehend verhindern. Auch die Sandauflage hinterlässt aber Spuren in Form von Eindrücken. Diese verunstalteten das Aussehen des feinen Randes von Drag. 24 öfters. Bei der Form Drag. 27 traten all die genannten zusätzlichen Probleme nicht auf. Diese Gefässe stehen beim Stapeln mit dem Standring und nicht mit dem Rand im nächsten Gefäss. Meiner Meinung nach ist dies der Grund für das Verschwinden von Drag. 24.

Formen Dragendorff 29 und Dragendorff 37

Beide Reliefschüsseltypen sind nicht direkt stapelbar. Hergestellt werden sie in Formschüsseln, die jeweils am oberen Rand des Reliefes enden.

Bei der Schüssel Drag. 29 ist der Standring wie erwähnt in die Formschüssel integriert. Bei Drag. 37 setzte der Töpfer einen separat gedrehten Ring nachträglich an. Diese zusätzliche Arbeit wird bei weitem wettgemacht durch einen einfacher herzustellenden Rohling und ein problemloseres Lösen aus der Form.

Bei Drag. 29 ist das Relief in eine obere und eine untere Bildzone aufgeteilt. Die beiden Zonen und der obere Rand sind durch Perlstäbe begrenzt. Bei Drag. 37 wird auf diese Aufteilung verzichtet und ein Eierstab bildete den oberen Abschluss. Die neue Form bietet also mehr Spielraum in der Reliefgestaltung. Auch die Überarbeitung des über die Formschüssel ragenden Randbereiches ist bedeutend weniger anspruchsvoll als bei Drag. 29. Eine Verletzung oder Entfernung des Perlstabes fällt bedeutend mehr auf als ein oben angeschnittener, etwas niedrigerer Eierstab. Um eine schöne Riefelung an einer Drag. 29 anbringen zu können, musste der Rand in der Höhe – im Gegensatz zu Drag. 37 – waagrecht und gleichmässig rund sein. Wenn sich das Werkstück nicht sauber rund dreht, kommt es zu den genannten Beschädigungen und es entsteht eine unregelmässige Verzierung. Es verwundert nicht, dass man die Zone zwischen unterem und oberem Bildteil nur bei den frühen Schüsseln riefelte, denn oft wurden bei dieser heiklen Arbeit die begrenzenden Perlstäbe beschädigt.

Ein weiterer Nachteil von Drag. 29 liegt in der fast senkrechten oder gar eingezogenen Form des oberen Reliefbereiches. Dies erfordert einen grösseren Schwund des eingeformten Stückes, um dieses ohne Beschädigung der Verzierungen wieder aus der Formschüssel heraus zu bekommen. Wird die fertige Schüssel Drag. 29 in den Ofen eingesetzt, ist die Gefahr von Beschädigungen für den dünnen auskragenden Rand viel grösser als beim senkrechten, massiveren Oberteil von Drag 37.

Terra-Sigillata-Imitationen

Auch wenn Terra-Sigillata-Tafelgeschirr als Massenware in grossen Manufakturen produziert wurde, war es in unserer Gegend sicherlich recht teuer. Dies nicht zuletzt durch den weiten Transportweg des zerbrechlichen Gutes, das anfänglich in Italien und später hauptsächlich in Gallien gefertigt wurde. Es ist deshalb nicht erstaunlich, dass einheimische Töpfer versuchten die edlen Gefässe zu kopieren. Wollte man aber eine gute Qualität erreichen, erforderte dies entsprechende Kenntnisse:

1. Geschlämmter Arbeitston mit entsprechend dosiertem Anteil an feinstem Kalk.
2. Speziell fein geschlämmter Glanzton aus stark eisenhaltigem Ton.
3. Der Töpferofen musste so konstruiert sein, dass man bei oxydierender Brandführung den Sinterungspunkt des Überzuges, das heisst etwa 1000°C, erreichen konnte.

Bei den Terra-Sigillata-Imitationen, die man findet, erfüllt oft nicht ein einziger Punkt die genannten Anforderungen. Normalerweise wurde der Überzug zwar rot, aber er kam nicht zum Sintern und blieb matt. Im Gegensatz zur originalen Terra Sigillata wurden die Nachahmungen nach dem Aufbringen der rot färbenden Deckschicht erneut poliert und so der Glanz gesteigert. Damit erhielt man aber trotzdem keine wasserdichte Ware. Wollte man die Oberfläche abdichten, behalf man sich mit auspichen der Innenseite, wie dies an gut erhaltenen Schüsseln der Form Drack 21 bisweilen heute noch zu erkennen ist. Auch ein Abdichten mit Wachs oder Milch scheint mir denkbar. Sicherlich wussten die Verbraucher auch bald, dass die Terra-Sigillata-Imitationen leichter zu Bruch gingen als die härter gebrannten, stabileren Originale.

Abb. 16
Das Anrollen des Rohlings.
Préparation de la forme brute.
Applicazione del recipiente grezzo.

Abb. 17
Das Beschneiden des Randes.
Découpage du bord.
Ritaglio dell'orlo.

Abb. 18
Originalform mit eingebrannter Verschmutzung.
Forme originale avec une impureté restée à la cuisson.
Matrice originale con impurità.

Abb. 19
Erster Versuchsofen mit Röhrensystem.

Premier four expérimental avec son système de tuyères.

Prima fornace sperimentale con sistema di canali.

Abb. 20
Plan der ersten Ofenrekonstruktion.

Plan du premier four reconstruit.

Piano della prima fornace ricostruita.

Abb. 21
Der zweite Ofen in Betrieb.

Le deuxième four en activité.

La seconda fornace in funzione.

Abb. 22
Plan des zweiten Ofens.

Plan du deuxième four.

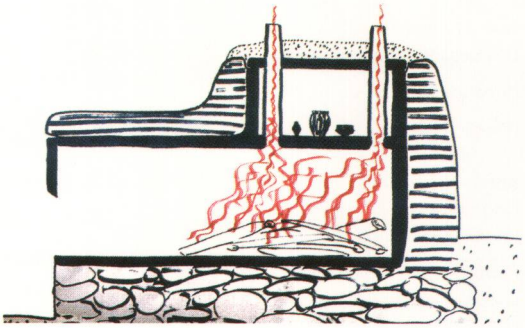
Piano della seconda fornace.

Töpferöfen und Rekonstruktionsversuche

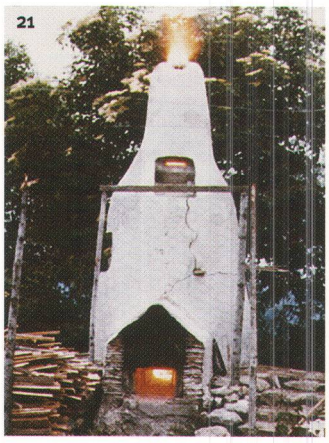
Auf Grund von Literaturangaben baute ich 1974 den ersten Terra-Sigillata-Ofen. Nach Robert Forrer durchströmte das Feuer den über dem Heizkanal liegenden Brennraum in Tonröhren. Röhren und Brenngut wurden von oben eingesetzt und anschliessend die Brennkammer mit Tonplatten abgedeckt (Abb. 19, 20). Statt der angestrebten 1000°C erreichte ich aber trotz aller Anstrengungen in dieser Rekonstruktion nur deren 700°. Als Grund vermute ich eine schlechte Verbrennung infolge des zu geringen Zugs und der zu kurzen Röhren.

«Kaminofen»
Aus den erwähnten Gründen erhöhte ich den Brennraum und setzte auf die Brennkammer einen Kamin auf (Abb. 22). Die Gefässe wurden nun von der Seite eingesetzt. Mit dieser Anlage wurde es nun möglich, die gewünschten 1000°C zu erreichen. Allerdings dauerte die Heizzeit ganze 20 Stunden (Abb. 21). Im Kamin, in dem das Feuer der einzelnen Röhren zusammenströmte, muss jedoch die Temperatur bedeutend höher gewesen sein. Gefässe, die ich versuchsweise in diesem Bereich eingesetzt hatte, waren zu Fladen geschmolzen.

20



Deshalb beschloss ich das von Forrer rekonstruierte Röhrensystem zu entfernen. Nun benötigte man nicht einmal mehr die halbe Zeit um die Temperatur auf 1000°C zu steigern. Leider hatte ich aber für den Bau des Ofens teilweise Materialien verwendet, die der grossen Hitze nicht stand hielten.


21

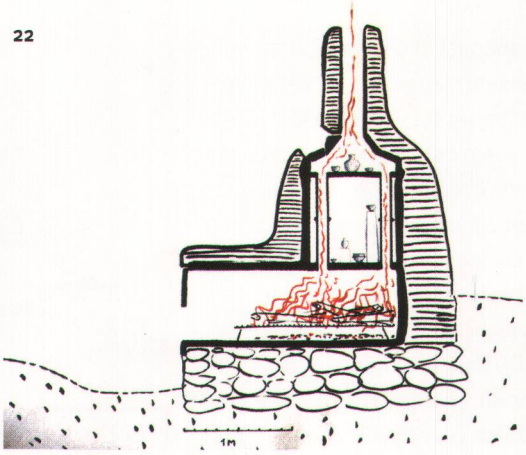

22

Abb. 23
Der dritte Ofen in Betrieb.

Le troisième four en activité.

La terza fornace in funzione.

Abb. 24
Heizöffnung mit Lücke im Gewölbe.

La voûte du canal de chauffe présente un trou.

Apertura della camera di combustione con foro nella volta.

Abb. 25
Plan des dritten Ofens.

Plan du troisième four.

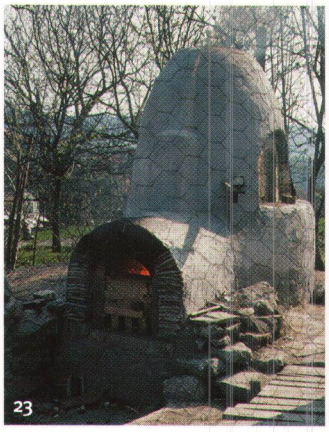
Piano della terza fornace.

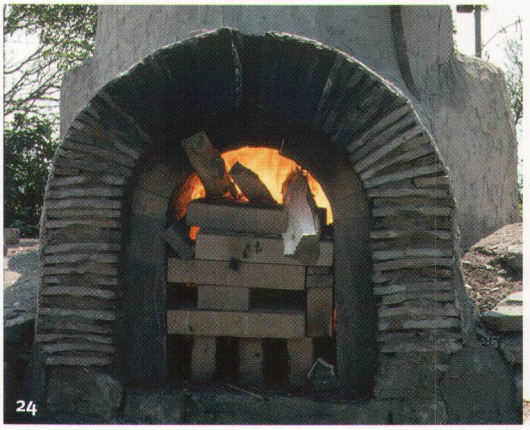
Ofen für reduzierendes Brennen

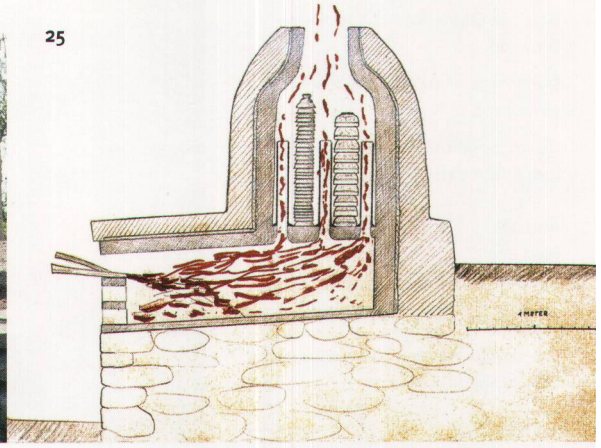
Wollte ich die Versuche weiter führen, musste nochmals eine neue Anlage gebaut werden. Erneut versuchte ich, die durch Funde belegten Röhren zu integrieren. Diese befanden sich nun nur noch im unteren Teil der Brennkammer, auf den Löchern des Zwischenbodens, der Lochtenne. Mit diesem System konnte man das Feuer etwas höher im Brennraum austreten lassen (Abb. 23, 25). Damit war ein besser funktionierender Ofen zu Stande gekommen. Probleme gab es nun noch mit dem relativ engen Rauchabzug und dem Gewölbe des Heizkanales. Weil sich durch die Hitze die Gewölbesteine im hinteren Teil des Kanales bedeutend mehr ausdehnten als am Anfang, begannen dort grosse Fugen zu klaffen. Das führte dazu, dass die Steine im Bereich der Einfeuerung abstürzten (Abb. 24). Nun wurde mir bewusst, weshalb die Heizkanäle der meisten römischen Öfen normalerweise mit einem falschen Gewölbe gebaut wurden. Ein solches konnte kaum einstürzen. Auch musste man bei meinem Ofen wegen der relativ engen Rauchabzugsöffnung ab etwa 800°C sehr vorsichtig heizen. Bei jeder Holzauflage entstand sonst eine sauerstoffarme, reduzierende Brennatmosphäre. Dies führte dazu, dass sich vor allem die Gefässe mit Glanztonüberzug dunkel verfärbten. Man konnte dies natürlich ausnutzen und gezielt reduzierend brennen. Wenn der Ofen bei etwa 850°C verschlossen wurde, verwandelte sich der Glanztonüberzug mit etwas Glück in ein schönes Schwarz. Als ich eben mit den ersten reduzierenden Brennversuchen begonnen hatte, verlor ich den Ofen wegen eines Wohnungswechsels. Nun stellte sich mir die Frage, ob ich nochmals eine verbesserte Version eines Terra-Sigillata-Ofens konstruieren sollte, oder ob ich die Versuche mit reduzierender Brenntechnik weiter erforschen wollte.

Reduzierender Brand mit Reoxydationsphase – der «griechische» Ofen

Zwar zeichnete ich auf Grund der Erfahrungen erneut einen Plan für einen Terra-Sigillata-Ofen (Abb. 26). Realisiert wurde aber in der Bauzeit von drei Wochen eine Brennanlage, die sich speziell für reduzierende Brände eignet (Abb. 28). Dabei


23

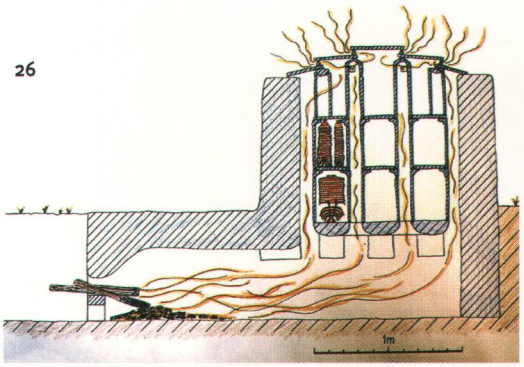

24


25

versuchte ich nun möglichst Materialien zu verwenden, die auch einem römischen Töpfer zu Verfügung gestanden hatten (Abb. 27). Diesen Ofen überdeckte ich bald mit einem Schutzdach, welches die Lebensdauer bedeutend verlängerte.

Bei Brennversuchen zeigte sich, dass sich diese Ofenkonstruktion speziell für den «griechischen Brand» eignet. Dabei werden die Öffnungen bei etwa 850°C für etwa 10 Minuten vollständig verschlossen (Abb. 30). Durch die entstehende reduzierende Atmosphäre verfärben sich die Gefässe schwarz und der Glanztonüberzug sintert. Das heisst, er ist danach wasser- und luftdicht. Öffnet man nun Rauchabzug und Heizgrube wieder und lässt Sauerstoff in das Innere, verfärbt sich nur noch der unbemalte, poröse Ton rötlich (Abb. 29). Erst nach längerem oxydierendem Nachheizen, beginnt sich auch der Überzug wieder langsam gegen rötlichbraun zu verfärben. Ein schönes Rot lässt sich nun aber nicht mehr erreichen. Auch in römischer Zeit wurde diese Brenntechnik öfters angewendet. So wurden Glanztonkeramik oder Öllampen oft in diese Art gebrannt. ▌

26



Bibliographie

R. Forrer, Die römischen Terrasigillata-Töpfereien von Heiligenberg-Diensheim und Ittenweiler im Elsass. 1911.

B. Michel, Analyse minéralogique, chimique et technologique d'engobes céramiques. Travail de diplôme. 1985.

A. Winter, Die antike Glanztonkeramik. Keramikforschungen III. Mainz 1978.

A. Vernhet, La Graufesenque: céramiques gallo-romaines. 1991.

J. Weiss, Herstellung von Terra-Sigillata und Rekonstruktion eines Terra-Sigillata-Ofens. Acta praehistorica et archaeologica 9/10, 1978/9.

J. Weiss, Römische Bildlampen des ersten Jahrhunderts n.Chr. Handwerk, Volkskunst, Kunsthandwerk. Schweizer Heimatwerk 4/1989.

Abb. 26
Geplanter Terra-Sigillata-Ofen.

Projet de four pour la cuisson de terre sigillée.

Progetto di fornace per la cottura di terra sigillata.

Abb. 27
Bau des Ofens für reduzierendes Brennen.

Construction du four à cuisson réductrice.

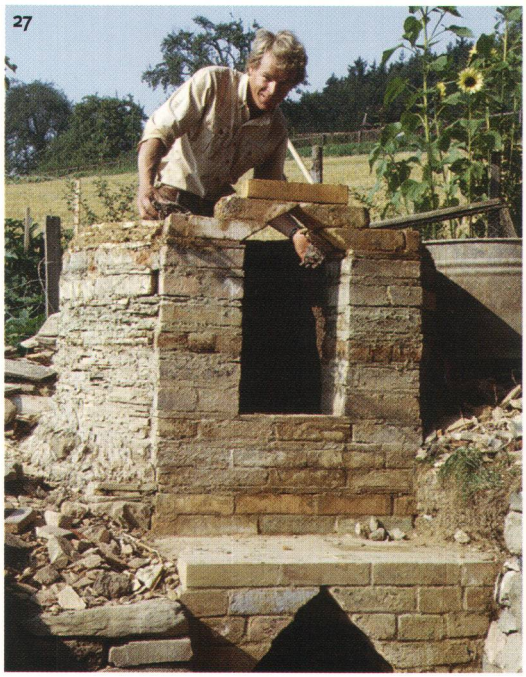
Costruzione della fornace per la cottura in atmosfera riducente.

Abb. 28
Plan des Ofens für reduzierendes Brennen.

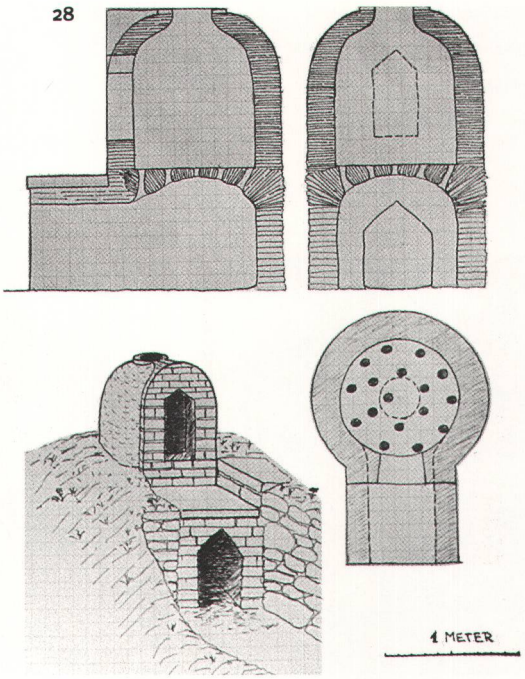
Plan du four à cuisson réductrice.

Piano della fornace per la cottura in atmosfera riducente.

27



28



29

Abb. 29
Gefäss aus griechischem Brand.

Récipient cuit selon la technique grecque.

Recipiente cotto col metodo greco.

Abb. 30
Verschliessen des Ofens für die Reduktionsphase.

Fermeture du four durant la phase de réduction.

Chiusura della fornace per ottenere l'atmosfera riducente.

Dank

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich mit Rat und Tat unterstützt haben. Während der Forschungsarbeiten durfte ich mich an Prof. M. Maggetti, Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Freiburg, wenden. Für die tatkräftige Unterstützung möchte ich mich bedanken bei Irmgard Bauer, Museum für Urgeschichte(n), Zug, und Stefan Hochuli, Kantonsarchäologe, Zug. Den grosszügigen finanziellen Beitrag an die Druckkosten verdanke ich der Ceramica-Stiftung, Basel. Für die Durchsicht des Manuskriptes und hilfreiche Hinweise danke ich Prof. Elisabeth Ettlinger, Brigitte Röder, Alain Vernhet, Gishan Schaeren und meinem Bruder, Mathias Weiss.

Publiziert mit Unterstützung der Ceramica-Stiftung, Basel.

Glossar

Schamotte. Zuschlagstoff (Magerungsmittel), der aus gebranntem und anschliessend zerklopftem Ton gewonnen wird.

Mauken. Der Rohton wird über längere Zeit der Witterung ausgesetzt.

Abdrehen. Die Gefässoberfläche wird in angesteiftem Zustand abgedrechselt (vor allem im Fussbereich).

Kaolinitische Tone. Tone mit dem verbreitetsten Tonmineral, dem Kaolinit. Sie treten so gut wie nie in reiner Form auf. Häufig sind sie mit anderen Tonen verunreinigt, ebenso mit Eisenoxid oder Kalk. Meist sind auch noch andere Abbauprodukte von vulkanischen Gesteinen vorhanden, wie z.B. Quarz oder Feldspat. Kaolinit besteht aus blättchenförmigen, sehr gleichmässig geformten Kristallen, die in Stapeln angeordnet sind.

Illitische Tone. Tone mit dem Tonmineral Illit. Es entsteht durch Verwitterung von Glimmer. Wegen seines hohen Alkaligehaltes besitzt dieser Ton eine niedrigere Sintertemperatur als andere Tone, ausserdem ist er besonders feinkörnig, vor allem wenn er ausgiebig geschlämmt wurde.

Résumé

D*epuis 1974, Johannes Weiss étudie les techniques de fabrication de la céramique romaine durant ses loisirs. En faisant des expériences pratiques, il a pu démontrer que la sélection et la préparation du matériau brut jouent un rôle essentiel. C'est avant tout sur le tour à rotation rapide que les potiers tournaient et décoraient leur production. Pour quelques types de récipients, le montage à la main était cependant encore en usage. Pour fabriquer une terre sigillée de bonne qualité, on utilisait une argile tamisée de composition particulière. L'argile ferreuse devait contenir 10-15% de calcaire très fin. De cette façon, le revêtement engobé, enrichi d'hématite, prenait un éclat optimal. Les «points» blancs caractéristiques des terres sigillées du sud et du centre de la Gaule apparaissaient au cours de la cuisson extrêmement longue dans les immenses fours de potiers. Les modifications de formes sont probablement dictées pour une part non négligeable par des contraintes de rationalisation de la production. Pour se faire une idée des techniques de cuisson, des fours à cuisson oxydante et réductrice ont été reconstruits. A cette occasion, on a pu constater que les fours reconstitués dans les publications ne fonctionnent souvent que sur le papier.*

Riassunto

E dal 1974 che nel suo tempo libero Johannes Weiss indaga le tecniche di produzione della ceramica romana. Mediante esperimenti pratici, egli ha potuto dimostrare l'estrema importanza della selezione e preparazione della materia prima.
L'argilla era modellata e decorata sul tornio a volano, mentre per alcuni tipi di recipienti era ancora in uso la lavorazione a mano. Terra sigillata di buona qualità era costituita da una speciale miscela di tipi d'argilla decantata. All'argilla contenente ossido di ferro andava aggiunto anche il 10-15% di calcare. Si otteneva così una maggior brillantezza del rivestimento, colorato a sua volta con l'apporto d'ematite. I caratteristici inclusi bianchi degli impasti della Gallia meridionale e centrale si formavano nel corso della cottura particolarmente lunga, in forni molto capienti. L'evoluzione delle forme più importanti della terra sigillata si giustifica, almeno in parte, con la razionalizzazione di determinati processi di produzione. Allo scopo di meglio comprendere le tecniche di cottura, sono state realizzate fornaci per cottura in atmosfera ossidante e riducente. Non di rado, nell'ambito di questi esperimenti, si è potuto dimostrare come la ricostruzione di fornaci proposta in determinate pubblicazioni non possa funzionare che in teoria.

30