

schen Schlangenfadengläsern aus Chersonnesos auf der Krim¹⁷ in Verbindung zu bringen. Italische oder gar Kölner Herkunft dürfte m. E. nicht in Frage kommen. Dagegen ist anzunehmen, daß die von Eggers vielleicht mit Recht als östlich angesprochene jüngere Form 189 mit leicht geschweiftem Umriß von Bechern des Typs Koi Dere abzuleiten ist. Wie unsicher unsere Zuweisungen aber noch sind und wie nötig es ist, die Glasfunde vom Boden des Imperiums, sowohl der Ostprovinzen und Südrußlands wie Italiens, systematisch vorzulegen, zeigt die mit Form 185/186 gleichzeitige Form Eggers 187 (Becher aus dünnem entfärbten Glas mit flach eingeschliffenen Ovalfacetten), die F. Fremersdorf nach einem Kölner Exemplar für Kölner Erzeugnisse des 3. Jahrh. hielt¹⁸, die aber sicher frühkaiserzeitlich sind und vermutlich nach Italien gegeben werden müssen¹⁹, wobei auch diese Form wiederum in Karanis in Ägypten belegt ist²⁰. Die weitgehende Übereinstimmung der im Osten und Westen des Reiches gefundenen frühkaiserzeitlichen geschliffenen Gläser setzt der Lokalisierung der Herstellungszentren jedenfalls ganz besondere Schwierigkeiten entgegen.

München.

Joachim Werner.

Der Betriebsversuch an einem Hypokaustum der Saalburg. Unser Wissen vom Bau der Hypokausten ist unvollständig. Die Vorstellung von ihrer Arbeitsweise enthält mehr Lücken und Irrtümer als Richtiges. Die geisteswissenschaftlichen Verfahren der reinen Archäologie und ihrer Nachbargebiete können diese Lücken nicht schließen. Antwort auf viele, selbst grundsätzliche Fragen war nur vom Experiment zu erhoffen. Deshalb unternahm ich es, in Zusammenarbeit mit dem Saalburgmuseum einen solchen Versuch anzustellen. Er wurde durch Hergabe eines umfangreichen Instrumentariums von der Firma Hartmann & Braun AG, Frankfurt, unterstützt. Aufgabe war, den Heizvorgang an einem in antiker Weise betriebenen Hypokaustum mit modernen Mitteln exakt messend aufzunehmen. Dazu wurde eine um 1900 rekonstruierte Heizanlage auf der Saalburg ausersehen¹.

In der Nordwestecke der Principia des Saalburgkastelles befindet sich ein etwa 4 : 5 m großer Raum von 3 m Höhe. Über der Zimmerdecke sitzt ein Giebeldach, so daß zwischen beiden ein niedriger Dachbodenraum entsteht. Das Hypokaustum ist im Lichten 0,60 m hoch, der Betonestrich einschließlich der Unterschicht von lateres bipedales 0,20 m stark. Es ist die übliche suspensura auf Pfeilern. Das Schürloch sitzt wie immer außerhalb des Baues. Es ist gewölbt und mißt 0,40 : 0,57 m im Lichten. Die Zungen sind wie häufig bis weit in das Hypokaustum hinein vorgezogen. Diese Rekonstruktion, auf den ergrabenen Resten basierend, dürfte unanfechtbar sein.

Anders die Wände. Sie sind ringsum tubuliert. Die tubuli haben das übliche Normformat. Die Hohlstränge verlaufen wie immer senkrecht. Sie liegen unter dem 2 cm starken Innenputz und sind oben unter der Zimmerdecke oder den Fensterbänken geschlos-

¹⁷ Izvestija Imp. Arch. Komm. 2, 1902, 27 Abb. 27 und 42, 1911, 90 Abb. 31.

¹⁸ Fremersdorf, Die Denkmäler des röm. Köln 1 (1928) Taf. 38, 1.

¹⁹ Vgl. auch ein Stück aus der Gegend von Hartberg in Steiermark (Mus. Graz Inv. 2122) und eines aus Muralto im Tessin, Liverpool unten Grab 17 (C. Simonett, Tessiner Gräberfelder [1941] Taf. 12, 3).

²⁰ D. B. Harden, Karanis Taf. 15, 409 (etwas schlanker und höher mit kleineren Facetten).

¹ Die zusammenfassenden Ergebnisse werden im Saalburgjahrbuch 12, 1953 niedergelegt werden. Dort werden auch die erforderlichen Schrifttumsangaben gebracht. Die ingenieurmäßigen Berechnungen aus mehreren tausend Meßzahlen wird die Zeitschrift „Heizung, Lüftung, Haustechnik“ des VDI-Verlages aufnehmen.

sen. Zehn gleichmäßig längs der Wände verteilte Stränge bilden eine Ausnahme. Sie durchstoßen die Zimmerdecke, öffnen sich in den Dachbodenraum und sollen als Abzüge dienen. Dieser Teil der Rekonstruktion ist fehlerhaft. Wohnräume hatten, wenn überhaupt, nur in Ausnahmefällen Hohlwände. Zehn Abzüge sind zuviel. Eine Stube von 4 : 5 m hatte vielleicht in jeder Ecke einen, im ganzen also 4, höchstens 6 Tubulusschornsteine. Daß sie im Dachboden endeten, ist schon wegen der Feuersgefahr unwahrscheinlich. Vermutlich führten die römischen Schornsteine in Deckenhöhe waagrecht ins Freie. Für unseren Versuch waren diese Fehler nicht unwillkommen. Sie ermöglichten uns, die Wirkung der angeblichen Wandheizung zu prüfen. Die Vielzahl der Abzüge gestattete es, die Lenk- und Regulierbarkeit der Feuerführung zu untersuchen. Der Versuch wurde mit jeweils nur 4 verschiedenen von den 10 Schornsteinen gefahren. Er lief über 5 Tage, vom 27. Dezember 1951 bis zum 1. Januar 1952. Die Außentemperatur lag bei leichtem Schneewetter um 0° herum. Verfeuert wurde Buchenholzkohle. Deren Verbrauch belief sich auf 25 kg je 24 Std. Die Raumwärme erreichte nach anderthalb Tagen 22° und blieb so ohne Schwankung.

Das Schürloch wurde stets mittels einer Blechplatte ganz geschlossen gehalten. Trotzdem enthielten die Abgase schon im Praefurnium nur 2 bis 3 % CO₂, d. h. etwa 10 fachen Luftüberschuß. Dementsprechend war die Rauchgastemperatur bereits zwischen den Zungen des Praefurniums und unter der suspensura selten höher als 80°. Im Austritt der Abzüge lag sie bisweilen unter Zimmertemperatur. Das geringe Temperaturgefälle erzeugt nur einen minimalen Unterdruck. Obwohl wir ein Feinstinstrument mit einer Ablesegenauigkeit von $\frac{1}{100}$ mm WS benutzten, konnte wegen gewisser physikalischer Erschwernisse der Zug nicht mehr zahlenmäßig gemessen werden. So gering, ja fast unmerklich war er. Gerade recht, um einen „*ignis languidus*“ (Stadius) zu erzeugen. — Die Oberflächentemperatur des Fußbodens war örtlich ungleich, lag aber immer zwischen etwa 35 und 25°. Also überall über Raumtemperatur. Der ganze Fußboden heizt. Anders die Wandtemperaturen. Auch sie waren ungleich und erreichten in Abzugsnähe an einer Stelle 30°. Etwa 85 % der gesamten Wandfläche blieb jedoch dauernd unter Zimmertemperatur, wirkt also nicht wärmeabgebend.

Das Feuer braucht im Dauerbetrieb nur zwei- oder dreimal am Tage und einmal abends beschickt zu werden und vermag so den ganzen Winter über ohne Unterbrechung durchzubrennen. Trotz lebhafter Schwankungen der Rauchgastemperaturen zeigte die Zimmertemperatur Tag und Nacht eine verblüffende Gleichmäßigkeit.

Das Gesamtbild des Versuches offenbart eine Wirkweise der römischen Heizung, die grundsätzlich von dem heutigen Verfahren verschieden ist. Die heutigen Zimmeröfen oder Sammelheizungen arbeiten mit kleinen Heizflächen von wenigen m² und hohen Temperaturen der Heizflächen von 60 bis 500°. Bei den Pfeilerhypokausten ist es umgekehrt. Der Fußboden unseres Saalburghypokaustums stellt eine Heizfläche von 4 : 5 = 20 m² dar, erreicht aber nur eine Oberflächentemperatur von 25 bis 35°. Dieser Unterschied prägt sich deutlich in der Raumatmosphäre aus. Das Temperaturfeld ist nahezu homogen. Dadurch ist die Raumluft frei von Konvektionsströmungen und Zugscheinungen. Die verbrannten und versengten Staubteilchen, die bei Ofen- und Dampfheizung die Luft als trocken erscheinen lassen, weil sie die Schleimhaut reizen, gibt es infolge der niedrigen Heizflächentemperatur nicht. Die Atmosphäre wird subjektiv angenehm als angewärmte Frischluft empfunden, als *saluberrima* (Plinius). Infolge der Außenfeuerung ist sie außerdem geruch- und dunstfrei. Die Fußbodenwärme von im Mittel 27° war auch uns Bestiefelten angenehm. Für den antiken Menschen, der keine Strümpfe trug und im Haus wohl mitunter barfuß ging, muß sie ein prachtvolles Wohlgefühl erzeugt haben.

Die Wesensverschiedenheit gegenüber den heutigen Feuerungen beruht vorwiegend auf dem erstaunlich hohen Luftüberschuß (nur etwa 3 % CO₂ gegenüber heute 10...12 %)

in Verbindung mit ungewöhnlich niedriger Rauchgasgeschwindigkeit unter der *suspensura*. Das äußere Erscheinungsbild ist eben der von Statius offenbar überraschend richtig gekennzeichnete *ignis languidus*. Für eine Feuerung mit 3% CO₂ hätte der moderne Fachmann das Verdammungsvorurteil der Unwirtschaftlichkeit. Es scheint jedoch so, daß die römischen Ingenieure in mehrhundertjähriger Entwicklung es gelernt haben, alle Faktoren, nämlich Heizfläche, Geschwindigkeiten, Zug und Temperaturen auf den Luftüberschuß einer Holzfeuerung so richtig abzustimmen, daß dennoch eine befriedigende wärmewirtschaftliche Ausnutzung zustande kam. Beweiskraft besitzt dieses Urteil natürlich erst im technischen Zahlenkleide. So wird es in dem Hauptbericht erscheinen.

Wie wir sahen, übt die Wandtubulatur keine primäre Heizwirkung aus. Ich habe die Funde von Wandtubulaturen auch statistisch geprüft. Diese Prüfung lieferte bisher das überraschende Ergebnis, daß Tubulatur gesichert fast nur in Baderäumen vorkommt, während Wohnräume fast ausschließlich mit einfacher Fußbodenheizung ausgestattet sind. Meine Statistik ist unvollständig. Wer gegenteilige Funde anführen kann, würde durch deren Mitteilung der Schriftleitung und mir einen Dienst erweisen. Wir bitten ihn darum. — Ist aber die Wandtubulatur eine Besonderheit der Bäder, so muß sie einen durch den Badebetrieb bedingten Zweck gehabt haben. In diesem Kurzbericht kann nicht begründet werden, daß und warum dieser Zweck nur in der Wärmedämmung gegen Schwitzwasserbildung bestanden haben kann. Jedenfalls dürfte der Vorstellung von einer Wand-Heizung durch den Versuch die Berechtigung entzogen sein.

Ähnlich ist es mit der alternierend betriebenen Luftheizung. Einige Bearbeiter glauben sie in einigen Funden zu erkennen. Keine dieser Deutungen ist zwingend. Ihr beweiskräftiger Bestandteil wären allein die Auslaßklappen oder -verschlüsse, die *angustae fenestras* des Plinius. Von solchen wurden bisher aber nördlich der Alpen nicht ein einziger gefunden. Ich halte deshalb die Annahme des alternierenden Luftheizbetriebes in unserem Klima für bedenklich. Denn auch dafür bildet der Versuch eine Stütze. Er hat die kontinuierlich als Dauerbrenner betriebene Fußbodenheizung als eine Einrichtung erwiesen, die für unser nördliches Klima an Behaglichkeit, Hygiene und an Bequemlichkeit der Bedienung ihresgleichen sucht. Warum sollte man dann in Gallien und am Limes das nur auf südliche Winter zugeschnittene alternierende Heizsystem anwenden? Ein System voller Nachteile, das im Norden allenfalls für die Übergangszeiten des Jahres geeignet wäre.

Es ist nicht wohlgetan, hypokaustum gleich hypokaustum zu setzen. Sicher hat man die verschiedenen Systeme auch nach ihrem zeitlichen Auftreten zu unterscheiden. Sergius Orata, ein geschäftstüchtiger Unternehmer um 100 v. Chr., hat die pensiles, die unterheizten Wannen, in die Praxis eingeführt. Vitruv, um Chr. Geb., kannte dann schon die hypokaustierten Bäder und Wärmedämmung ihrer Gewölbe. Für Seneca waren die *tubi parietibus impressi* das Neueste. Aus dieser Zeit stammen auch des Plinius Briefe, die als Schilderung der alternierenden Beheizung gedeutet werden. Aus dieser Zeit auch die wenigen kongruenten italischen Funde. Unsere Saalburanlage aber ist wie die vielen ihresgleichen um mehr als 100 Jahre jünger. In dieser Zeit eilte der technische Fortschritt nicht langsamer als in der Vergangenheit weiter. Insbesondere paßte er die Heizanlagen den Verhältnissen des Nordens an und erreichte schließlich einen Höhepunkt der Entwicklung und Vollkommenheit, mit dem die frühen Heizungen aus der Republik nur noch die allgemeinen Bauelemente gemeinsam haben. Und so mag es möglicherweise überhaupt ein Anachronismus sein, wenn einige in den späten Limesbauten die alternierende Betriebsweise aus der Zeit des Plinius wiedererkennen wollen.

Ähnliches sagen uns die Kanalheizungen. Sie sind wärmetechnisch vorerst ganz undurchsichtig. Auch sie treten erst in der Limesperiode und allein im Norden auf. Meist in Gesellschaft der hochentwickelten Pfeilerheizungen; oft in höchst ingenieuser Hinter-

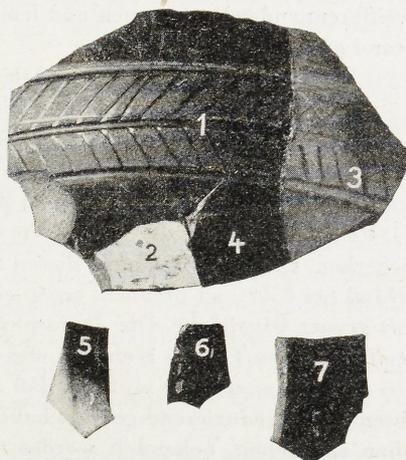
einanderschaltung mit diesen. In italischen Schriftquellen und Funden der klassischen Zeit fehlen sie noch ganz. Demnach dürfte kaum ein Zweifel bestehen, daß wir es hier nicht nur mit einer zeitlichen, sondern auch entwicklungsmäßigen Aufeinanderfolge zu tun haben.

Bochum.

Fritz Kretzschmer.

Versuche über die Rekonstruktion der „Terra nigra“. Während über die Untersuchung und Nachbildung der als „Terra sigillata“ bekannten römischen Töpferwaren eine große Anzahl von Arbeiten¹ veröffentlicht wurde, ist bis jetzt über die Zusammensetzung und die Nachbildung der als „Terra nigra“ bekannten provinziäl-römischen Keramiken der älteren Kaiserzeit so gut wie nichts bekannt geworden.

Von den wenigen in der Literatur angegebenen Bemerkungen über „Terra nigra“ sei hier die von R. Forrer² angeführte Beschreibung im Wortlaut wiedergegeben: „Die römische Terra nigra besteht aus einem im Ofen blaugrau gebrannten Ton, dessen Oberfläche mit einer schwarzen Politur versehen ist. Ihre Formung ist die der frühen Terra sigillata, ihre Epoche die ältere Kaiserzeit. Später im 2. und 3. Jahrh. tritt allmählich an ihre Stelle die außen schwarz lackierte, innen aber rotgebrannte Tonware, andererseits findet die graue Erde, aber ohne schwarze Politur, während der Völkerwanderungszeit ihre Fortpflanzung.“



Untersuchung eines provinziäl-römischen „Terra-nigra“-Scherbens.

In vorliegendem Falle wurden die Versuche an einem Scherben gemacht, der in der Gegend von Heidelberg gefunden wurde und nach Aussehen und Gestaltung für die provinziäl-römische „Terra nigra“ typisch ist (Abb. 1). Der Scherben ist durchgehend grauschwarz gefärbt. Auf der Außenseite ist er tiefschwarz glänzend. Der Bruch zeigt, daß die tiefschwarze Schicht in einer Dicke von etwa 1/10 mm auf dem grauschwarzen Scherben aufliegt. Es handelt sich also um einen Beguß (Engobe), der schwarz gefärbt wurde und nach dem Auftragen, also vor dem Brand durch Polieren seinen Glanz erhalten hat. Das an dem Bruchstück angebrachte Strichornament ist mit einem Modellierholz in den lederharten Scherben eingedrückt worden. Bei der Prüfung auf Härte ließen sich Scherben und Beguß gerade noch mit Stahl ritzen. Sie weisen also die Härte 4 der Mohs'schen Härteskala auf. Im Verlauf der weiteren Untersuchungen wurde ein Stück des Scherbens im elektrischen Ofen bei 1000°C oxydierend gebrannt (Abb. 1, 2). Dabei ging die grauschwarze Farbe des Scher-

Abb. 1. Provinziäl-römische Terra nigra. 2 bei 1000°C oxydierend gebrannt. 3 bei 850°C unter Luftabschluß in Muffel gebrannt. 4 bei 850°C unter Luftabschluß in Holzkohle gebrannt. 5 Rekonstruktion der „Terra nigra“ bei 850°C in Holzkohle gebrannt, unterer Teil ragte aus der Holzkohle heraus. 6. 7 Rekonstruktionen der „Terra nigra“ bei 850°C in Holzkohle gebrannt. M. 1:2.

¹ Schumann, Ber. d. Deutsch. Keramischen Ges. 23, 1942, 408. — Über Oberflächenbehandlung von Keramik vgl. auch Man 53, 1953, 41 Nr. 58 mit Hinweis auf die Arbeiten von Kelso und Thorley, Ann. Amer. School of Oriental Research 21 u. 22.

² Reallexikon der prähist., klass. u. frühchristl. Altertümer (1907) 809 ff.