

Die Heizung der Aula Palatina in Trier

Ein Versuch ihrer Deutung und der Aufklärung ihrer Betriebsweise

Von Fritz Kretzschmer, Düsseldorf-Oberkassel

1. Die Aufgabe. Seit längerem wußte man, die Aula, meist Basilika genannt, war hypokaustiert, hatte also eine Fußbodenheizung. Das war nichts Ungewöhnliches. Man konnte sich begnügen, das zur Kenntnis zu nehmen.

Vor 3 Jahren (1952) wurde zum Zweck des Kirchenaufbaues der rezente Innenputz des 18. Jahrhunderts entfernt. Das römische Mauerwerk wurde freigelegt. Was zum Vorschein kam, war unerwartet. Die ja noch vollständig römische Westwand zeigte sich bis zu einer Höhe von 8 m bedeckt mit einem gleichmäßigen Netz von Dübelspuren. Diese wichtige Beobachtung wurde von W. Reusch o. S. 183. 188 beschrieben. Ich verweise auf seine Taf. 20, 2 und 21. Dübellöcher und Lochanordnung gleichen wesentlich denen, wie wir sie beispielsweise in den unvollendeten Zentralthermen von Pompeji zu der Aufnahme der geplanten Tubulatur im Rohbauzustande vor Augen haben. Auch in der Basilika können sie nur als Spuren einer Tubulatur gedeutet werden.

Das war überraschend. Der Fund schien Erkenntnisse, die gerade erst in jüngerer Zeit über Wesen und Zweck der Tubulierung gewonnen waren, ins Wanken zu bringen. Diese Erkenntnisse besagen, daß Tubulierung nur in Bädern vorkommt und daß sie dort nicht zur Heizung (das besorgt der Fußboden), sondern nur als Wärmedämmung zur Verhütung von Schwitzwasserbildung dient. Gewiß sind einige echte Wandheizungen gefunden worden. So in Lauriacum und Carnuntum. Aber eben nur im Ostalpengebiet, und ihre völlig andere Bauart kann mit der Tubulierung der Aula Palatina nicht in Vergleich treten.

Die Frage blieb offen: War diese Tubulierung entgegen allem sonst Bekannten wirklich eine echte Wandheizung, also ein neuartiger und einmaliger Fall? Als Reusch mir freundlicherweise diese Entdeckung zeigte und wir vor der Westwand standen, mußten wir Beide wohl jene Frage mit einem „Non liquet“ beantworten. Nur eine wärmetechnische Nachrechnung kann die Antwort geben. Sie sei hier vorgelegt.

2. Die Grundlagen. Reusch hat oben den Bau beschrieben. Ich fuße darauf. Besonders verweise ich auf seine Abb. 2 und seine Argumente für die Richtigkeit ihrer Ergänzung. Sie zeigt die Anordnung der Praefurnien, das Ausmaß der Tubulierung und die Zahl und Lage der Abzüge. Wichtig ist auch die dortige Abb. 3. Diese Verhältnisse lege ich zu Grunde.

Die Rechnung soll beweisen, ob die Wandtubulierung tatsächlich eine Wandheizung gewesen ist. Um das zu beweisen, tue ich so, als ob das, was ich beweisen will, bereits bewiesen sei, d. h. ich führe die Rechnung von vornherein unter der Annahme, daß die Tubulatur als Heizfläche arbeitet. Damit sie als Heizfläche arbeitet, muß sie von den Heizgasen gleichmäßig in allen Strängen durchströmt werden. Das ist nur möglich, wenn die Tubulusstränge nicht wie

in den Bädern oben geschlossen sind. Vielmehr müssen sie durch eine obenaufliegende waagerechte Verbindung ähnlich unseren Rippenheizkörpern zusammengeschlossen sein. Von dieser Querverbindung aus nehmen dann die in Reuschs Abb. 3 sichtbaren, schräg aufwärts führenden Abzüge 10 ihren Ausgang. Die Querverbindung ist also in Reuschs Abb. 3 etwa in dem Knick zwischen Tubulusstrang und Abzug zu denken (vgl. o. S. 189).

Kommt unter dieser Annahme bei der Rechnung etwas Vernünftiges heraus, so darf angenommen werden, daß die Annahme richtig war. Der gesuchte Beweis wäre erbracht.

Die Annahme der Querverbindung erscheint willkürlich. Tatsächlich ist sie das nicht. Es gibt Vorbilder. Ein solches wurde, wenn auch unter anderen Verhältnissen, in einem Bad in Bluelisacker¹ gefunden. Eine Parallele liefert auch ein neuerer, noch nicht veröffentlichter Fund in Enns (Lauriacum). Seine Kenntnis verdanke ich einer Mitteilung von Prof. v. Jenny und Dr. Schleiermacher. Dort gibt es eine reine Wandheizung ohne Hypokaust. Auch hier ist die Tubulatur nicht bis oben erhalten. Aber es ist dort ein Zwangsschluß, daß die Hohlwand vom Abgas durchströmt wurde. Mithin muß sie oben eine Querverbindung gehabt haben. Ähnliche Funde sollen auch früher schon in Carnuntum gemacht worden sein². Ich habe die Quelle nicht eingesehen.

3. Der Gedankengang der Rechnung. Man beschaue *Abb. 1*. In einem Schema sind von links nach rechts die Abschnitte des Rauchgasweges aneinandergereiht. Das Heizgas entsteht durch Verbrennung im Schürloch (Praefurnium) mit der Eintrittstemperatur t_e . Es durchzieht die Hypokaustis. Dabei gibt es die Wärmemenge Q_1 durch den Fußboden in den Hallenraum und sinkt dadurch in seiner Temperatur von t_e auf t_{ii} . Das drückt sich in der schräg von t_e nach t_{ii} fallenden Linie aus. t_{ii} ist die Temperatur des Abgases im Übergang von der Hypokaustis in die Tubulatur. Also dort, wo in Reuschs Abb. 3 der unterste Tubulus sitzt. Die Temperatur in der Hypokaustis ist natürlich nicht an allen Stellen gleich hoch. Ihr Mittelwert sei t_{mh} genannt und durch die Angabe in *Abb. 1* definiert.

Aus der Hypokaustis treten die Abgase in die Hohlwände. Hier geben sie die Wärmemenge Q_2 ab und fallen dadurch von t_{ii} auf die Austrittstemperatur t_a . Mit t_a gehen sie in die schräg aufsteigenden Abzüge (10 in Reuschs Abb. 3) und entweichen von da ins Freie. Dabei haben sie noch den Wärmeinhalt Q_3 .

Ich stelle nun die Rechenaufgabe: Es soll das Schicksal des Heizgases, im Zahlenkleide dargestellt durch die verschiedenen Temperaturen und Wärmemengen, auf dem Wege vom Praefurnium bis zum Schornsteinaustritt, also von t_e bis t_a verfolgt werden.

Maß- und Stoffgrößen sind bekannt. Die Aufgabe scheint also ein Gleichungsgebilde mit jeweils nur einer Unbekannten zu sein. Leider scheint es nur

¹ Mitt. d. Antiqu. Ges. Zürich 15, 1864, 123; Abb. auch in Saalburg-Jahrb. 12, 1953, 10 und ebda. 20 beschrieben.

² RLiÖ. 6, 1905, 87. 88; 8, 1907, 36ff.

so. Denn das Schicksal des Rauchgases hängt nicht nur von den Maß- und Stoffgrößen ab, sondern auch von der Eintrittstemperatur t_e und damit der Zusammensetzung des Rauchgases im Feuer. Diese ist gegeben durch den Luftüberschuß, mit dem der antike Heizer gearbeitet hat. Und gerade diesen kennen wir nicht. Wir wissen nicht sicher, wie dicht geschlossen er die Tür vor dem Praefurnium zu halten pflegte. Dadurch wird die Rechenaufgabe zu einer Gleichung mit 2 Unbekannten. Jeder weiß, solche Gleichung ist unlösbar.

Ich gehe deshalb folgenden Weg. Ich ermittle die gesuchten Temperaturen usw. für alle möglichen Luftüberschüsse des Feuers. Durch sachverständig ab-

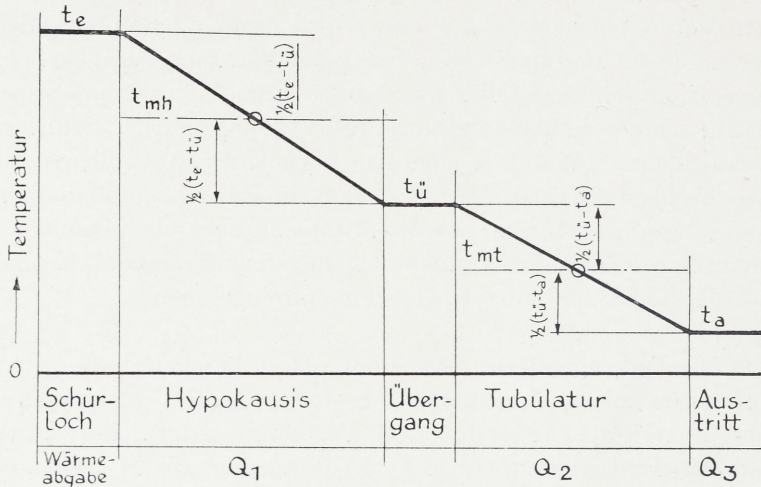


Abb. 1. Bezeichnung und schematischer Verlauf der Abgastemperaturen.

schätzende Beurteilung ist dann aus der Gesamtheit aller theoretisch denkbaren Möglichkeiten der Bereich herauszuschneiden, der als der wahrscheinlich wirkliche zu gelten vermag.

Die Berechnung, die vom Luftüberschuß ausgeht, ist mathematisch un bequem. Ich verfare deshalb etwas anders. Mit dem Luftüberschuß ändert sich das Verhältnis der Wärmeabgabe Q_2 der Tubulatur zu der Abgabe Q_1 des Fußbodens. Dieses Verhältnis nenne ich

$$\varphi = \frac{Q_2}{Q_1}$$

Damit führe ich die Rechnung durch alle möglichen Werte zwischen $\varphi = 0$ und $\varphi = 1$. Das rechnet sich bequemer. $\varphi = 0$ ist der Grenzfall, daß nur der Fußboden heizt. $\varphi = 1$ ist der Fall, daß Boden und Wand zu gleichen Teilen am Heizerfolg beteiligt sind. Zwischen beiden muß die Wirklichkeit gelegen haben.

4. Die Zahlenrechnung. Sie füllt viel Papier. Für den Archäologen ist sie unwichtig. Ich verschweige sie deshalb und lege sie im Archiv des Trierer Landesmuseums nieder. Dort soll sie, falls mathematische Prüfung und wärmetechnische Kritik begehrt werden, auf Anforderung zugänglich sein.

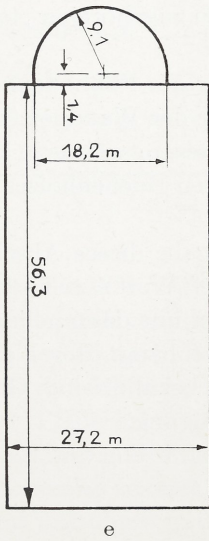
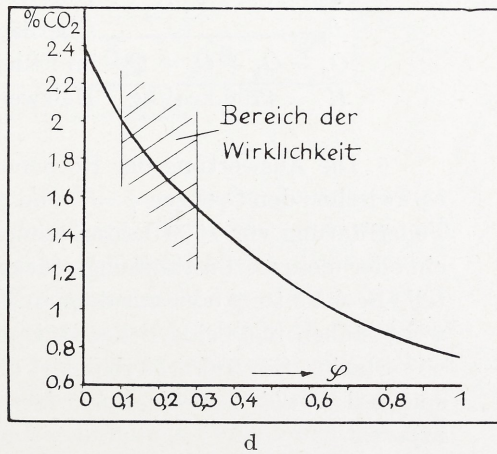
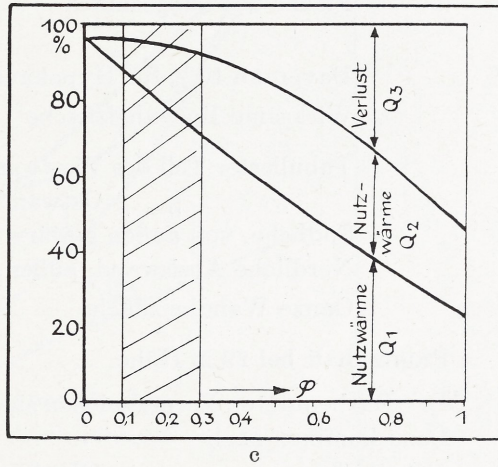
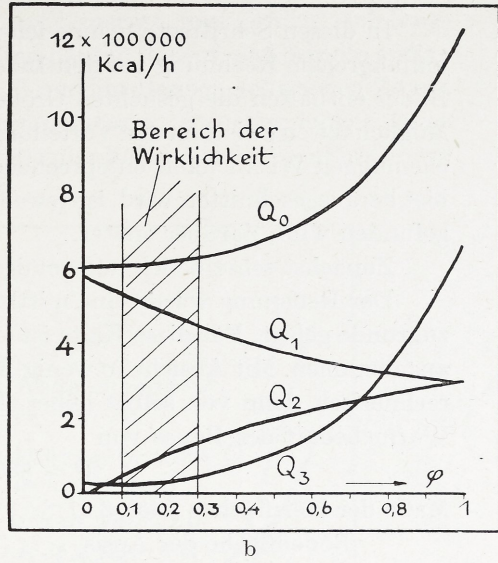
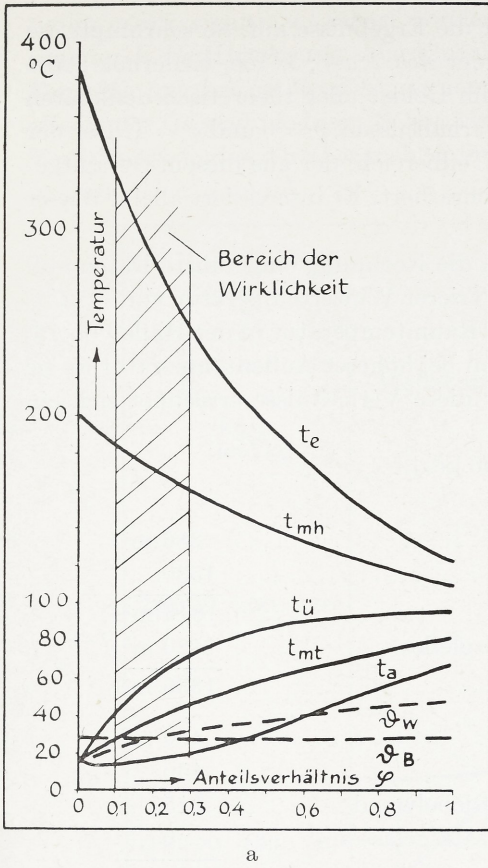


Abb. 2. a Die Temperaturen. b Die Wärmemengen. c Die Wärmebilanz. d Kohlen- säuregehalt des Abgases. e Innenmaße der Aula Palatina.

In diesen Schriftsatz nehme ich nur die Ergebnisse auf. So schrumpft die umfangreiche Rechnung auf den Inhalt der *Abb. 2, a-e; 3*. Ich wiederhole: Alle Bilder enthalten die gesuchten Größen im Gebiet aller theoretisch denkbaren Möglichkeiten zwischen den Verteilungsverhältnissen $\varphi = 0$ und $\varphi = 1$. Der der ehemaligen Wirklichkeit entsprechende Teilbereich, der aus diesem Gesamtgebiet herausgeschnitten wird, ist jeweils schraffiert. Er interessiert allein. Wie er gefunden wird, darüber später.

Zunächst schreibe ich noch einige in die Rechnung eingeführte Daten auf.

Der Rechnung wurde eine mittlere Trierer Wintertemperatur von $+ 4^{\circ} \text{C}$ zugrunde gelegt. Für diese Kälte ist eine Raumtemperatur in der Halle von 15° angenommen. Mit Absicht so wenig. Denn bei höherer Außentemperatur ist sie rechnerisch dann von selbst höher. Für diese Verhältnisse errechnet sich ein Wärmebedarf des Baues von

$$Q = 580\,000 \text{ kcal/h.}$$

Maße der Heizflächen (*Abb. 2, e*):

| | |
|--|---------------------|
| Bodenfläche der Apsis | 286 m ² |
| Fläche des Langschiffes | 1530 „ |
| | <hr/> |
| | 1816 m ² |
| Davon ab 10% für Hypokaustenpfeiler | 180 m ² |
| Wirksame Bodenheizfläche | <hr/> |
| | 1636 m ² |
| | |
| Tubulierter Teil der Westwand | 450 m ² |
| „ „ „ Ostwand | 450 „ |
| Südliche, von außen gewärmte Giebelwand | 215 „ |
| Nördliche Apsiswand, außer Ansatz gelassen | 0 „ |
| | <hr/> |
| Ganze Wandheizfläche | 1115 m ² |

Rauminhalt bei 29 m Höhe $J = 52\,700 \text{ m}^3$

Die benutzten Formelzeichen sind jeweils in den zugehörigen *Abb.* erklärt.

Dazu kommen noch

| | |
|----------------------------|---|
| ϑ_B | Oberflächentemperatur des Fußbodens |
| ϑ_w | Oberflächentemperatur der Wandheizflächen |
| $Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3$ | im Feuer entbundene Gesamtwärme in kcal/h |
| $H = 4700 \text{ kcal/kg}$ | Heizwert des verfeuerten Buchenholzes. |

5. Die Auswertung der Rechenergebnisse. Aufgabe dieses Abschnittes ist es, zwischen den Grenzen $\varphi = 0$ und $\varphi = 1$ denjenigen Wert φ zu finden, der der Feuerführung vor 1600 Jahren entspricht. Das kann nur dann gelingen, wenn ein oder mehrere Bestimmungsstücke, von denen φ abhängt, durch experimentelle Beobachtung oder aus dem antiken Schrifttum bekannt sind. Glücklicherweise stehen uns beide Erkenntnisquellen zur Verfügung.

Statius, *Silvae I 5, 58* schildert die Art der Feuerführung unter einem Ballspielsaal ... *ubi languidus ignis inerrat / aedibus et tenuem volvunt hypocausta vaporem.*

Also ein gelindes Feuer, ignis languidus, mit geringer Gasgeschwindigkeit, also nicht übermäßiger Gasmenge V (*Abb. 3*). Denn das mildtemperierte Abgas,

tenuis vapor, zieht nicht scharf, sondern „irrt“, inerrat, und „wälzt“ sich langsam durch die Hypokausa. Alle Einzelheiten deuten darauf, daß wir die antike Feuerführung bei mäßigen Abgasmengen V und im Bereich schwachen Zuges, also in der Gegend niedriger Schornsteintemperatur t_a zu suchen haben. Diese Verhältnisse finden wir aber mehr in der Nähe der linken als der rechten Grenze unserer Abb. 2, a und 3.

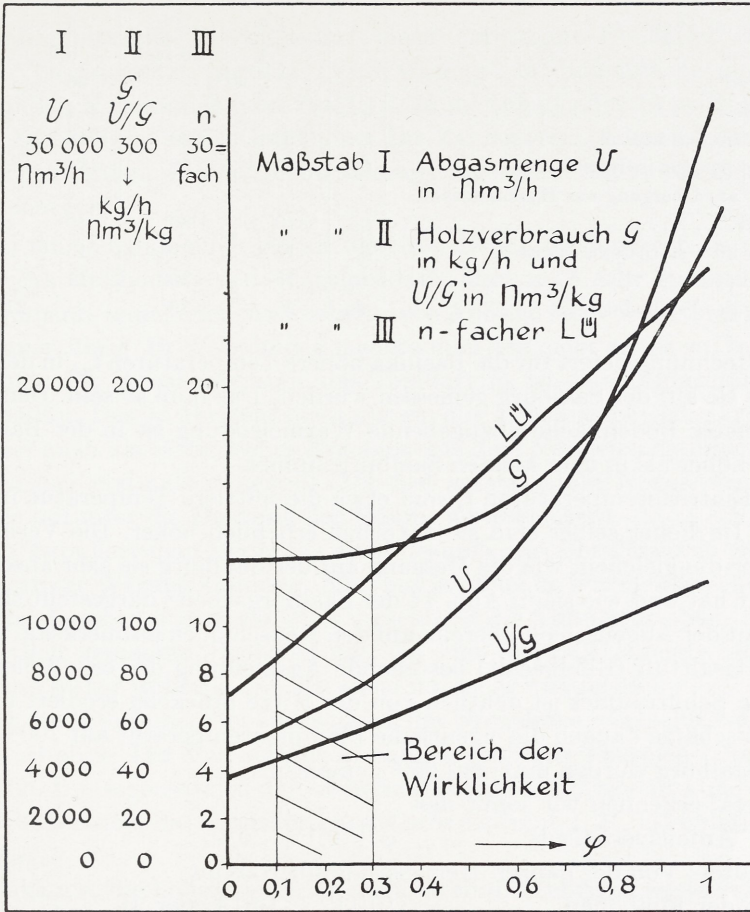


Abb. 3. Gasmengen und Holzverbrauch.

Das gleiche Bild malen Martial, Epigr. VI 42, 15 ... *Et flamma tenui calent ophitae* „und durch gelindes Feuer wärmt der Marmorfußboden“ und nochmals Statius, Silvae I 5, 44 ... *parcius imperat ignis* „schonender waltet das Feuer“.

Unsere andere Wissensquelle ist der Betriebsversuch, dem ich eine wieder-aufgebaute Pfeilerheizung auf der Saalburg unterwerfen konnte³. Vergleicht man die damaligen Meßwerte mit den Abb. 2, a-e; 3, so findet man die gesuchte Übereinstimmung in dem Bereich $\varphi = 0,1$ bis $0,3$. Für den Vergleich sind CO_2 -Gehalt und Luftüberschuß als ursächliche Bestimmungsstücke besonders maß-

³ Kretschmer, Hypokausten, Saalburgjahrbuch 12, 1953.

gebend. Die Vergleichszahlen von Saalburg und Aula Palatina sind in *Tab. 1* zusammengestellt.

Tabelle 1

| Betriebsgröße | | Saalburgversuch gemessen | Aula Palatina errechnet für $\varphi = 0,1 \dots 0,3$ |
|--|---------------|-----------------------------|---|
| Kohlensäure im Abgas | | 2,6 ... 1,4% | 2 ... 1,5% |
| Luftüberschuß | | 7,4 ... 16-fach | 8,6 ... 12-fach |
| Wirkungsgrad | | 90% | 96 ... 92% |
| Abgasverlust | Q_3 | 10% | 4 ... 8% |
| Temperatur im Schürraum | t_e | 320 ... 220° | 348 ... 248° |
| Mittlere Temperatur in Hypokaüsis | t_{mh} | 120 ... 90° | 184 ... 159° |
| Temperatur am Übergang aus Hypokaüsis in Hohlwand | $t_{\bar{u}}$ | 40 ... 60° | 40 ... 61° |
| Temperatur im Schornsteinaustritt | t_a | 15 ... 22° | 13 ... 19° |
| Wandtemperatur | ϑ_w | 19 ... 30° | 21 ... 32° |
| Temperatur des Fußbodens | ϑ_B | 25 ... 35° | 27° |

Die Rechnung liefert für die Basilika höhere Temperaturen t_{mh} in der Hypokaüsis als sie auf der Saalburg gemessen wurden. Das muß so sein. Denn die je Quadratmeter Bodenfläche abzugebende Wärmeleistung ist in der Basilika ja merklich höher als in dem kleinen Saalburgzimmer.

Die Eintrittstemperaturen t_e sind etwa die mittlere Temperatur im Praefurnium. Im Feuer selber sind sie natürlich erheblich höher. Die Verhältnisse sind sicher die gleichen, wie die Messung auf der Saalburg sie sehr anschaulich aufgeklärt hat und wie sie in *Abb. 14* der Saalburgarbeit⁴ dargestellt sind. Damit stimmt der Augenschein überein, auf den Reusch mich aufmerksam machte. Die aus Basalttuff (Eifelbasalt) bestehende Auskleidung des erhaltenen nord-westlichen Schürraumes ist deutlich von der Hitze bröckelig erodiert und verfärbt. Ich schätze danach die eigentliche Flammentemperatur auf 700 bis 800°. Auf der Saalburg wurden maximal 650° gemessen.

Als real erkennen wir somit das

Anteilsverhältnis $\varphi = 0,1 \dots 0,3$.

Das bedeutet: Von der ganzen Heizleistung übernimmt

der Fußboden 10/11 ... 10/13 oder 91 ... 77%

die Hohlwand 1/11 ... 3/13 „ 9 ... 23%.

Ist der Anteil der Hohlwand auch nicht sehr beträchtlich, so lehrt die Rechnung doch zweifelsfrei, daß er nicht entbehrt werden kann. Für reine Fußbodenheizung, also $\varphi = 0$, verlangt *Abb. 3* einen 7-fachen Luftüberschuß und dementsprechend *Abb. 2, d* einen CO_2 -Gehalt der Abgase von 2,5%. Auf Grund des hierin sehr sicheren Saalburgexperimentes ist das bei einer antiken Oberluftfeuerung unmöglich erreichbar. Es bleibt dabei: Kleiner als 0,1 kann das Wirkverhältnis von Wand zu Boden nicht gewesen sein. Das bedeutet: Die tubulierte Wand ist echte Heizfläche. Sie hat bei der Raumerwärmung mitgewirkt. Wir haben in der Aula Palatina den einzigartigen Fall eines Hypokaüstums mit kombinierter echter Wandheizung vor uns. Das ist der gesuchte Beweis.

⁴ Kretzschmer a. a. O.

Die Erkenntnis zieht Folgen. Warum ist die Aula ein einzigartiger Fall?

Für die durchschnittliche Betriebsweise $\varphi = 0,2$ entnehmen wir der *Abb. 2, b* eine Wärmeleistung des Fußbodens von $Q_1 = 480\,000$ kcal/h. Der Fußboden hat 1636 m². Somit leistet das Hypokaustum je m²

$$q_1 = \frac{480\,000}{1636} = 294 \text{ kcal/m}^2.$$

Der durchschnittliche Wärmebedarf eines derartigen Gebäudes darf mit 18 kcal/m³ · h angesetzt werden. Dann vermag 1 m² Bodenfläche einen darüberstehenden Kubikinhalt von $294/18 = 16$ m³ Inhalt oder 16 m Höhe zu erwärmen. Diese Höhe heiße Grenzhöhe. Ihr Zahlenwert 16 kann fallweise beträchtlich schwanken. Das tut nichts. Dessen ungeachtet ergibt sich eine grundsätzliche Einsicht:

a) Ist ein Gebäude niedriger als die Grenzhöhe, so übersteigt die mögliche Leistung des Fußbodens den Wärmebedarf. Man muß sehr sparsam feuern (*parcius imperat ignis*) oder man behält noch Abhitze zur Verwertung in Nachschalträumen übrig. In Wohnungen machte man das nicht selten so. In Bädern ist es häufig. Der Abschwitzraum, das *Tepidarium*, ist dem *Caldarium* immer nachgeschaltet. Das ist übrigens nicht nur ein hier gewonnener Gedankenschluß, sondern sei auch als statistisches Ergebnis aus dem Vergleich zahlreicher Ausgrabungen hier erstmals mitgeteilt. Die fast gesetzmäßige Norm vermag dem Ausgräber mitunter die Deutung der Räume zu erleichtern.

Also: Tubuliert man Bäder, so nicht deshalb, um Heizfläche zu gewinnen, sondern nur zur Wärmedämmung. Man hat ja ohnehin Wärmeüberschuß. Und entsprechend gestaltet man sie. Man verschließt die Tubulatur oben. Eine erst ganz kürzlich gemachte Beobachtung, die hier erstmals gezeigte *Abb. 4*, erhärtet diese bisher unbewiesene Tatsache nunmehr zweifelsfrei.

b) Ist die Höhe eines Gebäudes gleich der Grenzhöhe, verbleibt keine überschüssige Abhitze. Der Fall scheint in einigen größeren Thermen (auch Trier) vorzuliegen. Im Gegensatz zu den kleineren Thermen (*Tolbiacum*) und Kastellbädern arbeiten dort die Krenckerschen Vorbaderäume I, II, III ohne Abhitzeverwertung.

c) Gebäude, die höher als die Grenzhöhe sind, benötigen echte zusätzliche Wandheizung. Die Grenzhöhe ist beträchtlich. Heizbare Gebäude solcher Höhe sind außer der Aula Palatina nicht erhalten. So kommt es, daß uns die Aula als einzigartiger Fall erscheint.

Trotz ihrer Höhe von 30 m benötigt nach *Abb. 2, c* die Aula nur eine zusätzliche Wandleistung von $9 \dots 23\%$, im Mittel 15% . Das ist wenig. Dafür genügen die früher genannten 1115 m² Wandheizfläche. Deshalb ist, zunächst unerklärlich und absurd anmutend, die 30 m hohe Halle nur 8 m hoch tubuliert. Ein grundsätzlicher Gegensatz zu den Thermen. Wir gewinnen Klarheit. Die Dinge scheiden sich. Wo, wie in Pompeji, die Tubulierung von Thermen noch ganz erhalten ist, deckt sie nicht nur die ganze Wand, sondern setzt sich darüber sogar noch unter dem Deckengewölbe fort. Man beachte das. Ein überzeugenderer Beweis ist nicht denkbar, daß die Hohlwand in Bädern eine ganz andere Funktion als in der Aula zu erfüllen hatte.

6. Der Holzverbrauch. Nach *Abb. 3* betrug der Holzverbrauch im schraffierten Bereich 129 . . . 133 kg/h. Bei dem Saalburgversuch (dortige *Abb. 16*) dauerte das Hochheizen des kleinen Zimmers anderthalb Tage. Die riesige Aula mußte zur Abhaltung eines einmaligen dreistündigen Staatsaktes sicherlich 48 Stunden lang in Betrieb genommen werden. In 48 Stunden verbraucht sie 6400 kg oder 128 Ztr. Holz. Für deren Anfuhr benötigte man 13 Fuhren zu je 10 Ztr. Tragkraft oder 1,5 cbm Laderaum. Stand die Heizung im Dauerbetrieb,

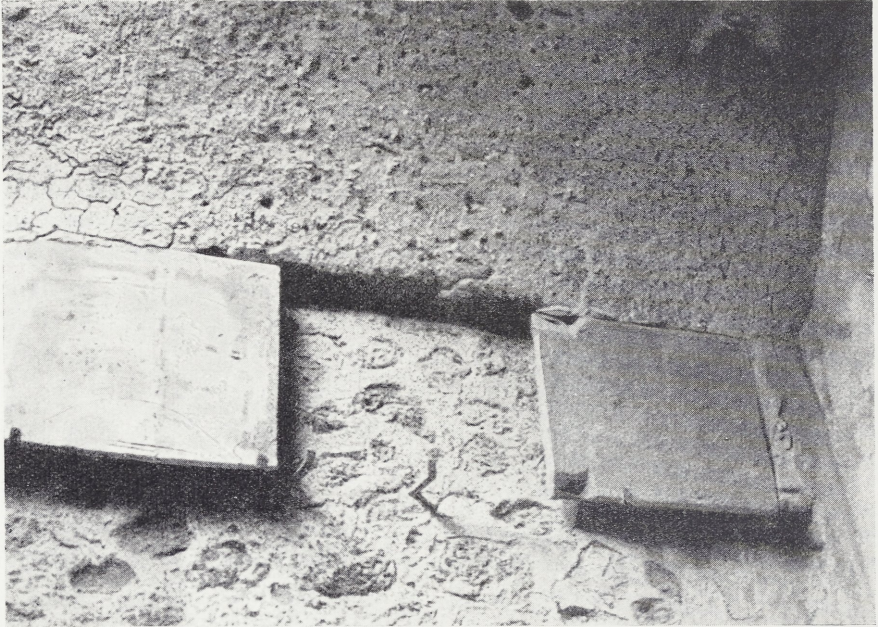


Abb. 4. Hohlwand aus tegulae mammatae vom Bade im Hause des Diomedes in Pompeji. Die oberen Platten sitzen unter dem Gewölbeansatz. Der Bildausschnitt zeigt evident, daß der Hohlraum unter diesem Ansatz aufhörte.

so ergab das einen zwar nicht bedeutenden, aber auch nicht belanglosen Anfuhr- und Ladeverkehr von 6 Fuhren am Tage. Jedenfalls ist er beträchtlich genug, um einen Arbeitshof, auf dem er sich abspielen konnte, unentbehrlich zu machen. Einen solchen Hof müssen wir uns deshalb an der Rückseite, also der Nordseite des Gebäudes denken, wenn er auch durch Grabung dort nicht mehr nachgewiesen werden kann.

Für eine einmalige Staatssitzung mußten, wie gesagt, 128 Ztr. Holz bereitgestellt und gestapelt werden. Dazu war ein Vorraum vor den Praefurnien notwendig, wie er ja überhaupt fast gesetzmäßig zu jedem Praefurnium einer Pfeilerheizung gehört. Übrigens wird diese Gesetzmäßigkeit bei Deutung von Ausgrabungen nicht immer beachtet und ausgewertet.

128 Ztr. Holz in Form von Kloben oder Scheitern bilden einen Stapel von 16 cbm. Das ist ein tüchtiger Haufen. Die Heizungsarräume konnten also nicht zu klein sein. Und da die Aula 5 Schürflöcher hat, mußte das Holz auf sie verteilt werden. Ich denke mir, das geschah in gleicher Weise wie bei

Thermen. Bei Thermen ist es die Regel, die Feuerstellen außen durch einen um die Rückseite und Apsis des Gebäudes herumlaufenden vertieften Bedienungsgang zu verbinden. Er diente dem Verkehr der Heizer, zur trockenen Stapelung des Handvorrates an Brennholz und zu dessen Verteilung an die einzelnen Feuerstellen. Einen solchen Umgang darf man vielleicht auch hinter der Basilika annehmen. Ergraben werden kann er nicht mehr. Der Boden ist hier tief verwühlt.

Der Holzverbrauch erscheint hoch. Deshalb ist es nicht müßig, nochmals auf den Wirkungsgrad von 90% in *Tab. 1* hinzuweisen. Ein Nutzeffekt von 90% oder auch nur 80% ist eine wärmetechnische Leistung, die auch heute noch das Besterreichbare darstellt.

7. Die Schornsteine. Die Aula Palatina ist wohl das einzige Bauwerk im Norden, das über Schornsteinhöhe erhalten ist. Deshalb ist sie für die Aufhellung der immer noch dunklen Schornsteinfrage von wesentlicher Bedeutung. Es war lange ungewiß, ob die Schornsteine bei der Zahl 10 in Reuschs Abb. 3 (oben S. 189) endeten oder von dort außerhalb der Mauer, wie wir es heute gewohnt sind, bis zur Dachhöhe weiter geführt waren. Der Saalburgversuch hat die Frage entschieden. Sie ist in jener Arbeit auf S. 29 behandelt. Die Schornsteine endeten tatsächlich 10 m über Bodenhöhe. Also so, wie in Reuschs Abb. 3. Sie liefern dort bei einer Austrittstemperatur $t_a = 13 \dots 19^\circ$ (s. *Abb. 2, a*) gegen eine Außentemperatur von $+ 4^\circ$ eine Zugstärke von 1 mm WS. Das ist mehr, als, wieder auf Grund des Saalburgexperimentes, eine antike rostlose Holzfeuerung mit reinem Oberluftbetrieb benötigt.

Allerdings vermute ich, daß sie dort nicht wie im heutigen Zustand als glattes Loch aufhörten, sondern irgendwie durch ein Formstück gegen den Wind abgeschirmt waren. Denn ein die Mauer quer anströmender Wind einer mittleren Stärke von 1,5 m/sec erzeugt schon einen Staudruck von 1,5 mm WS. Er würde den ganzen Schornsteinzug von 1 mm WS aufheben. Wir wissen ja selbst, wie es ist, wenn der Wind auf den Kamin „drückt“.

Die Hypokaüsis wird durch Quermauern in 3 Teile geteilt (s. Reuschs Abb. 2). Vermutlich diente die Teilung dazu, um bei mildem Wetter mit nur 2 oder 3 der insgesamt 5 Praefurnien fahren zu können. An sich sind solche Schaltungen häufig. Hier jedoch fehlen die in den Trennmauern gebräuchlichen Öffnungen. Jedenfalls sind sie nicht mehr erkennbar. Man regelte solche Anlagen auf Parallel- oder Hintereinanderschaltung, indem man Gruppen von Auslaßöffnungen verschloß oder öffnete. Plinius d. J. bezeichnet sie in *Epist. II 17, 9* als *angustae fenestrae*. In unserem Falle wären die *angustae fenestrae* wohl in den Austrittsöffnungen der Schornsteine zu suchen. Sie liegen gerade bequem in Höhe der unteren, am Bauwerk nachgewiesenen Außengalerie. Ein Nebenzweck dieser Galerie könnte dann der gewesen sein, von ihr aus die Verschlüsse zu bedienen.

8. Gesamtwürdigung. Dem unbefangenen Blick ist die Aula Palatina ein merkwürdiges Bauwerk. Die Wandflächen sind in Fensterflächen zwischen schmalen Pfeilern aufgelöst. Aber das Eigenartige: Diese Eleganz der aufge-

lösten Bauweise ist nicht, wie das Gefühl es erwartet, bis zum Sockel heruntergeführt, sondern sie beginnt erst in einem Drittel der ganzen Höhe. Der Grund ist die Tubulatur.

Hier wiederholt sich ein oft anzutreffendes Merkmal. Als Beispiel mögen die Trierer Kaiserthermen dienen. Die Heißbaderäume einschließlich Caldarium zeigen breite, geschlossene Wandflächen und mit Ausnahme der Mittelapsis hochliegende Fenster. Das war nötig zur Aufnahme der Tubulatur. Tubulierte Gebäudeteile sind wenig gegliedert und machen äußerlich einen nüchternen, oft düsteren Eindruck. Man denke an den sog. Konstantinspalast in Arles und an die Häßlichkeit der Pompejaner Thermen.

Auch das Frigidarium der Kaiserthermen hatte teilweise Fußbodenheizung. Aber seine Wandgestaltung ist unruhig; zerklüftet durch Durchbrüche, Türen, Pilaster und Nischen. Die Tubulatur der unvollendeten Thermen wurde vielleicht nie ausgeführt. Jedenfalls sind die Hohlkachelufunde spärlich. Und doch können wir aus Wandgestaltung und Grundriß mit recht guter Sicherheit erschließen, in welchen Räumen Hohlwände und wo keine Hohlwände geplant waren. Das gilt nicht nur für die Kaiserthermen. Es ist eine Regel. Die Regel erfaßt auch die Aula Palatina.

Der Abtsstab des heiligen Germanus zu Delsberg (Delémont)

Von Günther Haseloff, Würzburg

Zu Delsberg, einer kleineren Stadt im Schweizer Jura (Kanton Basel Land), befindet sich im Schatz der Kirche St. Marcel ein Abtsstab, der der Überlieferung nach dem hl. Germanus von Trier, erstem Abt des Klosters Grandisvallis, dem heutigen Moutier-Grandval, gehört hat. Trotz seiner reichen Ausstattung hat der Stab weder in der archäologischen noch in der kunstgeschichtlichen Literatur – von wenigen Ausnahmen¹ abgesehen – eine seiner Bedeutung entsprechende Würdigung erfahren. Dies ist um so erstaunlicher, als es sich bei dem Stab um ein datiertes Denkmal aus der Mitte des 7. Jahrhunderts handelt, das für die Fragen der Chronologie der Merowingerzeit von unschätzbbarer Bedeutung ist.

Die Kirche zu Delsberg bewahrt den Stab erst seit dem Ende des 18. Jahrhunderts, als die Kanoniker von Moutier-Grandval nach Delsberg übersiedelten und den Stab nebst anderen Reliquien dorthin überführten. Die eigentliche Heimat des Stabes ist das Kloster Moutier-Grandval, dessen älteste Geschichte gleichzeitig auch die Geschichte des Stabes darstellt.

¹ E. A. Stückelberg, *Anz. f. Schweiz. Altkde.* 1891, 430f. mit Zeichnung; S. Guyer, *Die christlichen Denkmäler des ersten Jahrtausends in der Schweiz* (1907) 61f.; Stückelberg, *Die schweizerischen Heiligen des Mittelalters* (1903) 55 u. Abb.; M. Rosenberg, *Jahrb. d. Preuss. Kunstslg.* 39, 1918, 45 Abb. 58; M. Besson, *Nos origines chrétiennes* (1921) 124; Daucourt, *La crosse de Saint Germain. Actes* (1908) 129ff.; F. Cabrol u. H. Leclercq, *Dictionnaire d'Arch. Chrétienne et de Liturgie* 3, 2 (1914) s. v. „crosse“ Sp. 3146 mit Abb. 3430; A. Rais, *Un Chapitre de Chanoines dans l'ancienne principauté épiscopale de Bale Moutier-Grandval* (1940) 17 Abb. 11 und farbiges Titelbild.