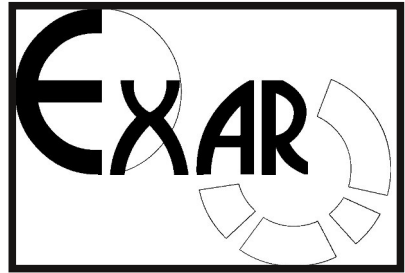


EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA  
Jahrbuch 2018  
Heft 17

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

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

## Vermittlung und Theorie

<i>Peter Kienzle</i> Der Forscher – die Botschaft – der Besucher. Kommunikation an archäologischen Stätten	220
---	-----

<i>Sylvia Crumbach</i> Experimentelle Archäologie – Was für eine Frage?	230
<i>Claudia Merthen</i> Neuer Name – bewährtes Konzept. Das Potential von Citizen Science für die Experimentelle Archäologie	236
 Jahresbericht und Autorenrichtlinien	
<i>Ulrike Weller</i> Vereinsbericht der Europäischen Vereinigung zur Förderung der 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



## Rezeptentwicklung von Opus Caementitium zur Verwendung in Hypokaustheizungen

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

**Summary – Development of a recipe of Opus Caementitium for use in a hypocaust.**  
*In the course of reconstruction of hypocausts it was found out that by use of customary screeds because of the high temperatures in the hypocaust considerable length expansions originate. These length expansions generate high compressive stress on the walls and building damages can be produced. A construction reacting to this length expansion of the suspensura with an open deformation gap led to the entry of smoke gases in the living space. Thus in connection with the reconstruction attempts it points out that the ancient material Opus Caementitium has to be given also by the construction of hypocausts a far higher attention than supposed.*

*In the course of a thesis at the HTL in Innsbruck together with Dipl.-Ing. Dr. techn. Anja Diekamp of the university of Innsbruck experiments in a modern interpretation of the building material Opus Caementitium were done to be able to investigate the bases. After experiments with anhydrate, fly ash, a processed hydraulically addition for concrete production and brick break it became clear that a stronger hydraulic component is required to get a better reactivity and better strength and elasticity. Light microscopies and REM analyses of old materials carried out by Dipl.-Ing. Dr. techn. Anja Diekamp showed further evidences for recipe attempts and formed a basis for other experiments with changed basic materials.*

*Keywords: Roman screed, hypocaust, compound research*

*Schlagworte: Römischer Estrich, Hypokaust, Mischungsuntersuchungen*

### Serie 1

Im Zuge der Rekonstruktion von Hypokaustheizungen wurde festgestellt, dass bei Verwendung herkömmlicher Estriche durch die hohen Temperaturen im Hypokaust erhebliche Längenausdehnungen entstehen, die in weiterer Folge zu hohen Druckspannungen auf die Wände und dort zu Zerstörungen führen können.

Eine auf diese Längenausdehnung reagierende Herstellung der Suspensura mit offenem Verformungsspalt führte zum Eintrag von Rauchgasen in den Wohnraum.

So zeigte sich im Zusammenhang mit den Rekonstruktionsversuchen, dass dem Material Opus Caementitium auch beim Bau von Hypokaustheizungen ein weit höheres Augenmerk geschenkt werden

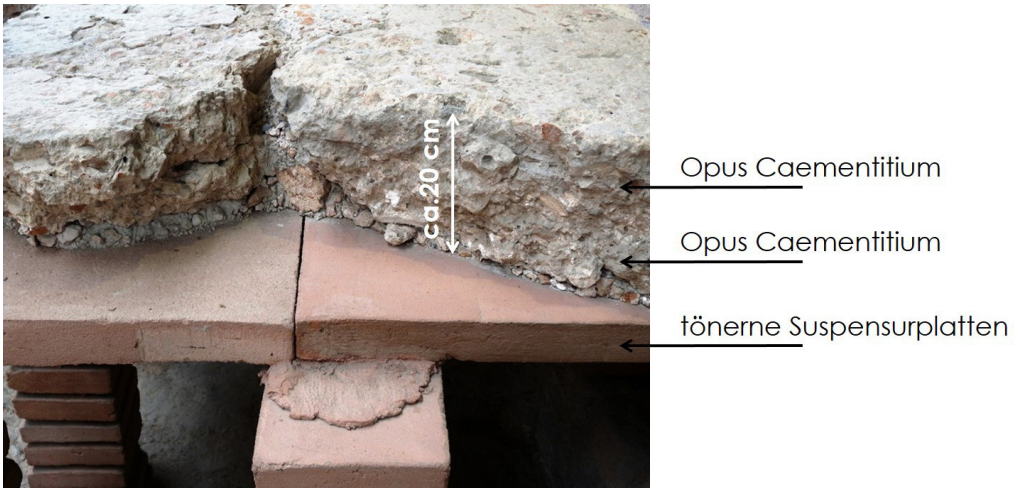


Abb. 1: Aufbau Hypokaustheizung. – Cross section of a hypokaust.

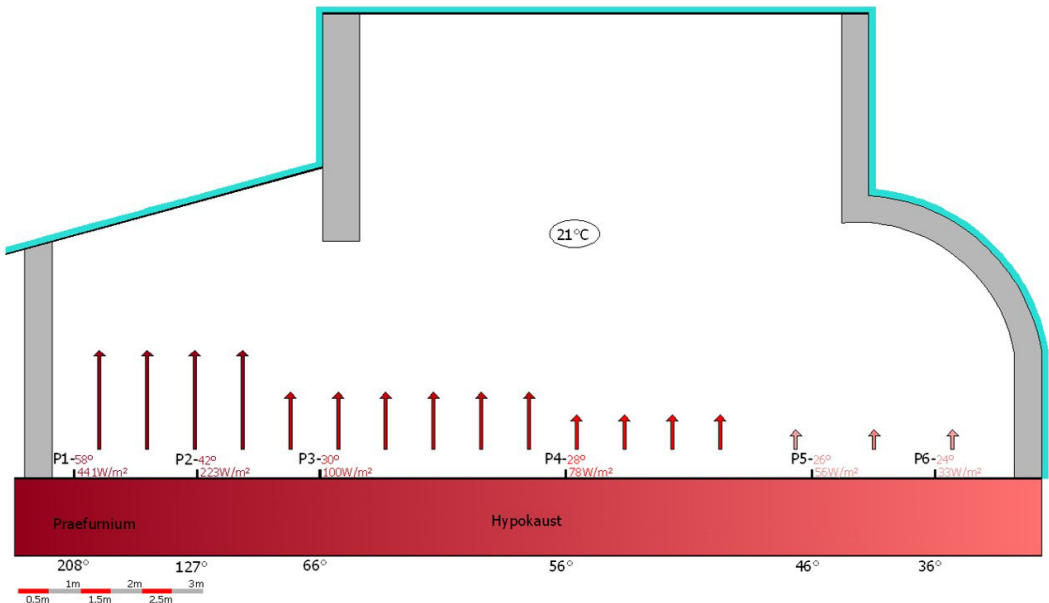


Abb. 2: Temperaturverlauf in Hypokaustheizung. – Temperatures in a hypokaust.

muss als bisher angenommen (Abb. 1). Mag. Dr. Hannes Lehar, Universität Innsbruck, Institut für Archäologien, Fachbereich Klassische und Provinzialrömische Archäologie, stellte im Zuge seiner Dissertation Berechnungen zur Wirkungsweise der Hypokaustheizungen an und lieferte auf Grund seiner Rechenmodelle der Temperaturverläufe erste Anhaltspunkte

zum auftretenden Temperaturbereich (Abb. 2). Nach ersten Überlegungen gemeinsam mit Dr. Lehar wurde rein durch Betrachtung des Temperaturverlaufs bald klar, dass eine einfache konstruktive Lösung des Problems nicht realistisch sein wird und die praktischen Untersuchungen viel tiefer in die Materialkomponente gehen müssen.

Proben Nr.	AHWZ [%]	Kalkhydrat [%]	Flugasche [%]	Ziegelbruch [%]
Probe 1	95	5	0	0
Probe 2	0	5	95	0
Probe 3	0	100	0	0
Probe 4	90	10	0	0
Probe 5	0	10	90	0
Probe 6	85	15	0	0
Probe 7	0	15	85	0
Probe 8	80	20	0	0
Probe 9	0	20	80	0
Probe 10	72	18	0	10
Probe 11	0	18	72	10
Probe 12	50	50	0	0
Probe 13	0	50	50	0
Probe 14	38,5	38,5	0	30
Probe 15	57,5	19,5	0	23
Probe 16	0	50	0	50

Abb. 3: Mischungen und Mischungsverhältnisse der Serie 1. – Mixtures test 1.

Nach weiteren Überlegungen zusammen mit Frau Dipl.-Ing. Dr. techn. Anja Diekamp von der Universität Innsbruck, Institut für Materialwissenschaften, wurden im Zuge einer Diplomarbeit Materialversuche geplant und durchgeführt.

In einem ersten Schritt sollte versucht werden, durch Herstellung unterschiedlichster Mischungen die Grundwirkungswiese von Kalkmörteln unter Temperatureinfluss zu verstehen. Um die Ergebnisse nicht durch die großen Streuungen der Materialkennwerte alter Baustoffe zu verfälschen, wurden die Versuche mit modernen qualitätsgesichert hergestellten Ausgangsstoffen durchgeführt.

Da die Römer zur Herstellung von Opus Caementitium Kalk verwendeten, wurde nun für die ersten Versuche als Ausgangsstoff Kalkhydrat gewählt, um die Einflüsse der unterschiedlichen Kalke auszuschließen.

Anhand der Analysen von Frau Dr. Diekamp zeigte sich, dass in den Proben der

untersuchten Bruchstücke alter Thermenanlagen bis auf einen auffallend hohen Kalkanteil keine Übereinstimmung im Aufbau gegeben war. Allgemein war in den Proben neben den Gesteinskörnungen ein relativ hoher Ziegelanteil feststellbar. Daher wurde für die ersten durchgeführten Experimente ein qualitätsgesichertes modernes Produkt verwendet, welches zerschlagen und auf entsprechende Größe gebracht wurde.

Hypokaustheizungen waren im römischen Reich weit verbreitet. Im Zuge von Literaturrecherchen zu bisherigen Analysen der Hypokaustheizungen zeigte sich, dass beim Bau von Hypokaustheizungen als Gesteinskörnung die in der jeweiligen Gegend vorhandenen Gesteine verwendet worden waren. So wurde nun auch für die Versuche an der HTL Innsbruck als Gesteinskörnung ein sehr gleichmäßiger Kalksand aus dem Raum Tirol verwendet. Unerwünschten Schwankungen der Wasserqualität wurde durch die Verwendung

von Trinkwasser aus dem Innsbrucker Trinkwasserleitungsnetz vorgebeugt.

Alle Vorüberlegungen deuteten darauf hin, dass es bei der Rekonstruktion von Hypokaustheizungen an einer hydraulischen Komponente fehlen könnte. So wurde beschlossen, in die Versuchsserie auch das Ausgangsmaterial Flugasche und das Material „Aufbereiteter Hydraulisch Wirksamer Zusatzstoff“ miteinzubeziehen.

Die verwendete Flugasche ist ein Abfallprodukt aus den Filtern von Kohlekraftwerken und dient bei modernen Betonen zur Verbesserung der Eigenschaften. Das Produkt ist gemäß ÖNORM EN 450 klassifiziert und qualitätsüberwacht.

Das Material „Aufbereiteter Hydraulisch Wirksamer Zusatzstoff“ dient ebenfalls der Verbesserung moderner Betoneigenschaften. Das verwendete Produkt ist gemäß ÖNORM B 3309-1 klassifiziert, von der Versuchsanstalt für Baustoffe an der HTL Innsbruck qualitätsüberwacht und ist ein Kombinationsprodukt aus Flugasche, Hochofenschlacke und Kalkstein.

Um eine Reproduzierbarkeit zu ermöglichen und doch ein Herstellverfahren zu finden, welches von den Römern baupraktisch angewandt worden sein könnte (leider wurden ja keine Aufzeichnungen dazu in der Literatur gefunden), wurden folgende Festlegungen getroffen:

- Die Wasserzugabe erfolgte rein aus optischen und verarbeitungstechnischen Gründen.
- Kein fixes „Wasser-Bindemittel-Verhältnis“.
- Die Wassermenge wird so gewählt, dass sich ein homogenes und einfach zu verarbeitendes Material ergibt.
- Protokollierung der zugegebenen Wassermengen
  - zur Reproduzierbarkeit,
  - um Aussagen über den Wasseranspruch der einzelnen Mischungen treffen zu können.
- Das Verhältnis Bindemittel zu Gesteins-

körnung wurde ausgehend von Literaturrecherchen für alle Mischungen mit 1:3 fixiert, um eindeutige Aussagen treffen zu können.

Weiters wurde festgelegt, dass einerseits zur Absteckung der Grenzen Extremmischungen hergestellt werden sollen, andererseits durch geringfügige Mischungsänderungen die von den einzelnen Ausgangsstoffen folgenden Auswirkungen wesentlich besser bewertbar gemacht werden sollen.

Somit ergaben sich 16 Rezepturen (*Abb. 3*).

Je Mischung wurden dann folgende Probekörper für folgende Prüfungen hergestellt:

Prismen 40/40/160 mm: Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit (nach 3 Tagen, nach 28 Tagen).

Prismen 40/40/160 mm: Wärmeausdehnungsverhalten.

Würfel 150/150/150 mm: Druckfestigkeit (nach 28 Tagen).

Prismen 100/100/400 mm: Elastizitätsmodul.

## Ergebnisse

Es zeigte sich, dass die Festigkeiten bei Verwendung von „Aufbereiteten Hydraulisch Wirksamen Zusatzstoffen“ nach 28 Tagen höhere Werte erreichten, jedoch auch die Verformungen infolge Temperaturerhöhung wesentlich höher sind (*Abb. 4, 6, 8*).

Bei Verwendung von Flugasche als zusätzliche hydraulische Komponente war neben der geringeren Wärmeausdehnung auch eine gleichmäßigere und einfachere Verarbeitbarkeit gegeben (*Abb. 5, 7, 9*).

Es wurde im Zuge der Versuche aber auch klar ersichtlich, dass die modernen Ausgangsstoffe rasch an ihre Grenzen kommen und beispielsweise modern hergestellte Ziegel im Gegensatz zu alten Ziegeln auf Grund der heute üblichen ho-

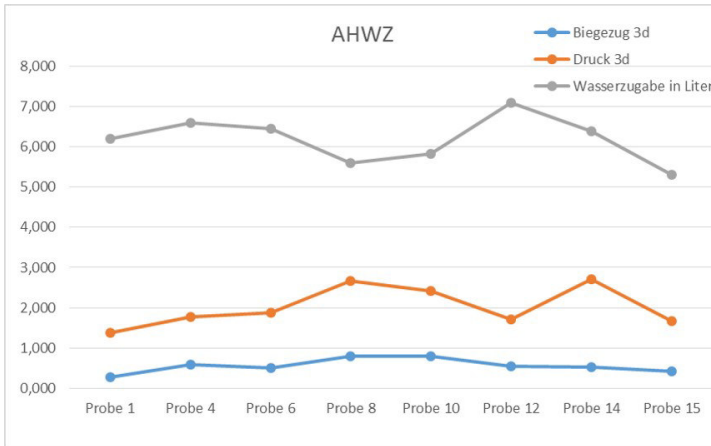


Abb. 4: Biegezug- und Druckfestigkeiten nach drei Tagen bei Verwendung von AHWZ. – Flexural strength and compressive strength after three days using AHWZ.

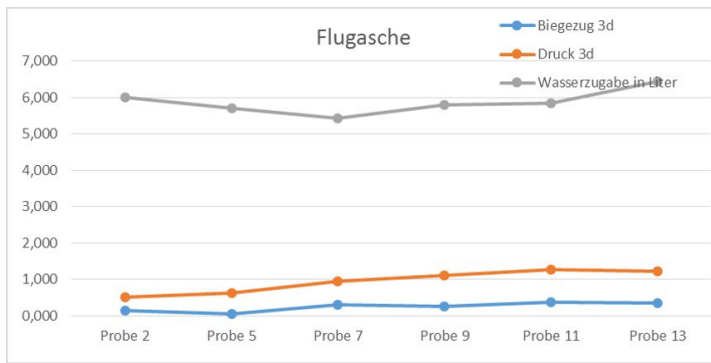


Abb. 5: Biegezug- und Druckfestigkeiten nach drei Tagen bei Verwendung von Flugasche. – Flexural strength and compressive strength after three days using flyash.

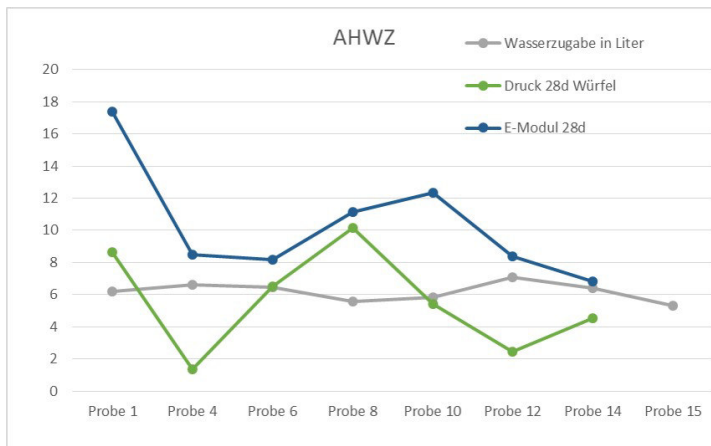


Abb. 6: E-Modul und Druckfestigkeiten nach 28 Tagen bei Verwendung von AHWZ. – Modulus of elasticity and compressive strength after 28 days using AHWZ.

hen Brenntemperaturen keine hydraulischen Komponenten mehr enthalten. Ebenfalls zeigte sich, dass die Gleichmäßigkeit von Kalkhydrat die Versuchsergebnisse zwar sehr reproduzierbar macht, jedoch die in den alten Proben vorhandenen Unregelmäßigkeiten im Aufbau der Kalke mit den dadurch bedingten positi-

ven Effekten nicht mehr gegeben sind. Auf Grund der gesammelten Ergebnisse wurde eine weitere Diplomarbeit durchgeführt. Nun sollte sowohl der Einfluss verschiedener „alter“ Kalke als auch der Einfluss „alter“ bzw. in den letzten Jahren auf alte Weise gebrannter Ziegel untersucht werden.

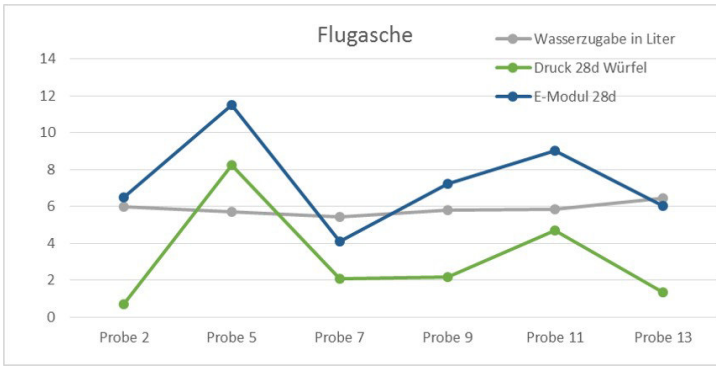


Abb. 7: E-Modul und Druckfestigkeiten nach 28 Tagen bei Verwendung von Flugasche. – Modulus of elasticity and compressive strength after 28 days using flyash.

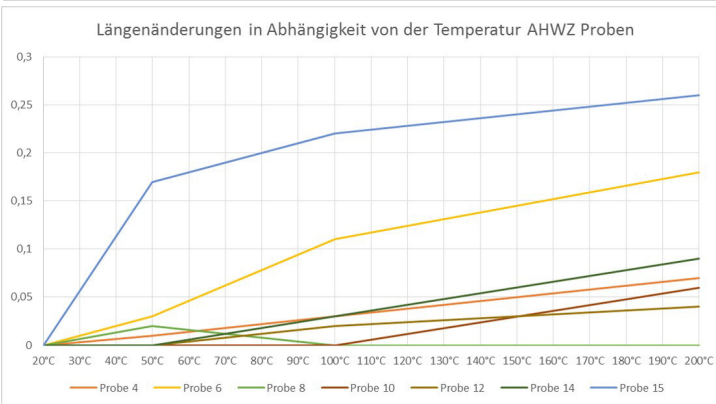


Abb. 8: Längenänderung in Abhängigkeit von der Temperatur bei Verwendung von AHWZ. – Length change depending on the temperature using AHWZ.

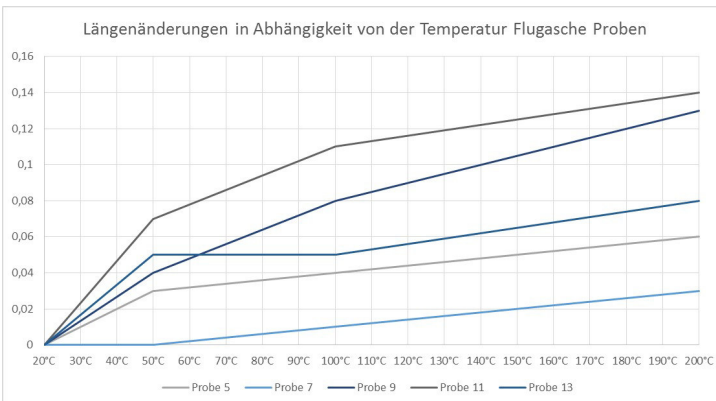


Abb. 9: Längenänderung in Abhängigkeit von der Temperatur bei Verwendung von Flugasche. – Length change depending on the temperature using flyash.

## Serie 2

Im Zuge dieser neuen Diplomarbeit wurde das Kalkhydrat einmal durch Sumpfkalk auf Basis eines Holzgebrannten Kalkes, einmal durch Sumpfkalk auf Basis eines Gasgebrannten Kalkes und einmal durch einen durch die Diplomanten trockengelöschten Stückkalk ersetzt. Aus Literaturrecherchen und den darin enthaltenen Materialanalysen wurde ersichtlich, dass

sehr häufig „Kalkspatzen“ (ein kleines nach dem Brennen im Ziegel erkennbares Kalkstück) gefunden wurden, weshalb auch das Hauptaugenmerk in den Untersuchungen auf den trockengelöschten Brandkalk gelegt wurde. Der Löschvorgang ist einfach und recht sicher durchführbar.

Aus baupraktischen und ökonomischen Überlegungen lässt sich wohl schließen, dass die im Opus Caementitium vorhan-

Nr.	Mischungsverhältnis	Kalkart	Ziegelart
1	S0,K3, Z1	Kalkhydrat	moderner Ziegel
2	S0,K3, Z1	Kalkhydrat	moderner Ziegel
2S	S-, K3, Z1	Kalkhydrat	moderner Ziegel
3	S3, K0,5, Z1	trockengelöscht	nachgebauter Ziegel
4	S0,857, K0,1428, Z3	trockengelöscht	nachgebauter Ziegel
5	S1,K3,Z1	trockengelöscht	nachgebauter Ziegel
6	S1,K3,Z1	Sumpfkalk (holzg.)	nachgebauter Ziegel
7	S1,K3,Z1	Sumpfkalk	nachgebauter Ziegel
8	S1,K3, Z1	Kalkhydrat	nachgebauter Ziegel
9	S1, K3, Z1	Alle	nachgebauter Ziegel
10	S0, K3, Z1	Kalkhydrat	nachgebauter Ziegel
11	S1, K6, Z1	trockengelöscht	nachgebauter Ziegel
12	S1, K1, Z1	trockengelöscht	nachgebauter Ziegel

Abb. 10: Mischungen und Mischungsanteile Serie 2. – Mixtures test 2.



Abb. 11: Verschiedene Probekörper aus Serie 2. – Different specimens test 2.

denen Ziegelstücke nicht aus eigens dafür gebrannten Ziegeln stammen, sondern viel wahrscheinlicher im Zuge der Ziegelherstellung zerbrochene Reststücke verwendet wurden. Somit ist von einer Verwendung im Zuge der alten Brennöfen mit stark unterschiedlichen Brenntemperaturen über- bzw. unterbrannter Ziegel auszugehen.

Speziell die unterbrannten Ziegel sind dabei von Interesse, denn diese Reststücke weisen noch sehr hohe reaktive Anteile auf und dienen damit im Opus Caementitium als hydraulische Komponente.

Über Vermittlung von Mag. Dr. Lehar konnten handgestrichene Ziegel mit den Abmessungen 37/37/5 cm aus dem Ziegeleimuseum in Lage organisiert werden.

Dr. Andreas Immenkamp hat diese Ziegel mit einem nachgebauten römischen Ziegelofen gebrannt. Ziel war es, Ziegel für die Versuche zu erhalten, die einer geringeren Brenntemperatur, d. h. im unteren Bereich der üblichen Temperaturbandbreite von 650°C und 980°C, ausgesetzt gewesen waren. Analysen von Frau Dr. Diekamp zeigten jedoch, dass die nachgebrannten Ziegel im Gegensatz zu den im Zuge von Untersuchungen alter Proben im Opus Caementitium gefundenen Ziegeln eine zu hohe Brenntemperatur erhalten hatten. Dies ist ein weiteres Indiz dafür, dass die damals verwendeten Ziegelbruchstücke größtenteils Abfall gewesen sein dürften, welche unterbrannt gewesen waren.

Die Komponente Gesteinskörnung wurde wie das Wasser analog zur ersten Serie gleich gehalten.

Es wurden daraus 13 Mischungen kreiert und hergestellt sowie geprüft (*Abb. 10-11*).

Anhand der bereits hergestellten und optimierten Mischungen werden derzeit noch einige Versuche durchgeführt, deren Ergebnisse nach dem Vorliegen der Analysen veröffentlicht werden.

## Ausblick

Um weiterführende Aussagen zum Ausdehnungsverhalten zu bekommen, werden Versuchsplatten mit 50/50 cm hergestellt und Temperaturen bis zu 100°C ausgesetzt. Die dazu verwendete Mischungsrezeptur wird auch für länger andauernde Versuche verwendet.

## Literatur

**DRAXL, D., LEISMÜLLER, M., MUIGG, M. 2017:** Opus Caementitium zur Verwendung in Hypokaustheizungen. Diplomarbeit an der Höheren Technischen Bundes-Lehr und Versuchsanstalt, 2017.

**HÖRTNER, O., HANSER, A. 2018:** Opus

Caementitium zur Verwendung in Hypokaustheizungen. Diplomarbeit an der Höheren Technischen Bundes-Lehr und Versuchsanstalt (Zwischenbericht), 2018.

**LAMPRECHT, H. O. 2001:** Opus caementitium. Bautechnik der Römer. Bau und Technik. 5. Aufl., Düsseldorf 2001.

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

**SCHIDLOWSKI, M., BADER, T., DIEKAMP, A. 2017:** Mineralogische und chemische Charakterisierung Römischer Mörtel. Posterpräsentation EXAR-Tagung Xanten 2017.

**WANG, S. 1995:** Römischer Kalkmörtel aus der Colonia Ulpia Traiana bei Xanten: Mineralogische und chemische Eigenschaften. Dissertation Universität Karlsruhe, 1995.

## Abbildungsnachweis

Abb. 1-2: H. Lehar

Abb. 3-9: K. Maier, Daniel Draxl, Matthias Leismüller, Manuel Muigg

Abb. 10-11: K. Maier, Alexander Hanser, Oskar Hörtner



## Autoren

Dipl.-Ing. Dr. techn. Klemens Maier  
MAIER-MAIER ZIVILTECHNIKER GmbH  
Kreith 43  
6162 Mutters  
Österreich  
mmzt@aon.at  
Versuchsanstalt für Baustoffe an der  
Höheren Technischen Bundes-Lehr und  
Versuchsanstalt in Innsbruck  
Trenkwaldersstraße 2  
6020 Innsbruck  
Österreich  
klemens.maier@versuchsanstalt-ibk.at

Daniel Draxl, Matthias Leismüller, Manuel  
Muigg, Alexander Hanser, Oskar Hörtnner  
Schüler an der HTL Bau & Design  
Innsbruck  
Trenkwaldersstraße 2  
6020 Innsbruck  
Österreich