

EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA  
Jahrbuch 2018  
Heft 17

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  
JAHRBUCH 2018

Unteruhldingen 2018

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

Textverarbeitung und Layout: Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller

Bildbearbeitung: Ulrike Weller, Thomas Lessig-Weller

Umschlaggestaltung: Thomas Lessig-Weller, Ulrike Weller

Umschlagbilder: S. Guber, M. Arz, O. Ostermann

#### 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 978-3-944255-11-8

© 2018 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

*Gunter Schöbel*

Vorwort

8

## Experiment und Versuch

*Sonja Guber*

Prähistorische Bienenhaltung in Mitteleuropa – ein archäoimkerliches Projekt

10

*Hans Reschreiter, Michael Konrad, Marcel Lorenz, Stefan Stadler, Frank Trommer, Claus-Stephan Holdermann*

Keine Tüllenpickel im bronzezeitlichen Salzbergbau in Hallstatt! Aspekte der experimentellen Fertigung bronzezeitlicher Gezähe als Interpretationsbasis bergmännischer Spezialisierung

19

*Hannes Lehar*

Auf der Suche nach dem „dehnbaren“ Beton

34

*Martin Schidlowski, Tobias Bader, Anja Diekamp*

Mineralogische und chemische Charakterisierung römischer Estriche

43

*Klemens Maier, Daniel Draxl, Matthias Leismüller, Manuel Muigg, Alexander Hanser, Oskar Hörtnner*

Rezeptentwicklung von Opus Caementitium zur Verwendung in Hypokaustheizungen

50

*Peter Kienzle*

Erfahrungen aus dem Betrieb der rekonstruierten kleinen Thermen in Xanten

59

*Gregor Döhner, Michael Herdick, Anna Axtmann*

Ofentechnologie und Werkstoffdesign im Mayener Töpfereirevier um 500 n. Chr.

71

*Frank Wiesenberg*

Glasperlenherstellung am holzbefeuerten Lehmofen

87

*Sayuri de Silva, Josef Engelmann*

Überlegungen und Rekonstruktion zum Drahtziehen im Mittelalter

101

## Rekonstruierende Archäologie

- Thorsten Helmerking*  
„Burn-out“ als Arbeitstechnik beim Einbaubau? 111
- Karl Isekeit*  
Das Einbaumprojekt Ziesar 121
- Gabriele Schmidhuber-Aspöck*  
Römische Schiffe im Experiment. Schiffbau im LVR-Archäologischen Park Xanten 129
- Wolfgang Lobisser, Jutta Leskovar*  
Die experimentalarchäologische Errichtung der neuen Herrinnenhalle von Mitterkirchen an der Donau im oberösterreichischen Machland 140
- Wolfgang Lobisser*  
Man muss das Eisen schmieden, solange es heiß ist! Das neue Modell einer keltischen Schmiede im MAMUZ in Niederösterreich 158
- Clio Felicitas Stahl*  
Gut gerüstet. Der Nachbau eines frühsarmatischen Schuppenpanzers aus Filippovka I unter Berücksichtigung technisch-konstruktiver Fragen 174
- Maren Siegmann*  
Die Spur der Fäden. Perlenensembles und ihre Aussagemöglichkeiten 186
- Thomas Flügen, Carsten Wenzel*  
Alten Mauern mit neuem „Glanz“ – Sanierung und Neupräsentation der „Kaiserpfalz Franconofurd“ 199
- Andreas Klumpp*  
„Wie man guote kraphen mag machen“. Neue Experimente zur Herstellung mittelalterlicher Krapfen – erste Grundlagen 209

## Vermittlung und Theorie

- Peter Kienzle*  
Der Forscher – die Botschaft – der Besucher. Kommunikation an archäologischen Stätten 220

|  |     |
|--|-----|
| <i>Sylvia Crumbach</i><br>Experimentelle Archäologie – Was für eine Frage?   | 230 |
| <i>Claudia Merthen</i><br>Neuer Name – bewährtes Konzept. Das Potential von Citizen Science für die<br>Experimentelle Archäologie                  | 236 |
| <br>Jahresbericht und Autorenrichtlinien   |     |
| <i>Ulrike Weller</i><br>Vereinsbericht der Europäischen Vereinigung zur Förderung der<br>Experimentellen Archäologie e.V. (EXAR) für das Jahr 2017 | 245 |
| Autorenrichtlinien „Experimentelle Archäologie in Europa“  | 249 |

# Vorwort

Liebe Mitglieder des Vereins, liebe Leserinnen und Leser,

Die Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie in Europa EXAR tagte 2017 in Xanten auf dem Gelände der einstigen römischen Stadt Colonia Ulpia Traiana. Rund 400 Jahre lang war Xanten neben Köln, Trier und Mainz eine der größten und bedeutendsten römischen Städte in Germanien. Ein Glücksfall war, dass das Gelände der einstigen Römerstadt in Mittelalter kaum besiedelt wurde, sodass sich vieles im Boden gut erhielt. 1973 beschloss der Landschaftsausschuss des Landschaftsverbands Rheinland (LVR) die Einrichtung des Archäologischen Parks auf dem Areal der ehemaligen Colonia, der am 8. Juni 1977 eröffnet wurde. Über 570.000 Besucher, darunter 40 Prozent Kinder, Jugendliche, Schüler unter 18 Jahren, haben den Archäologischen Park Xanten (APX) 2017 besucht, der damit zu den meistbesuchten Museen Deutschlands zählt. Es war ein idealer Ort für die 15. EXAR Jahrestagung vom 28. September bis 1. Oktober 2017. Ein besonderer Dank geht an Dr. Martin Müller, den Leiter des APX und an seine Mitarbeiter, die sich jederzeit bestens um uns kümmerten und hervorragende Voraussetzungen für die gelungene Durchführung der Tagung schufen. Zugleich gaben sie uns tiefe Einblicke in Organisation und thematische Orientierung des Parks.

Zwei Vortragstage und ein abschließender Exkursionstag, der uns durch den weitläufigen Archäologischen Park mit Römermuseum, Schiffswerft, Hafentempel und Amphitheater führte, füllten das dreitägige Programm. Rund 20 Vorträge

beleuchteten aktuelle Vorhaben der Experimentellen Archäologie aus unterschiedlichen Blickwinkeln. Wie jedes Jahr konnte dabei ein breites Spektrum aus dem Bereich „Experiment und Versuch“, „Rekonstruktion“ sowie „Vermittlung und Theorie“ vorgestellt werden. Das 250 Seiten umfassende Jahrbuch fasst in 22 Beiträgen das Wichtigste der vergangenen Jahrestagung zusammen. Passend zum Ort der Zusammenkunft lag ein besonderer Schwerpunkt auf Experimenten und Versuchen zur Archäologie der Römischen Provinzen. Römische Bautechniken – genannt seien die Stichworte Opus Caementitium, Estriche und Beton – wurden ebenso thematisiert wie praktische Erfahrungen im Betrieb einer Therme und beim Nachbau eines Römerschiffes. In den Bereich der Mobilität zu Wasser führten uns neben dem römischen Schiffsbau zwei Einbaum-Experimente. Unterschiedliche Fragestellungen zur Rekonstruktion nahmen sich Vorträge zur neuen Herrinnenhalle von Mitterkirchen an der Donau, Österreich, und zur Kaiserpfalz „Franconofurd“ an. Drei Berichte aus dem Bereich „Vermittlung und Theorie“ widmeten sich der Rezeption archäologischer Versuche und dem Potential von „Citizen Science“, bei der sich Bürgerinnen und Bürger an der Wissensbeschaffung und am Erkenntnisgewinn beteiligen. Ein Rückblick über die Vereinstätigkeiten aus der Feder von Frau Ulrike Weller rundet den aktuellen Band ab.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen

Prof. Dr. Gunter Schöbel  
Vorsitzender EXAR

## Auf der Suche nach dem „dehnbaren Beton“

Hannes Lehar

**Summary – On the search for “extendible” cement.** *With modern underfloor heating there needs to be a at least 10 mm broad, elastic border joint between the heated floor screed and the room's wall, because the cement floor screed through the warming which is necessary for heating expands and it needs room for that. If there is no possibility for absorption of the distention, the floor screed tears together with the floor covering installed on it, and ugly cracks form. But with roman hypocaust heating the heated floor (suspensura) screed connects to the room's walls without any gap.*

*With the reconstructed hypocaust heatings there has been no gap between the suspensura and the room's walls, similar to the roman way. Subsequently cracks developed which in these cases are not only uncomely, but also dangerous, because flue gas (with poisonous CO and CO<sub>2</sub>) enters the rooms. The reconstructions were executed with modern reinforced cement which needs to be able to expand – hence the cracks.*

*How did the roman handle this expansion without border joints? During excavations one continuously finds floors made from roman opus caementitium who quasi proceed in waves with places where modern cement long ago would have cracked. They seem as if they have been elastic. To get to the bottom of this thing the author instigated a project which has been running for more than a year. In this project the faculty of Building (area of work material technology) of the University Innsbruck and the governmental testing and experimental station for building materials of the HTL Innsbruck work together with the author to find this “elastic roman cement”.*

*Keywords: opus caementitium, hypocaust heatings, cracked suspensurae, escape of flue gas through suspensurae*

*Schlagworte: opus caementitium, Hypokaustheizung, Risse in Suspensuren, Rauchgasaustritt durch Suspensuren*

Die Hypokaustheizung ist eine der großen technischen Leistungen der Römer. Erstmals war es möglich, einen Raum großflächig behaglich zu beheizen und dabei die beim Heizen entstehenden Rauchgase nicht durch den Raum leiten zu müssen, wie das bei allen anderen damals bekannten Heizsystemen der Fall war (Abb. 1).

Das Feuer brannte im praefurnium, die warmen Rauchgase zogen unterhalb der suspensura (Abb. 1,7-9) durch das hypocaust, erwärmten die suspensura (die ihrerseits die Wärme an den Raum abgab) und zogen durch die Rauchabzüge ins Freie ab. Das scheint ganz einfach zu sein, ist aber – wie sich bei rekonstruierten Hypokaustheizungen zeigte – ein

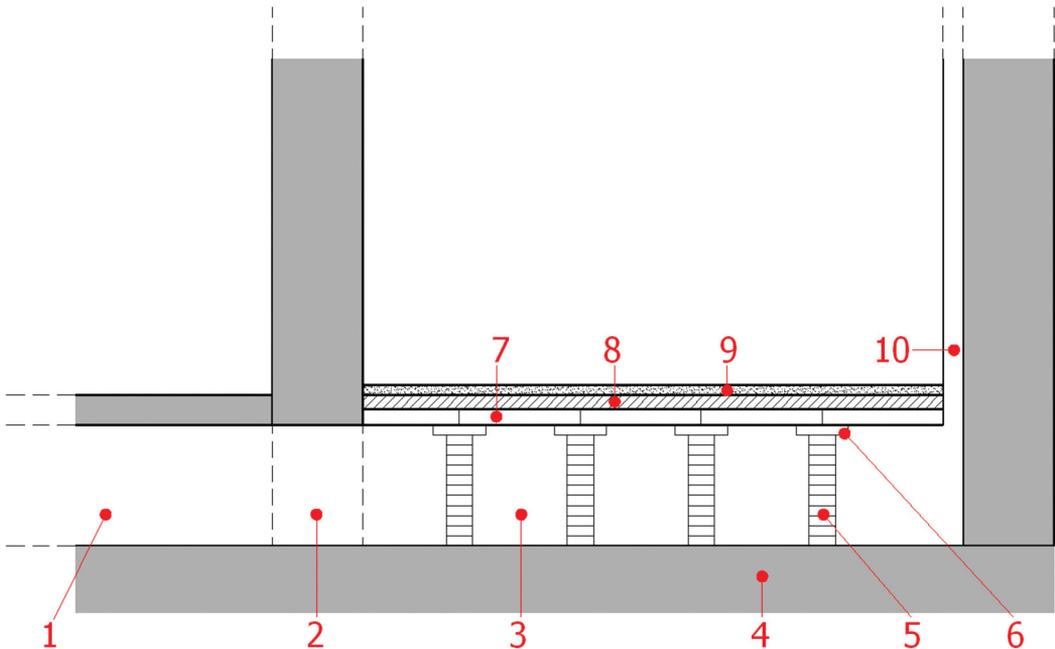


Abb. 1: Schnittbild durch eine Hypokaustheizung mit deren Hauptbestandteilen: 1= Praefurnium; 2=Feuerungskanal (auch Schürkanal) 3=Hypokaust; 4=Unterer Boden; 5=Hypokaustpfeiler; 6=Auflageplatte (auch Auflagefläche, Kopfplatte, Trägerplatte); 7=Suspensurplatten (Ziegelplatten); 8= Grober Estrich (aus opus caementitium mit groben Zuschlagstoffen); 9=Feiner Estrich (aus opus caementitium mit feinen Zuschlagstoffen); 10=Rauchabzug (auch Abzug, Endabzug, Tubulusstrang aus Hohlziegeln); 7+8+9 bilden zusammen die suspensura (=gesamte Bodenkonstruktion, auch als Estrichplatte bezeichnet). – Sectional view of a hypocaust heating with the main components: 1=prae-furnium (furnace); 2=combustion channel; 3=hypocaust; 4=lower base; 5=hypocaust pillar (pillae stack); 6=carrier/base plate; contact face; head plate; 7=suspensura-plates; 8=opus caementitium (raw/rugged screed); 9=opus caementitium (fine screed); 10=flue (box flue tiles inside the walls); 7+8+9 combined are called suspensura (=the floor construction as a whole).

komplexes System, das im praktischen Betrieb einige Schwierigkeiten mit sich brachte. Der größte Teil der aufgetretenen Probleme ist heute auf Grund eingehender Untersuchungen (KRETSCHMER 1953, 15-41; LEHAR 2012, 37-231) gelöst. Ein gravierendes Problem besteht allerdings immer noch: Bei allen rekonstruierten Anlagen (außer möglicherweise im Saalburg-Kastell) wurden die in Abb. 1 dargestellten Teile 8 und 9 der suspensura aus modernem, armierten Beton hergestellt. Bei all diesen Heizungen traten im Heiz-

betrieb mehr oder weniger schnell Risse in der Suspensura – und damit Undichtigkeiten – auf. Sie werden dadurch hervorgerufen, dass sich die suspensura – wie jedes Material – bei Erwärmung ausdehnt, jedoch ohne dass dafür (genauso wie bei den römischen Originalbefunden) entsprechend ausreichender Platz vorgesehen ist (LEHAR 2012, 70-80) (Abb. 2). Diese Dehnung kann bei einem großen Raum bis zu einigen Zentimetern betragen. Das klingt nicht nach viel, hat aber eine große Kraft. Wenn für diese Deh-

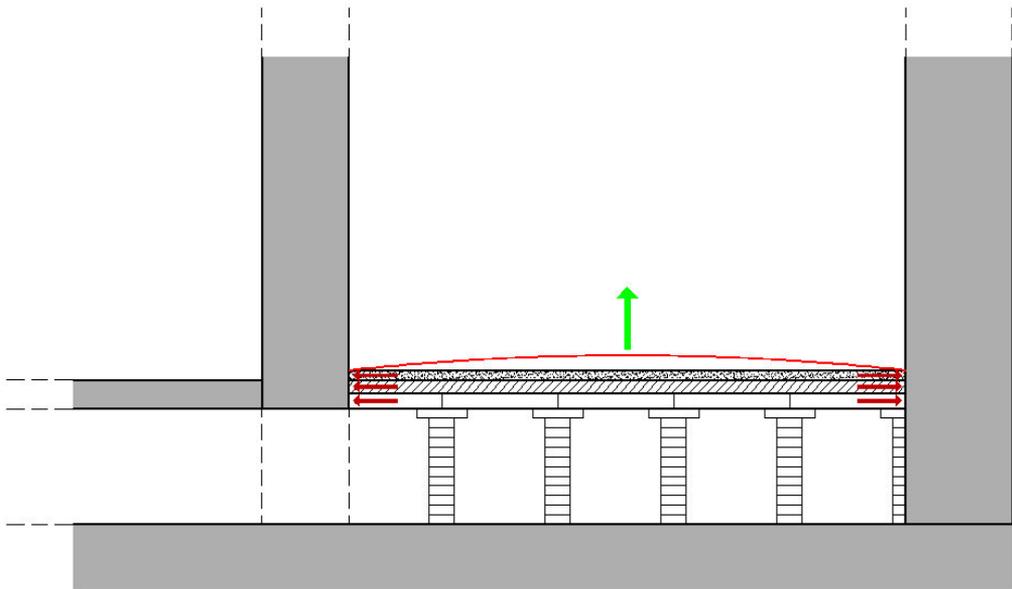


Abb. 2: Wölbung der Estrichplatte (schematisch) nach oben, wenn keine Möglichkeit einer seitlichen Dehnung besteht (rote Pfeile). – No room for extension (schematically illustrated), the floor shows surface distortion (red arrows).



Abb. 3: Risse im Boden der basilika thermarum im Archäologischen Park von Carnuntum. – Clefts in the floor of basilika thermarum (Archaeological park Carnuntum).

nung kein Platz vorhanden ist, gibt das Probleme: entweder wölbt sich der Boden in seiner Gesamtheit auf (Abb. 2) und es entstehen dadurch Risse (Abb. 3) oder er schiebt die Außenwand hinaus (Abb. 4). Diese Risse sind nicht nur störend, durch sie treten Ruß, aber vor allem gefährliche Rauchgase (CO und CO<sub>2</sub>) aus dem Hypokaust in den Raum ein. Welche Ausmaße der Eintritt von Abgasen durch die geschilderten Schäden annehmen kann, zeigte ein Heizversuch in den rekonstruierten Herbergsthermen im AP Xanten, bei dem in den Räumen eine CO-Konzentration von 240 ppm (ppm: parts per million; 1 ppm=0,0001%) (Das ist das Achtfache des zulässigen MAK-Wertes; MAK-Werte: Maximale Arbeitsplatzkonzentrations Werte, Deutsche Forschungs-

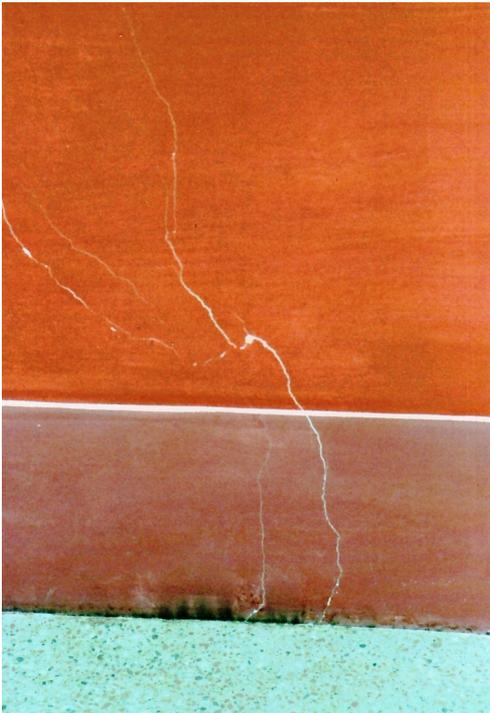


Abb. 4: Durch die Estrichdehnung nach außen gedrückte Wand, dadurch Risse und Eintritt von Ruß und Rauchgasen aus dem hypokaust in den Raum, AP Carnuntum, Villa Urbana. – The wall has been pressed outwards and has partially torn. Due to this, soot and flue gas were able to escape from the hypocaust.

gemeinschaft – Köln 1986) und eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von 0,5% (zulässiger MAK-Wert 0,15% Volumen-Konzentration) auftraten (REICHEL 2007, 80). Unter anderem wegen dieser gefährlich hohen Schadstoffkonzentration darf diese Anlage nicht mehr in Betrieb genommen werden.

Auch in der Antike dürften nicht alle Hypokaustheizungen immer perfekt funktioniert haben. Einen Hinweis dafür liefert uns Julian Apostata, der im Winter 360 n. Chr. in Lutetia (Paris) eine Beheizung seines Schlafraums ablehnte: „...ich mochte den Dienern nicht erlauben, meinen Schlafraum [mit der Hypokaustheizung; Anm. des Autors] zu heizen, denn ich fürchtete, dass dies Dämpfe aus den Mauern zie-

hen könnte.“ Statt dessen ließ er den Raum mit einem Holzkohlebecken erwärmen (Jul., Misopogon 341 B-D; vergl. SCHIEBOLD 2005, 259). Von derartigen Ausnahmen abgesehen, muss das System aber zufriedenstellend funktionieren haben, sonst wären nicht über 500 Jahre lang im ganzen Römischen Reich Hypokaustheizungen gebaut worden.

Das Problem der Rissbildung trat auch in der Anfangszeit der modernen Fußbodenheizung (FBH) auf. Es wurde auf folgende Weise gelöst: Bei dem Estrich der FBH (er ist in seiner Funktion der *suspensura* vergleichbar) handelt es sich jetzt um einen „schwimmenden Estrich“, das heißt, er hat keine feste Verbindung zum Untergrund (Wärmedämmplatten) und ist durch eine rundum verlaufende sogenannte Randfuge (mit einem darin eingelegten dauerelastischen Randdämmstreifen) einschließlich des Bodenbelags vollkommen von den Wänden getrennt (ÖNORM B 2242, 4,4), kann sich also bei Erwärmung ungehindert ausdehnen. Analog zu dieser modernen Lösung müsste eine römische Hypokaustheizung also wie in Abb. 5 aufgebaut gewesen sein. Das war sie aber nicht. Bei den römischen Hypokaustheizungen liegt die *suspensura fix* auf den Pfeilern des hypokausts auf und stößt immer voll an die Wände an, hat also keine Möglichkeit, sich auszudehnen (siehe Abb. 2). Dazu kommt, dass die *suspensura* wesentlich wärmer, ja sogar heißer wird als der Estrich einer modernen FBH, sich daher noch mehr ausdehnt. Trotzdem weisen gut erhaltene römische *suspensurae*, die, wie erwähnt, ohne jeden Spalt voll an den Raumwänden anstanden, keine Risse auf, ja selbst dort, wo die Unterkonstruktion eingebrochen ist, geht (bis zu einem gewissen Grad) die *suspensura* mit, ohne zu brechen (Abb. 6).

Interessant in diesem Zusammenhang ist die Erwähnung von E. Brödner, dass bei Grabungen häufig „verwölbte Hohlböden

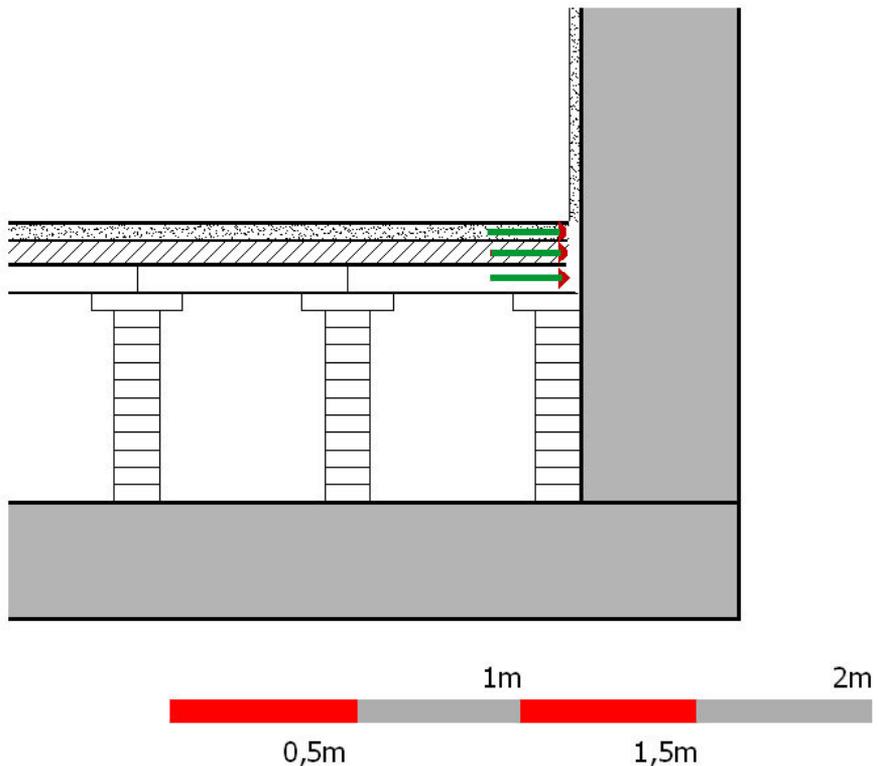


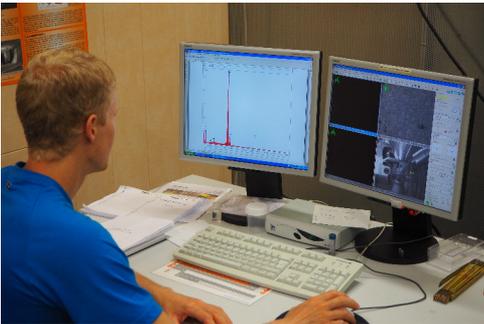
Abb. 5: Die drei Schichten der suspensura haben genügend Platz zur Dehnung (grüne Pfeile). – The three layers of suspensura have room enough to expand (green arrows).

der Hypokausten“ gefunden wurden (BRÖDNER 1989, 76). Was die Rissbildung im Estrich betrifft, ist es denkbar, dass die verwendete Estrichmasse elastischer als unser moderner Estrichbeton war. Die Abbindezeit von opus caementitium ist offenbar wesentlich länger als die modernen Betons. Lamprecht nennt einen Zeitraum von bis zu zwei Jahren (LAMPRECHT 1996, 59). Eine Untersuchung römischen Mörtels mit einem Isotopen-Verfahren im Auftrag der Europäischen Kommission setzt die Zeit bis zur vollständigen Aushärtung fallweise mit bis zu 100 Jahren an (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2005, 60). Die Lösung des Problems könnte bei dem opus caementitium (einer Art „Kalkbeton“), das für die suspensura verwendet wurde, und dessen Verarbeitung liegen. Leider sind uns keine Zusammensetzungen

gen oder Anleitungen zur Herstellung für diesen Zweck aus römischer Zeit überliefert. Um der Frage auf den Grund zu gehen, wird seit zwei Jahren auf Grund einer Anregung des Autors fachübergreifend nach einer Lösung gesucht. Beteiligt sind: die „Versuchsanstalt Innsbruck – staatlich akkreditierte Versuchsanstalt für Baustoffe“ (Dr. Klemens Maier), die „Stiftungsassistentin Materialwissenschaft in der Denkmalpflege“ (Dr. Anja Diekamp) vom Institut für Konstruktion und Materialtechnologie an der Fakultät für Technische Wissenschaften der Universität Innsbruck und der Autor vom Institut für Archäologien der Universität Innsbruck. Die Lösung schien ganz einfach zu sein: die Zusammensetzung römischer suspensurae materialtechnisch analysieren und daraus ein Rezept erstellen. Zu-



*Abb. 6: Wellenförmig verformter Boden in den Kleinen Thermen von Cambodunum. – Wave-like distorted floor in the Kleinen Thermen von Cambodunum.*



*Abb. 7: Materialuntersuchung im Labor des Instituts für Materialtechnologie (Universität Innsbruck). – Material research in the lab of the institute for material technology (University Innsbruck).*

nächst wurden am Institut für Materialtechnologie Materialproben aus der römischen Villa von Borg, den Archäologischen Parks von Xanten und Homburg-Schwarzenacker sowie aus den Kleinen

Thermen von Cambodunum (Kempten im Allgäu) mittels Röntgendiffraktometrie untersucht (Abb. 7-11).

Das Ergebnis war ernüchternd: Alle vier Proben hatten nur eines gemeinsam – den hohen Anteil an Kalk. Das war bei einem „Beton“ mit dem Bindemittel Kalk zu erwarten gewesen. Aber sonst gab es keine signifikante Übereinstimmung; weder bei den Zuschlagstoffen noch bei deren Korngrößen. Das heißt, ein einheitliches Rezept für den Estrich der suspensura gab es offenbar nicht!

Neu war für uns der relativ große Anteil an Keramik (Ziegelstücken unterschiedlicher Größe) in der suspensura, obwohl es sich nicht um wasserdichtes opus caementitium handelte, für das eine hohe Zumischung von fein gemahlenem Ziegelsplitt charakteristisch ist (leicht an seiner rötlichen Farbe erkennbar).

## Röm. Estrich Villa Borg

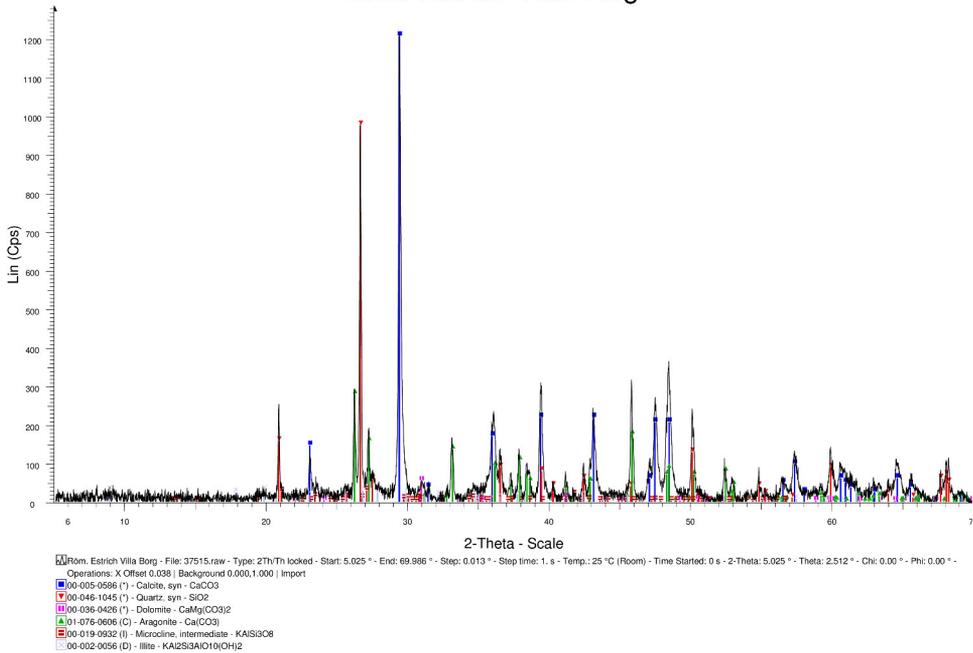


Abb. 8: Diffraktogramm der suspensura-Probe. – Diffraktogramm of the suspensura sample.

## Röm. Estrich Xanten

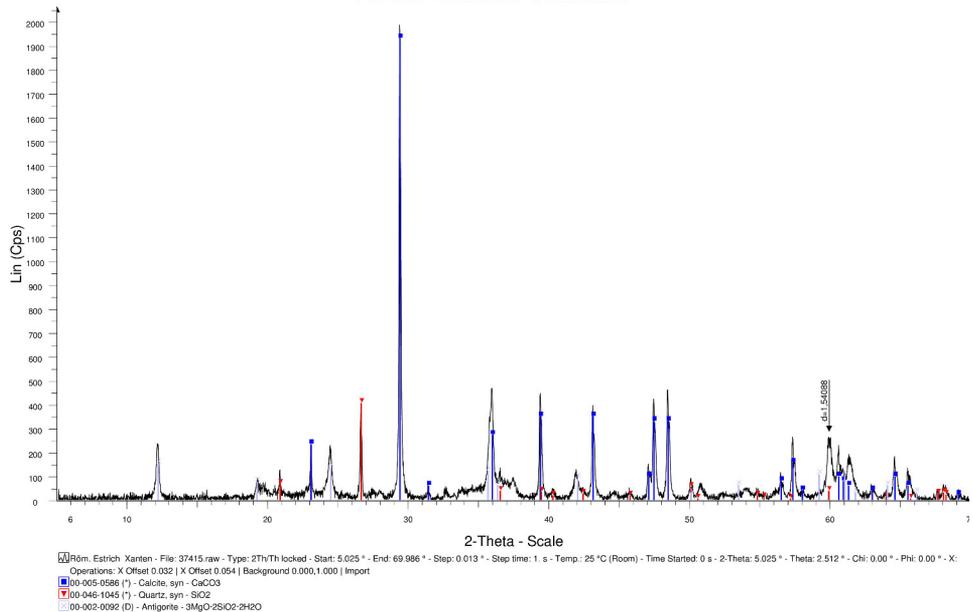


Abb. 9: Diffraktogramm der suspensura-Probe. – Diffraktogramm of the suspensura sample.

## Röm. Estrich Kempton

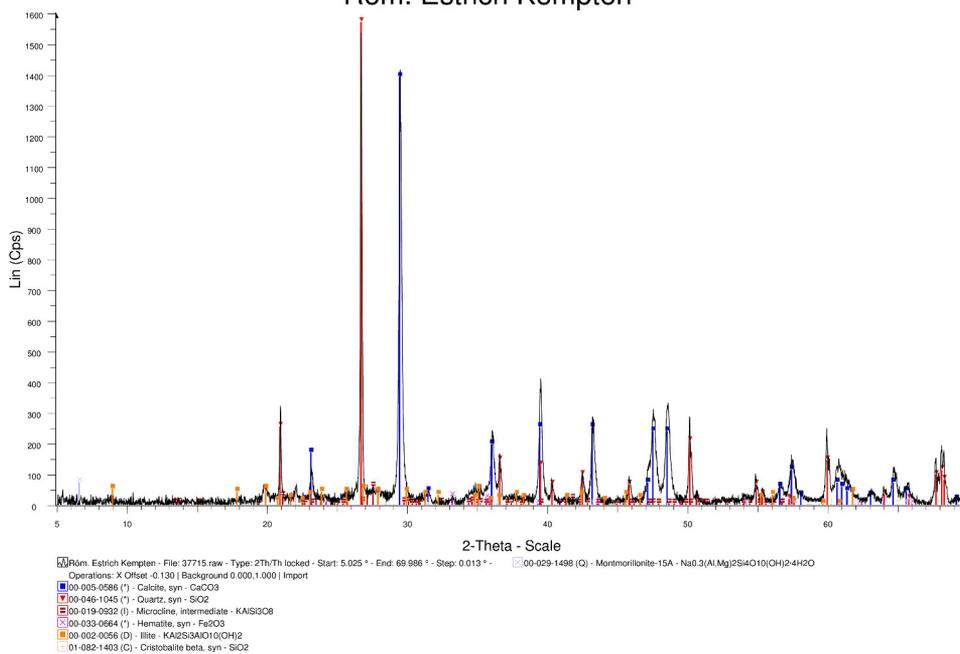


Abb. 10: Diffraktogramm der suspensura-Probe. – Diffraktogramm of the suspensura sample.

## Röm. Estrich Schwarzenacker

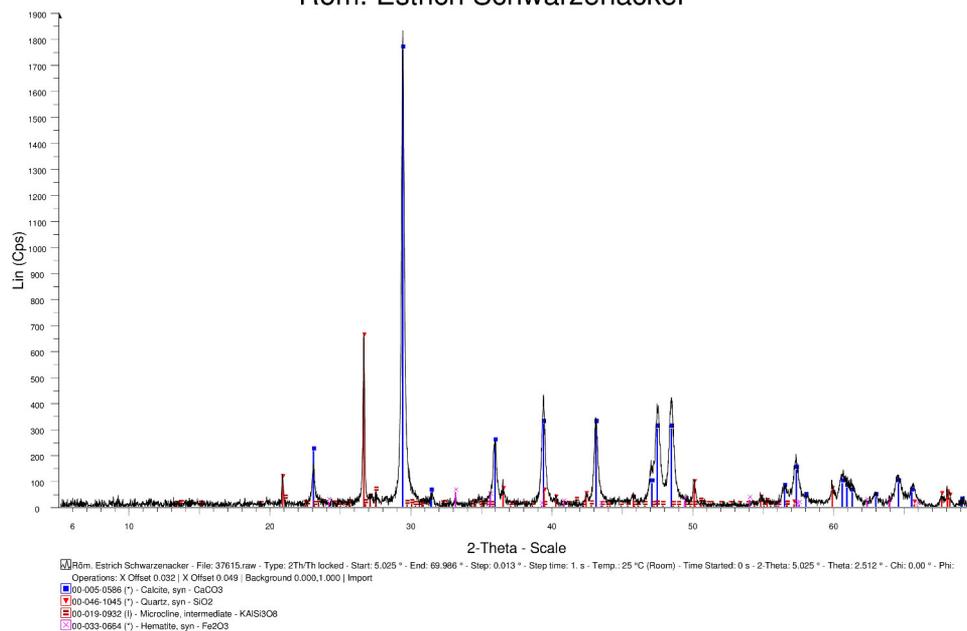


Abb. 11: Diffraktogramm der suspensura-Probe. – Diffraktogramm of the suspensura sample.

Weitere Untersuchungen am Institut für Materialtechnologie wie z. B. Rasterelektronenmikroskopie sind auf jeden Fall erforderlich, um beim Material mehr in die Tiefe gehen zu können. Der auf der Tagung gezeigte Poster von Tobias Bader MSc. und Martin Schidlowski MSc. vom Institut für Konstruktion und Materialtechnologie (siehe auch deren Beitrag in diesem Buch) zeigt bereits erste Resultate der Untersuchungen. Gleichzeitig starteten an der Versuchsanstalt Innsbruck praktische Versuche mit unterschiedlichen Materialzusammensetzungen. Die Ergebnisse wurden bewertet und darauf aufbauend gezielt weitere Versuche durchgeführt. Dabei zeigte es sich, dass es nicht nur auf die Zusammensetzung, sondern auch auf die Art der Verarbeitung ankommt. Am Beispiel gebrannter Kalk: Wurde er gebrannt, dann gelöscht und anschließend mit den Zuschlagstoffen vermischt? Wurde er gebrannt, gelöscht, eingesumpft und dann vermischt? Wurde er gebrannt, trocken mit den Zuschlagstoffen vermischt und dann erst in der Mischung gelöscht? Gar nicht zu reden von den Mischungsverhältnissen. Am Beispiel Einbringung der fertigen Masse: War sie erdfeucht wie bei modernen Estrichen oder nass und flüssiger? Wurden die beiden Schichten gleich nacheinander oder mit zeitlichem Abstand eingebracht? Wann begann man zu heizen? Bei noch feuchter oder bei bereits getrockneter Masse? Doch darüber berichtet Dr. Klemens Maier von der Versuchsanstalt Innsbruck in seinem Beitrag in diesem Buch.

## Quellen

Julian Apostata: Misopogon 341 B-D.

## Literatur

**BRÖDNER, E. 1989:** Wohnen in der Antike. Darmstadt 1989.

**EUROPÄISCHE KOMMISSION 2005:** European Communities, Project Report – Isotopic Technologies Applied to the Analysis of Ancient Roman Mortars – EUR 21624. Brussels 2005.

**KRETZSCHMER, F. 1953:** Hypokausten. Saalburg Jahrbuch XII, 1953, 8-41.

**LAMPRECHT, H. O. 2001:** Opus Caementitium – Bautechnik der Römer. Düsseldorf 2001.

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

**ÖNORM B 2242:** Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), ÖNORM B 2242, Herstellung von Fußbodenheizungen, Teile 1-4. Wien 1998.

**REICHEL, W. 2007:** Die Flächenheizung und der Fenstereinfluss auf die Behaglichkeit im Warmbad. In: gi Gesundheits-Ingenieur – Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik 128, Heft 2, 2007, 79-85.

**SCHIEBOLD, H. 2005:** Strömungsverlauf der Rauchgase in Hypokaustenanlagen für Heizung und Wassererwärmung. In: gi Gesundheits-Ingenieur – Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik 126, Heft 5, 2005, 254-259.

Abbildungsnachweis

Abb. 1-6: H. Lehar

Abb. 7-10: A. Diekamp

Autor

Mag. Dr. Hannes Lehar

Universität Innsbruck

Freier wissenschaftlicher Mitarbeiter

Institut für Archäologien, Fachbereich

Klassische und Provinzialrömische

Archäologie

Zentrum für alte Kulturen

Langer Weg 11

6020 Innsbruck

Österreich

hannes.lehar@aon.at