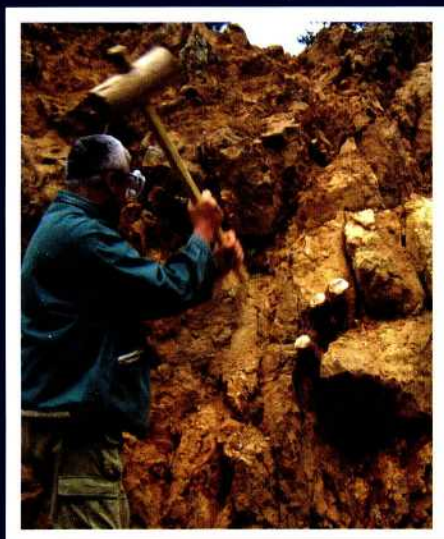


EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE

in Europa

BILANZ 2014



EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA
BILANZ 2014
Heft 13

Herausgegeben von Gunter Schöbel
und der Europäischen Vereinigung zur
Förderung der Experimentellen
Archäologie / European Association for
the advancement of archaeology by
experiment e.V.

in Zusammenarbeit mit dem
Pfahlbaumuseum Unteruhldingen,
Strandpromenade 6,
88690 Unteruhldingen-Mühlhofen,
Deutschland



EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE
IN EUROPA
BILANZ 2014



Unteruhldingen 2014

Gedruckt mit Mitteln der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e.V.

Redaktion:	Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller, Erica Hanning, Brigitte Strugalla-Voltz
Textverarbeitung und Layout:	Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller
Bildbearbeitung:	Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller
Umschlaggestaltung:	Thomas Lessig-Weller, Ulrike Weller

Umschlagbilder: W. F. A. Lobisser/VIAS, S. Rusev, P. Georgiev

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie, detaillierte bibliographische Daten sind im Internet abrufbar unter: <http://dnb.dbb.de>

ISBN 978-3-944255-02-6

© 2014 Europäische Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie / European Association for the advancement of archaeology by experiment e.V. - Alle Rechte vorbehalten
Gedruckt bei: Beltz Bad Langensalza GmbH, 99947 Bad Langensalza, Deutschland

Inhalt

<i>Gunter Schöbel</i> Vorwort	8
 Experiment und Versuch	
<i>Bente Philippsen</i> Scherben scheibenweise – Röntgen- und Neutronentomographie von experimenteller und archäologischer Keramik	10
<i>Anja Probst</i> „Knochenjob“ – Untersuchungen zu Gebrauchsspuren an jung- und endneolithischen Knochenwerkzeugen	18
<i>Hristo Popov, Zdravko Tsintsov, Albrecht Jockenhövel, Plamen Georgiev</i> Feuersetzen beim Abbau der goldhaltigen Quarzgänge im spätbronzezeitlichen Goldbergwerk auf dem Ada Tepe, Südbulgarien	27
<i>Ruslan Stoychev, Petya Penkova, Margarita Grozeva</i> Practical challenges of archaeometallurgy of gold found in the Thracian gold mine at Ada Tepe, Southeast Bulgaria – Analytical approaches and experimental reconstructions	45
<i>Franz Georg Rösel</i> Kochen mit hallstattzeitlichen Keramikgefäßen	59
<i>Hannes Lehar</i> Mit moderner Technik Probleme bei der Rekonstruktion antiker Technik lösen? – Ein Besuch in Carnuntum	70
<i>Rüdiger Schwarz</i> Römische Ziegelproduktion an der Saalburg in der Praxis nachvollzogen	83

Rekonstruierende Archäologie

Wolfgang F. A. Lobisser

Wissenschaftliche Fragestellungen zum Aufbau eines frühneolithischen Hausmodells im Sinne der Experimentellen Archäologie im Urgeschichtemuseum Asparn an der Zaya in Niederösterreich 97

Hans Joachim Behnke

Muschelschalenpailletten der Schnurkeramik – Wer war zuerst da: die Paillette oder ihr Loch? 111

Helga Rösel-Mautendorfer

Möglichkeiten der Rekonstruktion eisenzeitlicher Frauentracht mit zwei und drei Fibeln 119

Thomas Flügen, Thomas Lessig-Weller

Die Bogenbewaffnung des Keltenfürsten vom Glauberg – Vom Befund zur Rekonstruktion 129

Alexandra Schubert, Tobias Schubert

Funktionale Gedanken zur merowingischen Frauentracht 144

Claus-Stephan Holdermann, Frank Trommer

Zum Fertigungsprozeß von „Bergeisen“ im spätmittelalterlichen/frühneuzeitlichen Bergbaubetrieb am Schneeberg, Moos in Passeier/Südtirol 153

Vermittlung und Theorie

Thomas Lessig-Weller

Zwischen Fakt und Fiktion – Überlegungen zur Rekonstruierenden Archäologie 166

Fabian Brenker

Living History und Wissenschaft – Einige Überlegungen zur jeweiligen Methode, deren Grenzen und Möglichkeiten der gegenseitigen Ergänzung 177

<i>Stoycho Bonev, Tsvetanka Boneva, Severina Yorgova, Stoyan Bonev</i> 3D reconstruction and digital visualization of the south of the Royal Palace in Great Preslav	187
<i>Sylvia Crumbach</i> Mit dem Webstuhl in die Vorzeit! Textilforschung und Rekonstruktion textiler Techniken in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts mit Ausblick auf die Folgen am Beispiel Brettchenweben	194
Kurzberichte, Jahresbericht und Autorenrichtlinien	
<i>Rüdiger Schwarz</i> Kerzen mit Binsendocht und römische Kerzenhalter	205
<i>Ulrike Weller</i> Vereinsbericht der Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie e.V. (EXAR) für das Jahr 2013	207
Autorenrichtlinien „Experimentelle Archäologie in Europa“	214

Mit moderner Technologie Probleme bei der Rekonstruktion antiker Technik lösen? – Ein Besuch in Carnuntum

Hannes Lehar

Summary – Solving problems with reconstructing ancient technology through modern technology – A visit in Carnuntum. *The reconstructed thermae of Carnuntum were part of the Lower Austrian National Exhibition 2011. They were heated from February – November 2011. Results of this heating experiment will be published by the Archaeological Park Carnuntum, here impressions during the writer's visit on 10.11.2011 will be described. Since he examined the two other reconstructed facilities in Carnuntum within the scope of his research project about Roman Hypocaust Heating, he was interested in whether the problems of these facilities (sooting, lacking heat capacity, crack formation of the floor and escape of flue gas) were also occurring with this structure. That is the case: the heat capacity can, if at all, only be reached through an implemented heating grid (which the Romans did not know) in the praefurnium of the caldarium. The floors of all heated rooms show cracks and the terrazzo covering a difference of levels of approximately 5 mm. Partially flue gas enters the rooms. There were tries to balance out the heat-related distension of the suspensura with modern means (expansion gaps, elastic border distension strips etc.) but because severe errors were made, crack formation was even worse than in previous facilities. Even if these measures had worked – the Romans built their hypocausts without gaps and did not have the materials necessary for modern measures. The so far always appearing sooting was also present here; its consequences (staining, damage to the brick work) were prevented through the implementation of a modern, acid-resistant vent system. It is understandable that within a large-scale project facilities need to function by all means, however modern measures partially not just did not help, but made matters worse.*

Die rekonstruierten Thermen der Zivilstadt von Carnuntum waren Teil der Niederösterreichischen Landesausstellung 2011. Aus diesem Anlass wurde ihre Hypokaustheizung von Februar bis 15. November 2011 durchgehend beheizt. Die Ergebnisse dieses bisher längsten Heizversuchs mit einer römischen Hypokaustheizung werden vermutlich vom Archäologischen Park Carnuntum (APC) ausführlich publiziert werden. Ich gebe hier nur

meine Eindrücke bei einem Besuch wieder.

Da ich im Rahmen meines Forschungsprojektes (Die römische Hypokaustheizung – Berechnungen und Überlegungen zu Leistung, Aufbau und Funktion. Dissertation Juni 2011) die beiden anderen rekonstruierten Anlagen in Carnuntum (Haus II und Villa Urbana) untersucht und ebenso wie die damals erst in Planung befindliche Thermenanlage berechnet

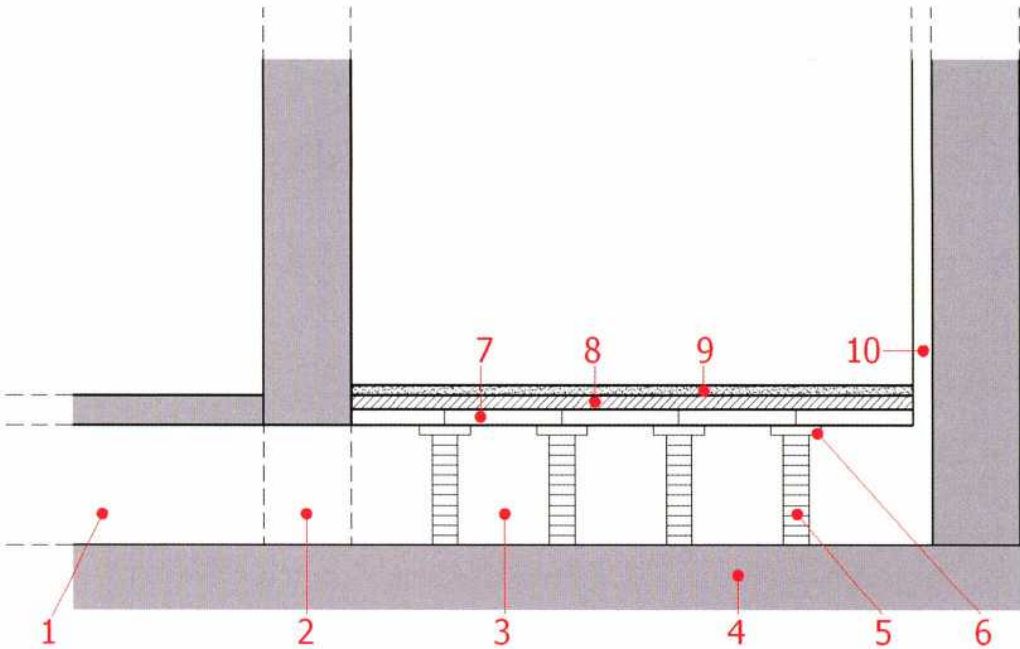


Abb. 1: Schnittbild durch eine Hypokaustheizung. – Sectional view of a hypocaust heating.

hatte, war es natürlich interessant, ob die gleichen Probleme (Versottung, mangelnde Wärmeleistung und Rissbildung im Boden) auch bei diesem Bau auftreten, oder diesmal vermieden werden konnten. Der Schwerpunkt dieses Beitrags betrifft die Schäden an den Böden, die auch das Thema meines Vortrags anlässlich der EXAR-Tagung waren. Der Vollständigkeit halber behandle ich hier kurz auch die anderen möglichen Problemfelder.

Der Besuch erfolgte am 10. November 2011. Es war ein nebliger Tag, die Außentemperatur betrug um 11:00 plus 6,9°C, sie lag also in jenem Bereich, in dem meiner Meinung nach die Hypokaustheizung die optimale Behaglichkeit liefern kann (LEHAR 2012/1, 306-308).

Herr Dr. A. Konecny zeigte mir die Anlage und berichtete über Erfahrungen aus dem Heizbetrieb. Ich konnte mich in der gesamten Anlage bewegen, mit den Heizern sprechen und es war mir gestattet, Temperaturen in den Räumen zu messen (Di-

gitales Temperaturmessgerät AFRISO S 2800, mit CE Prüfzeichen, EN 50379-2 typengeprüft durch TÜV SÜD).

Um Missverständnisse bei der Bezeichnung der Teile eines Hypokausts zu vermeiden, siehe Abb. 1:

1. Praefurnium
 2. Feuerungskanal (auch Schürkanal)
 3. Hypokaust
 4. Unterer Boden
 5. Hypokaustpfiler
 6. Auflageplatte (auch Auflagefläche, Trägerplatte, Kopfplatte)
 7. Suspensurplatten
 8. Grober Estrich
 9. Feiner Estrich
 10. Rauchabzug (auch Abzug, Endabzug, Tubulusstrang) bei reiner Bodenbeheizung; Tubulatur bei der so genannten Wandheizung
- 7.+ 8.+ 9. bilden zusammen die Suspensura (= gesamte Bodenkonstruktion, oder auch als Estrichplatte bezeichnet)

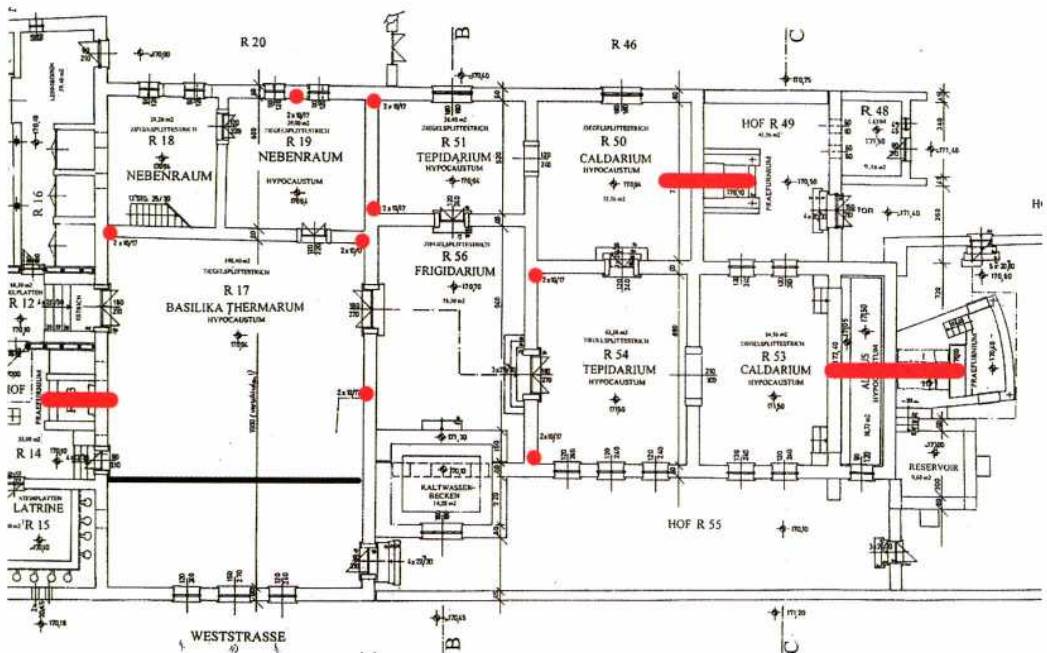


Abb. 2: Grundriss des beheizten Teils der Thermen, so wie er ursprünglich geplant war. Die roten Striche markieren die Praefurnien, die roten Punkte die Abzüge. – Floor plan of the heated rooms of the thermae as initially planned. Red lines marking praefurniae, the red points flues.

Abweichend von den mir seinerzeit zur Bearbeitung übergebenen ursprünglichen Bauplänen (Abb. 2) (LEHAR 2012/2, 155-158) wurde unter anderem der für Frauen bestimmte Teil (Raum 50, 51 und 19) lediglich als nicht betriebsfähige Schaulage ausgeführt:

Das Bodenniveau von Caldarium und Tepidarium ist jetzt nicht gleich, wie in den Plänen ursprünglich vorgesehen (LEHAR 2012/2, 157), es führen jetzt Stufen vom Caldarium in das nun tiefer gelegene Tepidarium. Das bedeutet, dass das Hypocaust unter dem Tepidarium niedriger sein muss als unter dem Caldarium. Da die beiden Räume durch ein gemeinsames Praefurnium im Caldarium beheizt werden, besteht jetzt zwischen Caldarium und Tepidarium eine abrupte Querschnittsverengung im Hypocaust und eine – die Strömung der Heizgase störende – Stufe nach unten in der Suspensura.

Temperatur und Temperaturverteilung

Basilika Thermarum: Die Raumtemperatur (t_i) betrug in der Raummitte 21°C . Die Bodentemperatur (t_{fb}) betrug im Bereich des Praefurniums $49,8^\circ\text{C}$, in der Raummitte $31,2^\circ\text{C}$ und bei Abzug 1 $25,2^\circ\text{C}$. Bei Abzug 3 betrug sie $23,3^\circ\text{C}$. Sie fiel also mit zunehmender Entfernung in Richtung Abzüge erwartungsgemäß stark ab. In Verbindung mit weiteren Messungen kann man auf zwei Hauptströme der Rauchgase (Heizgase) schließen (Abb. 3):

Im Umfeld dieser beiden Strömungen waren die höchsten Bodentemperaturen (und damit die größte Wärmeabgabe) feststellbar. In Richtung Abzug 2 war kein Wärmefluss erkennbar. Es handelt sich bei diesem Abzug offenbar um jenen, der wegen ungünstiger Strömungsverhältnisse (Er saugte Luft von außen in das Hypocaust an, statt Rauchgase nach außen zu leiten.) verschlossen worden war (APC

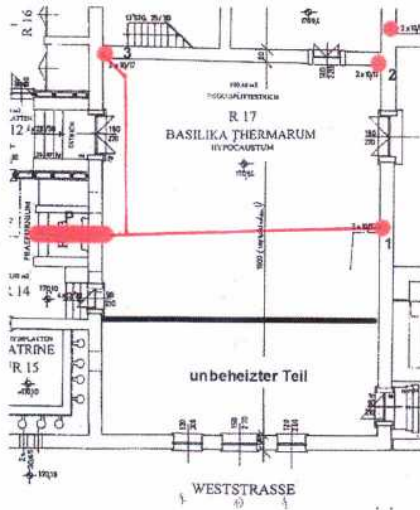


Abb. 3: Auf Grund der Fußbodentemperaturen ermittelte Hauptströmungen der Rauchgase (Heizgase) im Hypokaust der Basilika Thermanum; P = Praefurnium, 1, 2 und 3 = Rauchabzüge. – Way of flue gas in the hypocaust of basilika thermanum, located by temperature of the surface of the floor; P = Praefurnium, 1, 2 and 3 = flues.

2011, 17; persönliche Mitteilung A. Konecny, 10.11.2011). Die Gase haben zum Abzug 2 den längsten Weg, strömen diagonal durch das Hypokaust (strömen daher nicht ungehindert parallel zu den Reihen der Hypokaustpfeiler geradewegs durch das Hypokaust, sondern müssen die einzelnen Pfeiler „umgehen“) und haben daher einen größeren Widerstand zu überwinden, als es bei den beiden anderen Abzügen der Fall ist. Da Gase, wie jede Energie, den Weg des geringsten Widerstands nehmen, hätte man die beiden anderen Abzüge drosseln müssen. Dadurch könnte man wahrscheinlich eine gleichmäßige Durchströmung erreichen und das ungewollte Ansaugen von Frischluft vermeiden.

In einem erheblichen Teil des Raums überschritten die Bodentemperaturen



Abb. 4: Risse und Höhenversatz im Boden der Basilika Thermanum. – Clefts and differences of level in the floor of basilika thermanum.

(49,6°C) trotz der relativ hohen Außentemperatur von plus 6,9°C bereits die heute nach ÖNORM zulässige Höchsttemperatur für Aufenthaltsräume von 29°C (ÖNORM M7560, 7). Im Umkreis des Praefurniums war der Aufenthalt bereits jetzt recht ungemütlich. An kalten Wintertagen wird die Bodentemperatur sicher noch höhere Werte erreichen und in weiteren Bereichen des Raums unangenehm werden. Der oben beschriebene Abfall der Bodentemperatur, und damit die verringerte Wärmestrahlung vom Boden her, war beim Herumgehen im Raum trotz voller Bekleidung spürbar. Im antiken Badebetrieb würden ihn die nur spärlich bekleideten Badegäste sicher noch mehr gefühlt haben. Interessanterweise war die Raumlufttemperatur an allen Stellen des Raums trotzdem weitgehend gleich, also gut verteilt. Wie vermutet (LEHAR 2012/1, 244), hatte sich die Temperatur der Wände (21,3°C) im Lauf der Zeit tatsächlich annähernd bis auf Raumtemperatur erhöht, anfänglich wahrscheinlich vor allem im Bereich der noch kalten Wände vorhandene Zugerscheinungen waren nicht mehr feststellbar. Eine Erwärmung der Wände, zumindest unter den an diesem Tag herrschenden Bedingungen, war auch in Tepidarium und Caldarium mess-

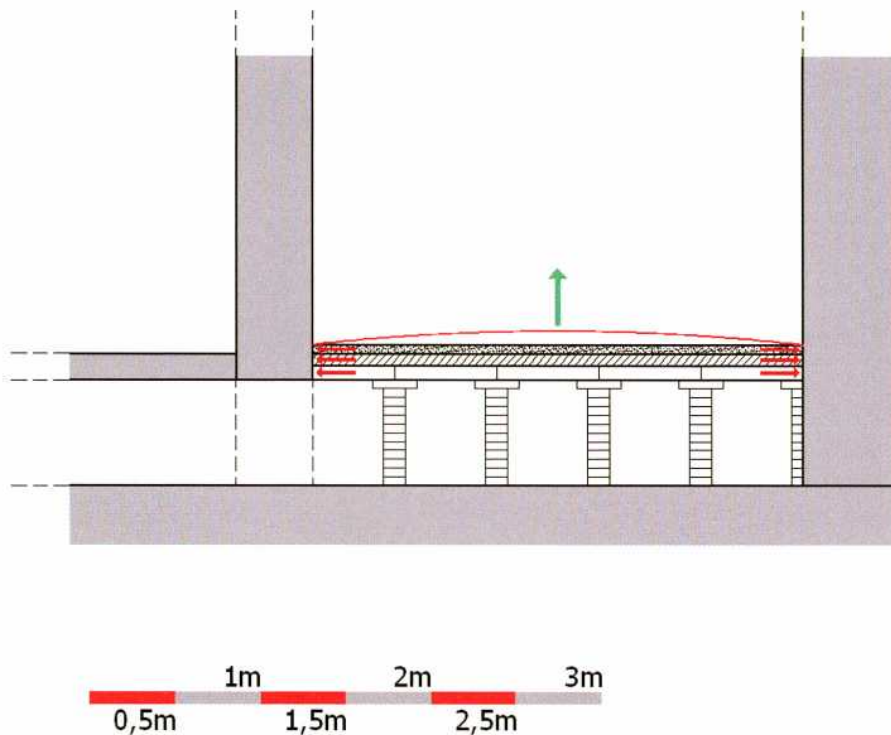


Abb. 5: Wölbung der Estrichplatte (schematisch) nach oben, wenn keine Möglichkeit einer seitlichen Dehnung besteht (rote Pfeile). – No room for extension (schematically illustrated) – the floor shows surface distortion (red arrows).

bar. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang auch, dass der Boden im unbeheizten Bereich der Basilika eine Temperatur von immerhin $19,6^{\circ}\text{C}$ aufwies.

Frigidarium: Mit einer t_i von $20,6^{\circ}\text{C}$ konnte man im Vergleich mit dem Tepidarium ($t_i = 21,8^{\circ}\text{C}$) eigentlich gar nicht von einem „Kaltbad“ sprechen. Offensichtlich wird es, zumindest bei nicht winterlichen Außentemperaturen, von den angrenzenden Räumen mehr als erwartet mitbeheizt.

Tepidarium: t_i in Raummitte (und auch sonst) = $21,8^{\circ}\text{C}$, das heißt, die für die Berechnungen angenommene, der ÖNORM M7500 (JAUSCHOWETZ 1982, 85) entsprechende $t_i = 24^{\circ}\text{C}$ war nicht erreicht. Die t_{fb} betrug – ziemlich gleichmäßig über die Raumfläche verteilt – von der Trennwand zum Caldarium 25°C abfallend zur Trenn-

wand zum Frigidarium $22,8^{\circ}\text{C}$, war am Besuchstag also im Bereich des heute für Baderäume Erlaubten (35°C laut ÖNORM M7560, 7). Bei $t_i = 24^{\circ}\text{C}$ und noch mehr an kalten Tagen wird das nicht mehr der Fall sein (LEHAR 2012/1, 274-275). Auffallend war die Kondenswasserbildung an den Fenstern, obwohl sich keine Wasserbecken im Raum befinden. Im Raum war starker Geruch nach Rauch merkbar, sicherheitshalber war die Tür zum unbeheizten Raum 50 offen; doch dazu später. Caldarium: t_i in Raummitte (und auch sonst) = $26,6^{\circ}\text{C}$, das heißt, die für die seinerzeitigen Berechnungen angenommene, erwünschte $t_i = 30^{\circ}\text{C}$ (Caldarium = „Heissbad“) war nicht erreicht. Weil anfänglich nicht einmal diese $26,6^{\circ}\text{C}$ erzielt werden konnten, wurde am 28.3.2011



Abb. 6: Spannungsriss im Estrich (trotz einer, allerdings fest verschlossenen, neuzeitlich geplanten Fuge im Türbereich), AP Xanten, Herbergsthermen. – Crack formation (in spite of a modern, tightly closed, interstice in the door area); AP Xanten, Herbergsthermen.

(APC 2011, 25) ein Rost in das Praefurnium eingebaut, um die Verbrennung und damit die Wärmeleistung zu erhöhen. Eine Maßnahme, die der antiken Realität nicht entspricht. Verbrennungsroste sind bisher nicht nachweisbar, außerdem hätte das römische Eisen den in diesem Bereich auftretenden Temperaturen vermutlich nicht standgehalten (persönliche Mitteilung J. Brandt, Forschungs- und Entwicklungsabteilung der Fa. Windhager Zentralheizung, 2009). Die t_{fb} betrug – ziemlich gleichmäßig über die Raumfläche verteilt – vom Bodenbereich beim Alveus (heißes Badebecken) 32°C abfallend zur Trennwand zum Tepidarium 30°C, lag am Besuchstag also (allerdings bei zu niedriger Raumtemperatur) im Bereich des heute für Baderäume Erlaubten

(35°C lt. ÖNORM M7560, 7). Bei t_i = 30°C und noch mehr an kalten Tagen wird sie allerdings erheblich höher sein (LEHAR 2012/1, 274).

Die Luft war spürbar feucht und auch hier war – bereits bei einer Außentemperatur von plus 6,9°C – eine noch stärkere Bildung von Kondenswasser als im Tepidarium an den Fenstern feststellbar. Allerdings war das im Caldarium, bedingt durch den Alveus (Wassertemperatur 36,9°C), zu erwarten gewesen. An den Wänden war wegen deren Temperatur (21,3°C) zu diesem Zeitpunkt kein Kondenswasser feststellbar. An Wintertagen wird die Menge kondensierten Wassers erheblich größer und möglicherweise auch an den Wänden feststellbar sein.

Schäden an den Böden

Als Bodenbelag wurde in allen Räumen verschiedenfarbiges terrazzoartiges Material verlegt. In den drei beheizten Räumen konnte ich in weiten Bereichen deutlich sichtbare Risse und einen Höhenversatz von mehreren Millimetern feststellen (Abb. 4).

Risse (allerdings ohne Höhenversatz) sind bei rekonstruierten Hypokaustheizungen häufig und werden dadurch hervorgerufen, dass sich die Suspensura bei Erwärmung ausdehnt, ohne dass dafür (ebenso wie in den römischen Originalbefunden) entsprechend ausreichender Platz vorgesehen ist (LEHAR 2012/1, 70-80) (Abb. 5).

Diese Dehnung kann bei einem größeren Caldarium leicht mehrere Zentimeter betragen. Das klingt nicht nach viel, hat aber eine große Kraft. Entweder wölbt sich der Boden daher in seiner Gesamtheit auf und bildet dadurch Risse (Abb. 6) oder er schiebt die Außenwand hinaus (Abb. 7).

Auf Grund negativer Erfahrungen im Haus II und der Villa Urbana hat man bei der Thermenanlage versucht, solchen Rissen mit modernen Maßnahmen – allerdings erfolglos – vorzubeugen. Die gesetzten Baumaßnahmen sind für die römische Zeit nicht nachweisbar, und außerdem standen die für wirksame Maßnahmen notwendigen Materialien damals ohnedies nicht zur Verfügung.

Als Vorbild diente die moderne Fußbodenheizung und da offensichtlich vor allem die Bestimmungen der ÖNORM B2242 über die Ausführung beheizter Estriche. Allerdings muss man bedenken:

- Die einzige echte Übereinstimmung zwischen moderner Fußbodenheizung (FBH) und römischer Hypokaustheizung (HH) liegt in der Tatsache, dass ein warmer Boden Wärme an einen Raum abgibt.

- Bei einer FBH wird ein mit einem Bo-



Abb. 7: Durch die Estrichdehnung nach außen gedrückte Wand, dadurch Risse und Eintritt von Ruß und Rauchgasen aus dem Hypokaust in den Raum, AP Carnuntum, Villa Urbana. – The wall has been pressed outwards and has partially torn. Due to this, soot and flue gas were able to escape from the hypocaust, AP Carnuntum, Villa Urbana.

denbelag versehener homogener Betonestrich durch einen innen liegenden Heizleiter (meist Warmwasser führende Kunststoffrohre) weitgehend gleichmäßig leicht erwärmt. Bei der rekonstruierten HH wird die aus mindestens drei verschiedenen Materialien, mit unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten (keramische Suspensurplatten, nicht den römischen Originalen entsprechender, mit Baustahlgitter bewehrter Betonestrich und Terrazzo), bestehende Suspensura durch sich auf ihrem Weg zu den Abzügen abkühlende heiße Rauchgase von unten ungleichmäßig auf wesentlich höhere Temperaturen erhitzt. Schon deshalb entste-

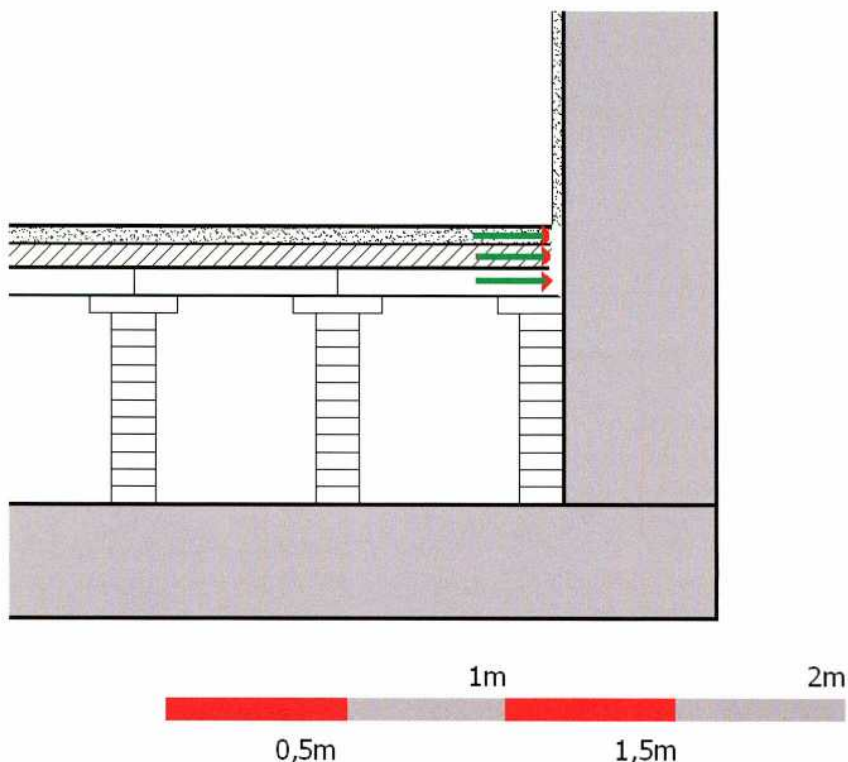


Abb. 8: Alle drei Schichten der Suspensura haben ausreichend Platz zur Dehnung (grüne Pfeile). – The three layers of the suspensura have room enough to expand (green arrows).

hen Spannungen, die die FBH in dieser Form nicht kennt.

- Durch die hohe Temperatur dehnt sich eine Suspensura – vor allem im unteren, den heißen Rauchgasen direkt ausgesetzten Bereich – viel mehr aus, als der Estrich einer FBH, die entstehenden Spannungen sind daher wesentlich größer.

- Beim Estrich der FBH handelt es sich um einen „schwimmenden Estrich“, er hat keine feste Verbindung zum Untergrund (Wärmedämmplatten) und ist durch eine rundum verlaufende so genannte Randfuge (mit einem darin eingelegten dauerelastischen Randdämmstreifen) einschließlich des Bodenbelags vollkommen

von den Wänden getrennt (ÖNORM B2242, 4,4), kann sich also ungehindert ausdehnen. Die Suspensura hingegen liegt fix auf den Pfeilern des Hypokausts auf und stößt (nach bisherigem Kenntnisstand über römische Hypokaustheizungen) immer voll an die Wände an, hat also keine Möglichkeit, sich auszudehnen (siehe Abb. 5).

In den Thermen von Carnuntum hat man versucht, abweichend von der römischen Bauweise, eine moderne Randfuge zu imitieren (APC 2011, 4-5), um der Suspensura Raum für ihre Ausdehnung zu geben (Abb. 8). In die Fuge wurde ein Randdämmstreifen aus Styropor eingelegt, der wegen der hohen Temperaturen schmolz (APC 2011, 5).

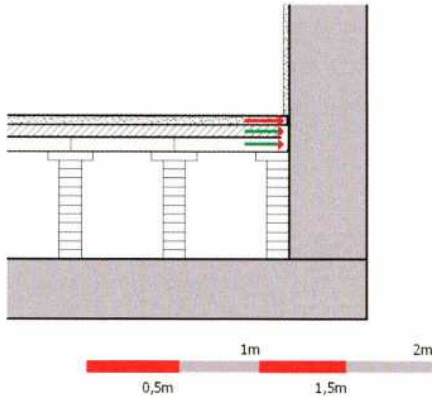


Abb. 9: Nur die unteren beiden Schichten haben Platz zur Dehnung (grüne Pfeile), die oberste (Terrazzo) wegen des nachträglichen Verschlusses der Randfuge mit Beton hingegen nicht (roter Pfeil). – Only the two lower layers have room to expand (green arrows), the highest (terrazzo) has none (red arrow), because the interstice in the margin was filled with concrete.

Daher ersetzte man ihn durch hineingestopfte, hitzebeständige Kaolinwolle und verschloss die Fuge kraftschlüssig mit Beton (APC 2011, 5). Beton ist nicht elastisch, daher konnte sich die Suspensura nunmehr im obersten Bereich – dem Terrazzobelag – nicht mehr ausdehnen, denn die starr mit Beton verfugte Randfuge war wirkungslos, sie konnte keine Dehnung aufnehmen und dadurch Spannungen abbauen. Der Rest der Suspensura hingegen konnte sich weiterhin – allerdings wie die starke Rissbildung vermuten lässt (handelsübliche Randdämmstreifen aus Styropor sind nur 10 mm dick, was für diesen Fall viel zu wenig ist), nicht genug – ausdehnen (Abb. 9).

Dadurch dürfte sich die Terrazzo-Schicht vom Rest der Konstruktion gelöst und nach oben gewölbt haben. Das im Estrich in Anlehnung an die ÖNORM (ÖNORM B2242, 4,5: 2.3.12.3) als Bewehrung eingelegte Baustahlgitter (APC 2011, 3) – die Römer kannten solche Bewehrungen nicht – sollte den Höhenversatz bei Ris-



Abb. 10: Risse und Höhenversatz im Boden des Tepidariums. – Clefts and differences in level in the floor of the tepidarium.

sen verhindern, konnte das aber nicht für die bereits vom Estrich getrennte Terrazzo-Schicht. Unterschiedliche Spannungen der verschiedenen Materialien der drei Schichten der Suspensura haben den oben erwähnten Effekt verstärkt und dazu geführt, dass sich die Verbindung der einzelnen Schichten zueinander löste, sich diese „selbständig machten“ und der Terrazzobelag sich abhob (Abb. 10).

Der Versuch mit modernen Mitteln war sicher gut gemeint, hatte aber aus den genannten Gründen nicht den gewünschten Erfolg. Selbst wenn er in diesem Einzelfall gelungen wäre, hätte er uns keine allgemein gültigen Erkenntnisse gebracht, denn die Römer wendeten diese Technik nicht an und verfügten außerdem nicht über die dabei eingesetzten oder andere dafür geeignete Mittel.

Wir wissen nicht, wie man in der Antike mit diesem Problem umgegangen ist (LEHAR 2012/1, 71-80). Möglicherweise hat das Opus Caementitium, aus dem die römischen Estrichschichten bestanden, für diesen Zweck günstigere Eigenschaften als der moderne Beton und die Lösung des Problems ist dort zu finden. Oder die Römer hatten sich damit abgefunden, mit Rissen im Bodenbelag zu leben bzw. den Bodenbelag immer wieder zu erneuern.



Abb. 11: Riss im Boden des Tepidariums mit für Rauchgas typischer bräunlicher Verfärbung. – Cleft in the floor of the tepidarium and brown discolouration by flue gas.

Einstweilen bleibt dies für uns generell eine ungelöste Frage. Der Autor arbeitet zur Zeit an einem gemeinsamen Projekt mit der Bau fakultät der Universität Innsbruck mit dem Ziel, darüber Klarheit zu erhalten. Allerdings ist es fast unmöglich, die dafür notwendigen Proben von römischem Suspensura-Estrichmaterial aufzutreiben, weil dieses bei Grabungen in den meisten Fällen als Versturzmateri al entsorgt wurde und keinen Weg in Materialdepots fand.

Die Risse sind nicht nur optisch störend, durch sie kann es zu einer gefährlichen Erscheinung kommen – einem Rauchaustritt in den beheizten Raum.

Genau das war im Tepidarium der Fall. Der Geruch war intensiv und unangenehm, und wohl deshalb war die Türe zu einem Nebenraum geöffnet, um die eingedrunge nen Rauchgase zu verdünnen bzw. abziehen zu lassen. Im Bodenbe-

reich konnte man im Bereich von Rissen typische Verfärbungen, die auf Rauch- und Rußeintritt aus dem Hypokaust schließen lassen, sehen (Abb. 11).

Wie ausgeführt, nehme ich an, dass nicht nur der Terrazzobelag, sondern die gesamte Suspensura in allen drei beheizten Räumen Risse aufweist. Wieso trat nur in einem Raum merkbar Rauchgas aus? Die einzige Möglichkeit zu verhindern, dass durch Risse in der Suspensura Rauchgas in den Raum dringt, besteht darin, dass – durch günstige Bauweise und richtigen Betrieb – im Hypokaust leichter Unterdruck herrscht und die Gase daher nur durch die Abzüge ins Freie gelangen. Herrscht hingegen Überdruck im Hypokaust, besteht die Gefahr, dass ein Teil der Rauchgase durch die Risse im Boden in den Raum gedrückt wird, statt durch die Abzüge aufzusteigen (LEHAR 2012/1,



Abb. 12: Kondensatflecke (Versottung) an der Ostseite des „Apsisraums“ der Villa Urbana, AP Carnuntum. – Condensate stains (sooting) at the east wall of the „Apsisraum“ of the Villa Urbana, AP Carnuntum.

80). Genau das dürfte im Tepidarium der Fall sein.

Der Heizbetrieb

Im Gegensatz zu meinen früheren Besuchen anlässlich von Heizversuchen im Haus II und der Villa Urbana konnte ich einige Änderungen in der Beheizungs-technik feststellen, wie sie der Autor empfiehlt (LEHAR 2012/1, 155-158). So unter anderem, dass bei dem jetzigen Langzeit-Heizversuch hauptsächlich mit hochwertigem Eichenholz aus dem Leithagebirge und kaum mehr mit Schwemholz aus den Donauauen geheizt wurde (persönliche Mitteilung A. Konecny, 10.11.2011). Die Beschickung des Praefurniums mit Brennholz erfolgte, im Gegensatz zu früher, den ganzen Tag kontinuierlich mit jeweils kleinen Mengen in relativ kurzen Abständen, nur in der Nacht gab es eine längere Unterbrechung (APC 2011, 7-8; 16-



Abb. 13: Schwarze Versottungen an der Außenseite eines der Abzüge des Tepidariums gegen Ende des Heizversuchs; der saubere Abzug rechts gehört zur unbeheizten Schauanlage. – Black soots on the outside of a flue of the tepidarium near the end of the heating experiment; the clean flue on the right side belongs to an unused flue.

18; persönliche Mitteilung A. Konecny, 10.11.2011). Ebenso wurden die Holz-scheite nicht mehr auf das vorhandene Material gelegt, sondern hinter die Glut eingebracht (persönliche Mitteilung des Heizpersonals, 10.11.2011).

Von der Methode, das Praefurnium nach dem Nachlegen ziemlich hermetisch zu verschließen, war man abgegangen. Es gibt jetzt zwar weiterhin eine Tür, diese hat aber im unteren Bereich eine Klappe, die ständig mehr oder weniger geöffnet blieb. Ich vermute allerdings, dass die dadurch einströmende Luftmenge immer noch nicht für eine vollkommene Verbrennung ausreicht, worauf auch die Versot-tungen (Kondensation schwefeliger Ab-

gase und klebrigen Rußes, die bei längerem Betrieb das Mauerwerk beschädigt/zerstört; LEHAR 2012/1, 135-136) am oberen Ende aller in Betrieb befindlichen Abzüge hinweisen. In Verbindung mit den meines Erachtens zu hohen, bis über das Dach geführten Abzügen kommt es – so wie im Haus II und der Villa Urbana (LEHAR 2012/1, 19-140) – zu dort erkennbaren Versottungen (Abb. 12).

Dabei muss man bedenken, dass es sich im gegebenen Fall um den Betrieb in einem sehr warmen Sommer gehandelt hat. Bei höheren Außentemperaturen im Endbereich der Abzüge tritt die Kondensation der im Rauchgas enthaltenen schwefelhaltigen Feuchtigkeit mitsamt den Schadstoffen – also der Versottung – weniger leicht auf, als an kalten Wintertagen. Die Temperaturdifferenz Sommer – Winter kann in diesem Bereich bis zu 50°C betragen. So gesehen dürften die Versottungserscheinungen bei Beheizung im Winter noch stärker auftreten (Abb. 13).

Bei Messungen im Inneren der Räume konnte ich selbst mit dem Zehntelgrade anzeigenden Thermometer in den Bereichen der Wände, wo die Abzüge verlaufen, keine signifikant höheren Temperaturen feststellen. Das lässt den Schluss zu, dass die Abgastemperatur bereits in dieser geringen Höhe nicht mehr zu einer Erwärmung der Wände im Verlauf der Abzüge ausreichte. An den Innen- oder Außenwänden konnte ich allerdings in diesem Fall keine typischen Flecken (LEHAR 2012/1, 139-142) als Anzeichen für eine Versottung feststellen. Ob sie nur im Bereich des Dachraums – also vom Raum aus oder von außen nicht sichtbar – auftreten oder ob die Abzüge auf Grund der bisherigen schlechten Erfahrungen in den beiden anderen Anlagen sicherheitshalber mit einem modernen, feuchtigkeits- und säurefesten Material ausgeführt wurden, konnte ich zu diesem Zeitpunkt nicht sagen. Normalerweise führt die Kombination unvollständiger Verbrennung plus zu kühle

Abgase, wie sie hier anzunehmen war, zu Versottung. Wenn diese im obersten Bereich der Abzüge sogar außen auftritt (Abb. 13), ist zu vermuten, dass sie auch bereits in den aufsteigenden Strängen vorhanden ist (In der Zwischenzeit konnte ich meine Vermutung bezüglich eines modernen Abzugssystems verifizieren).

Der mir genannte Holzverbrauch (persönliche Mitteilung A. Konecny, 10.11.2011) erscheint mir – noch dazu für einen Sommerbetrieb – ziemlich hoch, wobei im Caldarium und im Tepidarium die Raumtemperaturen unter den Erwartungen lagen. Möglicherweise der Grund dafür, dass – wie oben erwähnt – um die Heizleistung zu verbessern, im Praefurnium für die Beheizung dieser Räume ein – den Römern unbekannter – Feuerungsrost eingebaut wurde (APC 2011, 25). Falls der Verbrauch nach einer Abschlussbilanz des Heizversuchs tatsächlich so hoch bleibt, hat die Anlage den für Hypokaustheizungen mit Holzfeuerung angenommenen höchstmöglichen Anlagenwirkungsgrad von 30-34% (LEHAR 2012/1, 310) nicht erreicht.

Es ist verständlich, dass ein Objekt in einem Archäologischen Park auf jeden Fall funktionieren muss, denn weder die Besucher noch die Geldgeber (meist die öffentliche Hand) hätten Verständnis für das Nicht-Funktionieren einer derartig teuren Anlage. Daher greift man – auch anderswo – zu modernen „Unterstützungsmaßnahmen“, was allerdings den Wert allfällig erhaltener Erkenntnisse für die Forschung stark mindert.

Trotz der geschilderten Mängel bedeutet diese Anlage einen beachtlichen Fortschritt gegenüber den beiden bisherigen Anlagen in Carnuntum und auch anderen mehr oder weniger funktionierenden rekonstruierten Hypokaustheizungen, und die Fachwelt muss dem Archäologischen Park Carnuntum für seine Bemühungen dankbar sein. Schließlich haben auch die Römer den richtigen Bau derartiger

Heizungen nur durch viele Versuche („trial and error“) gelernt.

Literatur

APC 2011: Archäologischer Park Carnuntum, Hypokaustum – Heizanleitung. Unveröffentlichtes Arbeitspapier für den internen Gebrauch, dem Autor zur Verfügung gestellt durch F. Humer.

JAUSCHOWETZ, R. 1982: Leitfaden zur Berechnung der Heizlast von Gebäuden. Graz 1982.

LEHAR, H. 2012/1: Die römische Hypokaustheizung – Berechnungen und Überlegungen zu Aufbau, Leistung und Funktion. Teil 1. Aachen 2012.

LEHAR, H. 2012/2: Die römische Hypokaustheizung – Berechnungen und Überlegungen zu Aufbau, Leistung und Funktion. Teil 2. Aachen 2012.

ÖNORM B2242: Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), ÖNORM B2242, Herstellung von Fußbodenheizungen. Teile 1-4. Wien 1998.

ÖNORM M7500: Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), ÖNORM M7500, Heizlast von Gebäuden. Wien 1980.

ÖNORM M7560: Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), ÖNORM M7560, Teil 2, Fußbodenheizungen – Qualitätsanforderungen. Wien 1984.

Abbildungsnachweis

Abb.1, 4-13: H. Lehar

Abb. 2-3: Archäologischer Park

Carnuntum, K. F. Gollmann

Autor

Mag. Dr. Hannes Lehar

Universität Innsbruck, Institut für

Archäologien

Im Kerschbäumer 34

6112 Wattens

Österreich

hannes.lehar@aon.at

ISBN

978-3-944255-02-6