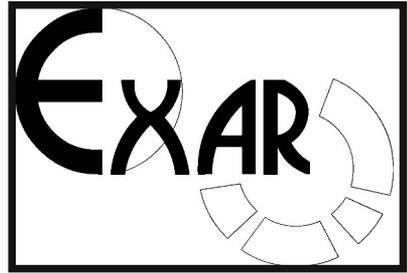


EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA  
Jahrbuch 2018  
Heft 17

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 Einbaubau?	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

## Erfahrungen aus dem Betrieb der rekonstruierten kleinen Thermen in Xanten

Peter Kienzle

**Summary – Experiences in operating the reconstructed Roman baths in the Archaeological Park at Xanten.** In 1989, the small Roman baths at the hostel were reconstructed in the LVR-Archaeological Park at Xanten. After scientific but yet unpublished investigations in 1993/94 by the Verein Deutscher Ingenieure (VDI), the baths were heated up several times every year until they had to be closed in 2005. Poisonous vapour was entering the bathrooms. Prior to a refurbishment, current investigations try to establish if the baths were wrongly operated, wrongly reconstructed or if the Romans had similar problems. By now, we know that heating up the baths will take at least four weeks and within these four weeks, corrosive condensation occurs. Thus, in Roman times the baths were heated up once and used for a long period, rather than heated up numerous times. Furthermore, damp firewood has caused some problems and the air supply to the fire was not sufficient. Cracks occurred due to thermal expansion of the floor slab made of a modern replica of opus signinum. Obviously, the Roman mortar, made of lime and crushed tiles, showed less thermal expansion. The results of this research will become part of the new project design to refurbish the baths and improve its technical details but also enhances our knowledge of the way Roman underfloor heating worked.

*Keywords: Roman baths, underfloor heating, corrosive condensation, tarry soot, shining soot, thermal expansion*

*Schlagworte: Römische Thermen, Fußbodenheizung, Versottung, Schmierruß, Glanzruß, Temperaturausdehnung*

### Einleitung

Der vorliegende Beitrag ist die erweiterte und fortgeschriebene Version des Forschungsberichtes zu den Schäden an den Herbergsthermen, der erstmalig im Jahr 2009 in Carnuntum vorgestellt wurde (KIENZLE 2011). Seitdem haben sich neue Aspekte und neue Fragestellungen ergeben, insbesondere aus der Zusammenarbeit mit Dr. Hannes Lehar, Universität

Innsbruck (siehe auch seinen Beitrag in diesem Band).

Die Überreste der römischen Stadt Colonia Ulpia Traiana (CUT) liegen unmittelbar nördlich des heutigen Xantens am Niederrhein. Im Osten der Insula 38 der CUT wurden zwischen 1975 und 1983, gegenüber der am Hafen gelegenen Stadtmauer, größere Flächen archäologisch untersucht. Im Verlauf der Grabung legten die Ausgräber Überreste einer



Abb. 1: Filmaufnahmen zum römischen Badewesen in den Herbergsthermen. – *Filming Roman life in the baths at Xanten.*

Herberge (*mansio*) frei (PRECHT 1978; KIENZLE 2008). Zu diesem Gebäude gehörte auch eine kleine, mehrphasige Badeanlage (BRIDGER 1989). Nach Abschluss der Grabungen erstellte Gundolf Precht einen Rekonstruktionsentwurf für den gesamten Baukomplex und stellte diesen Entwurf im Rahmen eines wissenschaftlichen Fachkolloquiums zur Diskussion. Das Gremium empfahl die Rekonstruktion des gesamten Gebäudekomplexes, wobei die Thermenanlage an der Herberge als funktionsfähiges Modell errichtet werden sollte.

Die Rekonstruktionsarbeiten an der Herberge begannen, mit Förderung des Landes Nordrhein-Westfalen, im Jahr 1982 (PRECHT 1983, 72). Die sogenannten kleinen Thermen wurden von 1986 bis 1989 als letzter Bauabschnitt errichtet. Im Ge-

gensatz zum ersten und zweiten Bauabschnitt der Herberge erfolgte diese Rekonstruktion materialgerecht. Bei der Rekonstruktion der Herberge wurden moderne Baumaterialien verwendet, lediglich Putz, Malerei und Schreinerarbeiten, die letztendlich die sichtbare Oberfläche darstellen, wurden konkret nach römischen Vorbildern gestaltet. Bei der Thermenanlage legte man dagegen Wert auf eine authentisch betriebsfähige Rekonstruktion. Deshalb entstanden alle Wände aus zweischaligem Tuffmauerwerk. Für den *hypokaust*-Bereich wurden eigens Tonziegel entsprechend der römischen Dimensionen angefertigt. Für den Bodenbelag aus *opus signinum* unternahm man zahlreiche Versuche im Vorfeld, um die richtige Mörtelmischung zu entwickeln. Er wurde aus Weißzement und Ziegelbruch nachgebildet.

In Kooperation mit dem Verband Deutscher Ingenieure (VDI) wurden die Herbergsthermen im Sommer 1993 und im Winter 1993/94 wissenschaftlich beheizt und untersucht. Es wurde genau vermerkt, wie oft und in welchen Abständen welche Menge an Brennholz nachgelegt wurde. Mit zahlreichen Messstellen unter dem Fußboden, in den Badebecken, in den Rauchabzügen, im Dachraum und an der Außenwand wurden die Temperaturverläufe dokumentiert. Leider kam es nie zu einer abschließenden Publikation der Messergebnisse.

In den Jahren danach wurden die Thermen mehrfach im Jahr angeheizt – teilweise für die Besuche wichtiger Gäste, überwiegend jedoch für die jährlich stattfindende Sommerakademie und für die alle zwei Jahre stattfindende Großveranstaltung „Schwerter, Brot und Spiele“. Die Anlage bildete ein Kernstück der Vermittlung im LVR-Archäologischen Park Xanten (APX). Hier konnte das römische Badewesen in seiner einfachen, provinziellen Ausprägung gezeigt werden. Die Erklärung zur Funktionsweise einer römi-

schen Thermenanlage und einer *hypocaust*-Heizung war Bestandteil jeder Führung im APX. Insbesondere, wenn die Thermen beheizt waren, wurde der Besuch der kleinen Badeanlage zu einem unvergesslichen Erlebnis. Das Quietschen der Türen in den Angeln, das Plätschern des Wassers, die Wärme und die Feuchtigkeit im *caldarium*, das kalte und das warme Wasser in den beiden Badebecken und der Geruch nach Holzfeuer bescherten den Besuchern ein Erlebnis für alle Sinne. Eine Führung in den beheizten Thermen bildete lange vor der musealen Entdeckung des Begriffs der Immersion einen Höhepunkt der musealen Vermittlung im Archäologischen Park (Abb. 1).

Im Jahr 2005 wurden die Herbergsthermen zum letzten Mal beheizt. Danach musste der Betrieb aufgrund von Schäden am Gebäude eingestellt werden. Weil giftige Rauchgase in größeren Mengen in die Baderäume eindringen, war ein sicherer Besucherbetrieb bei beheizten Thermenräumen nicht mehr zu gewährleisten.

### Problemstellung und Fragen

Die Herbergsthermen sollen in den nächsten Jahren vollständig saniert und wieder funktionsfähig hergestellt werden. Als Vorbereitung zu einer umfassenden Sanierung erfolgt eine wissenschaftliche Analyse der Rekonstruktionsgeschichte der Thermen, der Unterlagen und Messungen im Betrieb sowie der Ursachen aller Schäden am Bau. Dabei stellen sich drei zentrale Fragen:

1. Sind die im Folgenden vorgestellten Schäden entstanden, weil die Herbergsthermen der CUT falsch rekonstruiert wurden (konstruktive Mängel)?
2. Sind die Schäden entstanden, weil die Herbergsthermen falsch betrieben wurden (operative Mängel)?
3. Sind vergleichbare Schäden bereits in

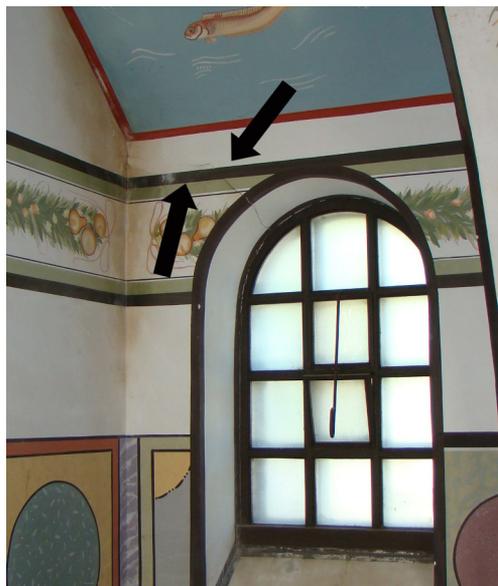


Abb. 2: Risse im *caldarium*. – Cracks in the wall of the *caldarium*.

römischer Zeit aufgetreten und wurden damals womöglich als „normal“ empfunden (kognitive Mängel)?

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse wird von der Bauabteilung des LVR-Archäologischen Parks Xanten ein Sanierungskonzept entwickelt und die Herbergsthermen werden, nach Mittelfreigabe, wieder funktionsfähig hergestellt.

### Risse im *caldarium* und im *frigidarium*

Über den seitlichen Fenstern des Badebeckens im *caldarium* zeigen sich Risse im Mauerwerk, die von der Dachtraufe des Bauwerks bis zur Oberseite der Fenster reichen (Abb. 2). Die Risse setzen sich unterhalb der Fenster nicht sichtbar fort. Moderne Bauten werden auf stahlbewehrten Betonfundamenten gegründet. Die rekonstruierten Thermen wurden jedoch in die originalen, im Mittelalter weitgehend ausgebrochenen Fundamentgräben gebaut. Die Fundamente bestehen aus Mauerwerk ohne armierten Betonkern. Die Risse könnten also durch

Unregelmäßigkeiten in der Baugrube entstanden sein. Dagegen spricht jedoch, dass die Risse nur oberhalb der Fenster auftreten und sich unterhalb nicht fortsetzen. Bei Problemen aus dem Untergrund wäre eine Fortsetzung der Risse bis auf das Bodenniveau zu erwarten. Die Ursache ist folglich im oberen Abschluss der Wand zu suchen. Ein armerter Beton-Ringbalken fasst die Mauern um das *caldarium*-Becken in Traufhöhe zusammen. Weil der Raum mit dem Heißbadebecken das Ende der Raumflucht bildet und das Dach des *praefurniums* lediglich an die Giebelwand angelehnt ist, kann sich die Giebelwand bei Temperaturveränderungen frei nach außen bewegen. Der Betonringbalken dehnt sich entsprechend der Temperaturveränderungen aus und verursacht dadurch die Risse im darunterliegenden Mauerwerk.

Weitere Risse zeigen sich am Anschluss der Wand zwischen *frigidarium* und *apodyterium* an die Wand der Herberge aus einem früheren Bauabschnitt. Dies ist eine klassische konstruktive Problemstelle. Die Trennwand zwischen *apodyterium* und *frigidarium* wurde aus zweischaligem Tuffsteinmauerwerk ausgeführt und schließt an eine vorhandene, moderne Hochlochziegelwand des ersten Bauabschnitts an. Hier treffen zwei Materialien mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften aufeinander. Zudem ist die Verzahnung zur bestehenden Wand naturgemäß nicht so stabil, als wenn beide Wände zeitgleich und korrekt verzahnt errichtet worden wären. Daher sind diese Risse im Folgenden nicht weiter Gegenstand dieser Betrachtung.

#### Versottung im *tepidarium* und im *caldarium*

Auf der Putzoberfläche im *tepidarium* zeigen sich braune Flecken an der Stelle, an der die letzten drei *tubuli*-Züge in die Wand eingelassen sind. Ähnliche Flecken



Abb. 3: Versottung im *tepidarium*. – Corrosive condensation in the *tepidarium*.

sind an der gewölbten Decke des *tepidariums* zu sehen (Abb. 3). Auch im *caldarium* zeigen sich an der Wand zum *tepidarium* jeweils in den Ecken sowie an den Wänden hinter dem Badebecken braune Verfärbungen. Diese Verfärbungen werden allgemein als Versottung bezeichnet. Sie deuten auf Probleme bei der Abgasführung hin. Neben dem Rauchgas entstehen beim Verbrennen von Holz – abhängig von der ursprünglichen Restfeuchte des Feuerholzes – gewisse Mengen an Wasserdampf. Kühlt das Rauchgas auf dem Weg durch das *hypokaustum* und die *tubulatur* ab, sinkt dessen Fähigkeit Wasserdampf aufzunehmen. Dies spiegelt sich im Begriff der relativen Luftfeuchtigkeit wider. Beim Erreichen des Sättigungspunktes fällt der Wasserdampf in Form von flüssigem Wasser aus: Der Wasserdampf kondensiert. Man spricht von einer Taupunktunterschreitung. Je nach ursprünglichem Feuchtigkeitsgehalt des Feuerholzes

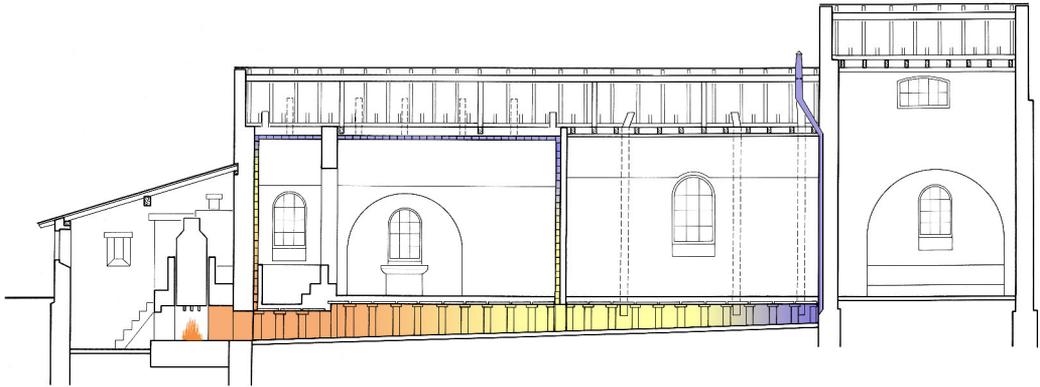


Abb. 4: Längsschnitt durch die Herbergsthermen mit schematischer Darstellung der Temperaturen in hypocaustum und tubulatur. – Longitudinal section of the baths with colours indicating the temperature in hypocaust and tubuli.

kann der Taupunkt zwischen 30°C und 80°C liegen.

Das in flüssiger Form im Rauchgas enthaltene Wasser reagiert mit den säure- bzw. schwefelhaltigen Schadstoffen des Abgases und schlägt sich an der Innenwandung der tubuli-Züge nieder. Es entstehen Schwefelsäure und schweflige Säure, die mineralische Baustoffe sehr schnell durchdringen und sich an der Außenfläche der Rauchgaszüge in Form der besagten braunen Flecken zeigen. Bei modernen Heizungen tritt dasselbe Problem auf, wenn effiziente Niedertemperaturkessel an alten Schornsteinen mit entsprechend großen Querschnitten angeschlossen werden.

In den Herbergsthermen des Archäologischen Parks Xanten trat bereits bei den ersten Betriebsversuchen ein Problem auf: Nach dem Entfachen des Feuers in der Feuerstelle schlug der Rauch in das praefurnium zurück. Der Raum war nicht mehr zu begehen und an ein Nachlegen von Feuerholz war nicht zu denken. Dies hatte zwei Ursachen: Erstens liegt der Sturz der Feuerungsöffnung im praefurnium höher als der Sturz der Öffnung zum hypocaustum. Der Rauch kann auf dem Weg nach draußen durchaus auch nach unten sinken, sofern ein ausreichender

Zug vorhanden ist. Solange sich im hypocaustum und der tubulatur jedoch kein Zug ausgebildet hat, wird der Rauch nicht zwangsläufig in diese Richtung gezogen und schlägt zurück in das praefurnium. Zweitens ist der gesamte Bereich des hypocaustums beim Anfeuern kalt, und erst dann, wenn sich ein ausreichender Zug ausgebildet hat, zieht der Rauch durch das hypocaustum und die tubulatur ab. Der Zug kann sich jedoch nicht von selbst ausbilden, da der Querschnitt der Zuluftöffnung (Feuerloch im praefurnium) wesentlich größer ist als der Querschnitt aller Abluftöffnungen (Anzahl und Querschnitt der Abzugsöffnungen der tubuli-Stränge über Dach).

Das Problem ließ sich dadurch lösen, dass die letzten drei tubuli-Züge über dem Gewölbe des tepidariums mit Metallrohren zusammengeführt wurden und dort ein Ventilator eingebaut wurde. Dieser Ventilator saugt das Rauchgas aus der Feuerstelle durch das hypocaustum bis zu den letzten tubuli-Zügen. Dabei gibt das Rauchgas auf dem Weg so viel Wärme an die kalte Umgebung ab, dass der Taupunkt bereits in den tubuli-Zügen erreicht wird.

Der Ausfall von Schwefelsäure konzentriert sich nun genau dort, da hier das ge-

samte Rauchgas durch den Ventilator abgeführt wurde (Abb. 4).

Die Taupunktunterschreitung in den letzten drei *tubuli*-Zügen fand so lange statt, bis das gesamte Luftvolumen im *hypokaustum* sowie die Massen der *hypokaust*-Pfeiler, der *hypokaust*-Wände und der *suspensura* erwärmt waren. Nach unseren Beobachtungen benötigt diese Erwärmung ungefähr vier Wochen Zeit. Anschließend sind nur noch der Wärmeverlust zum Boden und die Abwärme durch das Rauchgas auszugleichen. Weil nun der Taupunkt im *tubuli*-Zug nicht mehr unterschritten wird, findet keine Versottung mehr statt. Zeitgleich nimmt der Holzverbrauch drastisch ab.

Wie oben bereits erwähnt, hängt der Taupunkt im Rauchgas stark von der Restfeuchtigkeit im Brennholz ab. Je trockener das Holz, desto geringer die Gefahr einer Versottung. In Xanten haben betriebliche Abläufe zur Verwendung von Hölzern geführt, die nicht gut getrocknet waren. Verwendet wurde Brennholz, das nach dem Fällen und Verarbeiten alter und kranker Bäume von den Mitarbeitern der Parkpflege auf den vorderen Holzstapeln in den Holzlagerschuppen bei den Herbergsthermen aufgeschichtet wurde. Die mit dem Heizen der Thermen betrauten Studenten der Internationalen Archäologischen Sommerakademie hatten jedoch in aller Regel keine Erfahrung mit Holzfeuerung; anstatt das besser getrocknete Holz den hinteren Reihen zu entnehmen, verwendeten sie die zuletzt eingelagerten Scheite von vorne. Aus diesem Grund wurde oft frisches Holz mit einer hohen Restfeuchte verfeuert.

Eine Unterschreitung des Taupunkts ist in der Anheizphase selbst mit gut getrocknetem Holz nicht vermeidbar. Wenn allerdings die Thermen nach der Anheizphase kontinuierlich beheizt werden, kann die Konstruktion den einmaligen Anfall an Schadstoffen durch das Anheizen aushalten. In Xanten wurden die Thermen je-



Abb. 5: Waagerechte Risse über dem Fußboden im *caldarium*. – Horizontal cracks above the floor of the *caldarium*.

doch mehrfach im Jahr jeweils nur für kurze Zeit betrieben. Oftmals wurden die Thermen für weniger als vier Wochen betrieben und befanden sich somit immer in der Anheizphase und verursachten das Auftreten von erheblichen Mengen an Schadstoffen und folglich von Versottung.

#### Thermische Spannungsrisse

Im Sockelbereich der Wände des *caldariums* sind an mehreren Stellen waagerechte Risse aufgetreten, überwiegend in den Raumecken (Abb. 5). Ein weiterer Riss ist im Gewölbe des *caldariums* unmittelbar vor der südwestlichen Schildwand festzustellen. Beide Schäden sind aufgrund von Temperaturspannungen entstanden.

Im *caldarium* befindet sich zwischen dem Rauchgas im *hypokaustum* und der Luft im Innenraum über dem Fußboden eine ca. 21 cm starke, frei auf den *hypokaust*-Pfeilern aufgelagerte Fußbodenplatte, die *suspensura*. Sie besteht aus 3 cm starken Ziegelplatten als „verlorene Schalung“ und einem 18 cm starken Estrichboden, bei den Römern *opus signinum* genannt (Abb. 6). Nach den Messungen des VDI betrug die Rauchgastemperatur im *hypokaustum* des *caldariums* unmittelbar hinter der Feuerstelle bis zu 130°C und die

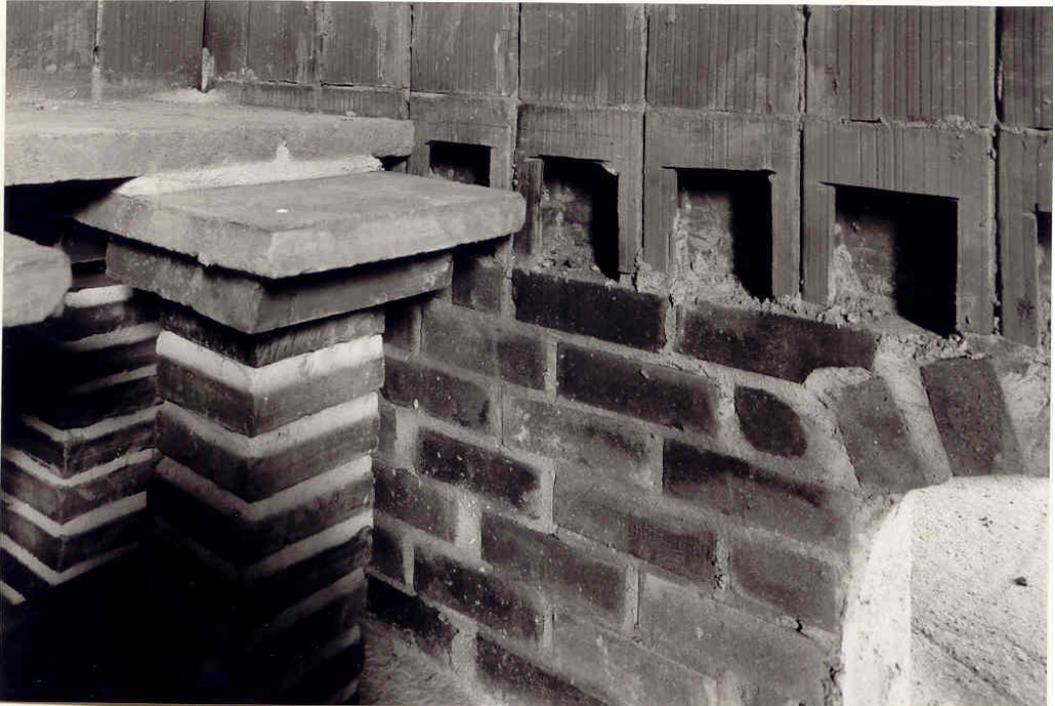


Abb. 6: Herbergsthermen während der Erbauung. Konstruktion der *suspensura* im Anschluss an die *tubulatur* im *caldarium* vor Aufbringen des *opus signinum*. – The Roman baths at Xanten in the building process. The construction of the *suspensura* adjacent to the *tubuli* prior to casting the *opus signinum* floor.

Oberflächentemperatur der Bodenplatte betrug mehr als 30°C, obwohl die Aufheizzeit bei diesen Versuchen jeweils weniger als vier Wochen betrug. Bei längerem Betrieb werden die Temperaturen noch ansteigen. Auf Grund dieser Messungen kann die durchschnittliche Temperatur der gesamten Bodenplatte im heißen Zustand auf 55°C geschätzt werden. Im kalten Zustand (unbeheizt im Winter) beträgt die Temperatur ungefähr 5°C. Bei einem Ausdehnungskoeffizienten von 0,01 mm pro Meter und Grad Kelvin dehnt sich die Bodenplatte um mindestens 4 mm aus. Diese große Ausdehnung ist auf die Verwendung von Weißzement bei der Herstellung der Bodenplatte während der Rekonstruktion der Anlage im Jahr 1987 zurückzuführen. Wegen ihrer Lagerung auf den hypokaust-Pfeilern kann die Bodenplatte sich frei ausdehnen und zer-

drückt die in der Wand verbaute *tubulatur*. Nachforschungen an den Überresten verschiedener römischer Badeanlagen zeigen, dass die *tubulatur* nicht auf der *suspensura* aufsitzt, sondern in der Regel bis zur Unterkante der *suspensura* reichte, also dem Seitenschub der Bodenplatte vollständig ausgesetzt war. Die absolute Ausdehnung der Bodenplatte berechnet sich aus der Temperaturdifferenz zwischen kaltem und heißen Zustand und dem Ausdehnungskoeffizienten des Materials. Da die Temperaturdifferenz auf Grund der gewünschten Beheizung der Thermen entsteht, bestand in der Antike die einzige Möglichkeit zur Verminderung der durch die Schubkräfte entstehenden Schäden in der Verwendung von Baustoffen mit geringerem Ausdehnungskoeffizienten (siehe hierzu auch den Beitrag von Dr. Hannes Lehar in diesem Band).

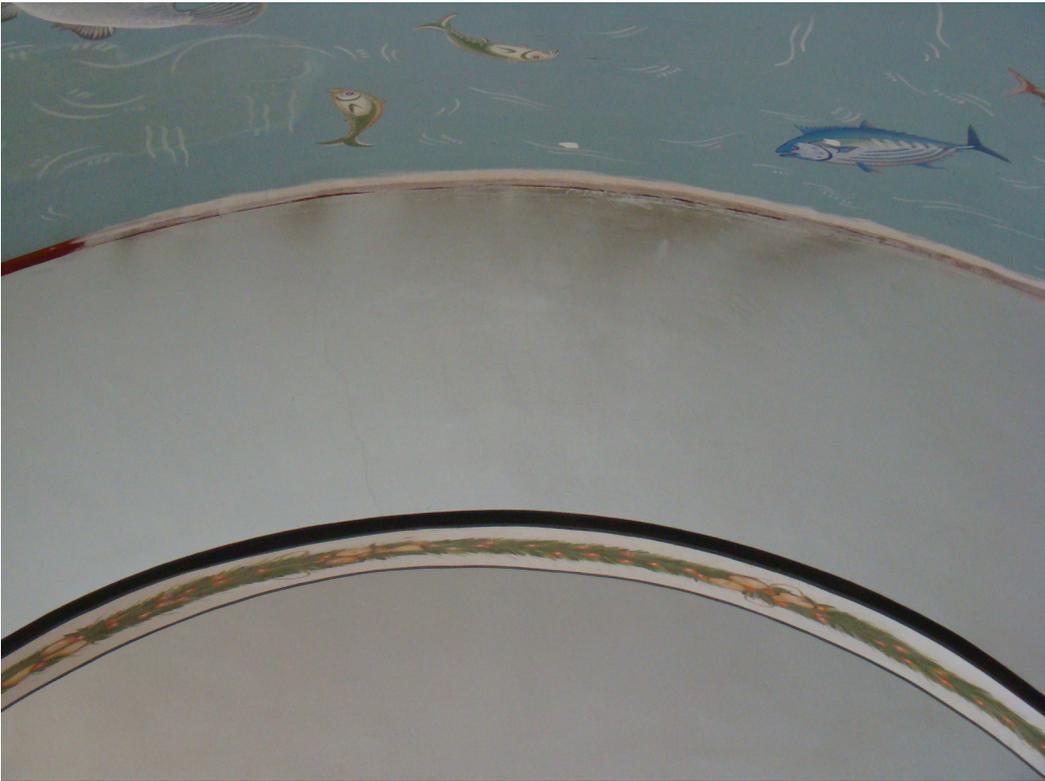


Abb. 7: Abriss des tubuli-Gewölbes an der Schildwand im caldarium. – Crack between the tubuli-vault and the front wall.

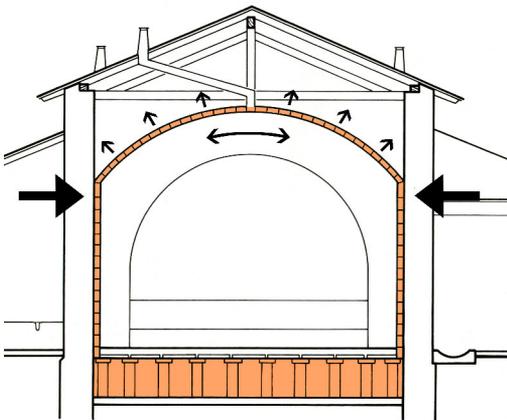


Abb. 8: Querschnitt durch das caldarium mit schematischer Darstellung der temperaturabhängigen Bewegungen. – Cross-section of the caldarium indicating the thermal expansion.

Am Anschluss des Gewölbes des caldariums zur Schildwand über dem Badebecken zeigt sich ebenfalls ein Riss (Abb. 7). Das Gewölbe über dem caldarium besteht lediglich aus verputzten tubuli-Ziegeln. Im Gegensatz zur tubulatur vor einer Wand fehlt in diesem Gewölbe die Masse einer rückseitigen Wandscheibe, die als Temperaturpuffer die Ausdehnung der tubuli-Züge abmildern könnte. Das Gewölbe dehnt sich bei Erwärmung aus und vergrößert seinen Durchmesser. An den Widerlagern ist es durch die Außenwände begrenzt; dadurch hebt es sich am Scheitel (Abb. 8). Während sich das Gewölbe im Scheitel hebt, verharrt die nicht beheizte Wandscheibe am Durchgang zum caldariums-Becken in ihrer Dimension. In der Folge reißen die tubuli-ziegel des ersten Zuges vor der Wand ab. Dieses Problem tritt allerdings nur an der

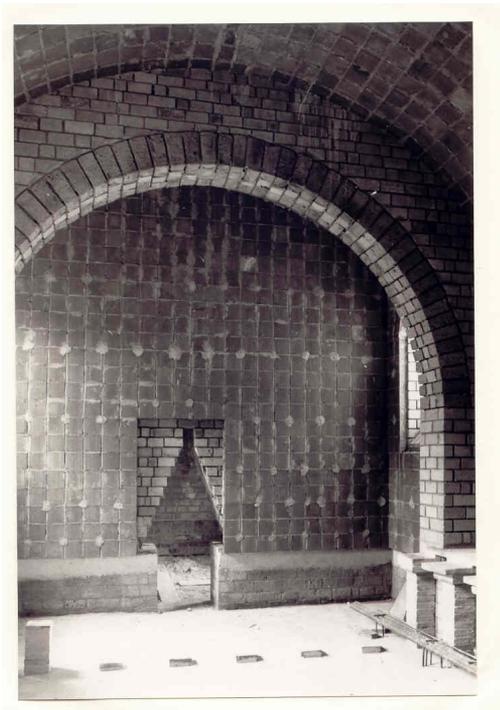


Abb. 9: Herbergsthermen während der Erbauung. Blick vom caldarium zum praeurnium mit Schildwand über dem Durchgang zum Badebecken aus Tuffstein und Gewölbe aus tubuli-Ziegeln. – The construction of the Roman bath at Xanten. View from the caldarium to the praeurnium showing the arched front wall made of tuffa-stone and the tubuli-vault.

Wand über dem Badebecken auf. An der gegenüberliegenden Seite ist kein Riss zu sehen. Die dem Badebecken zugewandte Seite liegt näher am praeurnium, und somit sind die Temperaturunterschiede größer als an der gegenüberliegenden, weiter entfernt liegenden Schildwand. Zudem besitzt die Schildwand mit dem Durchgang zum Badebecken keine tubulatur, da der breite Durchgang keinen Anschluss an das hypokaustum im Boden erlaubt (Abb. 9). Die dem tepidarium zugewandte Schildwand besitzt hingegen eine vollflächige tubulatur und heizt sich daher ähnlich schnell auf wie das aus tubuli-Ziegeln

gebildete Gewölbe. Die Temperaturunterschiede sind hier so gering, dass es nicht zum Abriss kommt.

### Schmierruß und Glanzruß

Im hypokaust-Bereich haben sich an der Unterseite der suspensura erhebliche Mengen eines zähflüssigen teerähnlichen Produktes abgelagert, das ähnlich Stalaktiten in einer Tropfsteinhöhle herabhängt. Es handelt sich um sogenannten Schmierruß. Der Schmierruß entsteht infolge der Dampfsättigung bei Verwendung feuchten Brennholzes, außerdem fördert die mangelnde Luftzufuhr seine Bildung.

Nach seiner Ablagerung trocknet der Schmierruß in der folgenden Heizphase und wird zu leichtem, brüchigem Glanzruß. Schmierruß selbst ist aufgrund seines höheren Feuchtigkeitsgehalts relativ unproblematisch, Glanzruß hingegen ist leicht entzündlich. Es droht der so genannte „Kaminbrand“. Insbesondere in Süddeutschland war es über viele Jahrhunderte hinweg üblich, den Kamin regelmäßig kontrolliert abzubrennen, bevor der schichtweise angelagerte Glanzruß zu einem unkontrollierbaren Kaminbrand führt. In den Xantener Thermen bricht der Glanzruß im Laufe der Zeit von der Unterseite der suspensura ab und fällt zu Boden. Weite Bereiche des hypokaustums sind auf diese Weise mit einer bis zu 10 cm hohen Glanzrußschicht belegt, am stärksten mittig vor dem caldariums-Bekken, also unmittelbar nach Eintritt in das hypokaustum. In Richtung tepidarium und zu den Seiten hin nimmt die Schichtstärke ab. Auf diese Weise ist der Verlauf der Temperaturkurve im hypokaustum an der Schichtstärke des abgefallenen Glanzrußes ablesbar (Abb. 10).

Es ist bemerkenswert, dass in den Befunden von römischen Heizanlagen und hypokausten selten bzw. nur geringfügige Rußablagerungen zu finden sind, obwohl Kohlenstoffe sich generell auch über lan-



Abb. 10: Schmierruß (oben) und Glanzruß (unten) im hypokaustum unter dem caldarium. – Tarry soot (top) and shining soot (bottom) in the hypocaust under the caldarium.

ge Zeiträume eher gut erhalten. Es ist auszuschließen, dass all diese Anlagen kurz vor ihrem endgültigen Verfall gründlich gereinigt wurden. In Anbetracht der engen Pfeilerstellung in einem *hypokaustum* stellt sich sogar prinzipiell die Frage

nach den Möglichkeiten für eine sorgfältige Reinigung. Demzufolge müssen die römischen *hypokaust*-Heizungen generell einen wesentlich geringeren Rußanfall aufgewiesen haben als die Xantener Rekonstruktion.

Es wurde bereits oben dargestellt, dass in Xanten zu viel feuchtes Brennholz verfeuert wurde. Hinzu kommt, dass die vor dem Ofenloch im *praefurnium* angebrachte Ofenklappe zwei kleine Luftöffnungen aufweist. Beide Öffnungen können zusätzlich mit einem Schieberiegel verschlossen werden. Bei reduzierter Luftzufuhr verbrennen zwei bis drei Holzscheite so langsam, dass beim nächsten Auflegen nach zwei Stunden noch genug Glut vorhanden ist, um die neuen Scheite zu entflammen. Die Wärmeenergie reicht aus, um die Thermen zu beheizen. Allerdings führt dann die zu geringe Luftzufuhr zu einem Reduktionsbrand, der die Bildung von Schmierruß und Glanzruß zusätzlich begünstigt.

#### Fehleranalyse

Unsere Forschungen zu den Schäden an den Herbergsthermen in Xanten sind noch nicht vollständig abgeschlossen. Weitere Untersuchungen sind notwendig, bis ein abschließendes Sanierungskonzept für die Badeanlage erstellt werden kann. Einige Punkte kristallisieren sich jedoch bereits heraus:

1. Es wurde beim Beheizen der Herbergsthermen im LVR-Archäologischen Park Xanten zu viel feuchtes Holz verwendet.
2. Die Thermen wurden mehrmals im Jahr für kurze Zeitabschnitte angeheizt. Es ist davon auszugehen, dass in römischer Zeit die Thermen nach dem Anheizen kontinuierlich betrieben wurden. Daher kam es in der Antike im viel geringeren Umfang zu Versottungserscheinungen.
3. Eine Anheizperiode im Sommer reduziert die Temperaturdifferenz zwischen der Luft und den Massen im *hypokaustum* einerseits und dem Rauchgas andererseits und damit auch die Gefahr der Versottung. Die Anheizperiode sollte daher im Sommer liegen.
4. Das *opus signinum* der *suspensura*

darf nicht mit Weißzement hergestellt werden. Erforderlich ist ein Material mit geringerem Ausdehnungskoeffizienten.

5. Die Bewegung der Rauchgase in *hypokaustum* und *tubulatur* ist weiter zu erforschen. Das Verschließen der Feuerungsöffnung im *praefurnium* begünstigt die Bildung von Schmierruß und Glanzruß. Insbesondere die Frage nach dem Austritt der Rauchgase über das Dach ist zu prüfen.

6. Beim Besuch von provinziellen *hamams* in der heutigen Türkei sind ebenfalls Schäden zu erkennen. Es darf vermutet werden, dass gewisse Schadensbilder in römischer Zeit als durchaus tolerierbar und „normal“ betrachtet wurden.

7. Auch für die römische Zeit ist eine grundlegende Renovierung nach 16 Jahren vermutlich als normal anzusehen. Hier ist jedoch weitere Quellenforschung notwendig.

Eine Analyse der Probleme und die Kalkulation der Kosten für eine anstehende Sanierung der Herbergsthermen in Xanten wirft unweigerlich die Frage auf, ob diese Rekonstruktion fehlerhaft ausgeführt wurde. Diese Frage ist eindeutig mit „Nein“ zu beantworten. Der Bauforscher und Architekt Gundolf Precht hatte das damals zur Verfügung stehende Wissen seiner Zeit und seine eigenen Fähigkeiten genutzt, um die theoretischen Ansätze zur Funktion römischer Thermenanlagen in die Praxis umzusetzen. Da ihm keinerlei Vergleiche mit anderen, funktionstüchtigen Rekonstruktionen antiker Thermenanlagen zur Verfügung standen, musste er völlig neues Neuland betreten. Die Xantener Herbergsthermen haben 16 Jahre lang in weiten Teilen gut funktioniert. Die aufgetretenen Mängel sind eher als gering zu bezeichnen. Der Sanierungsbedarf einer solchen Badeanlage nach jahrelangem Betrieb ist sicherlich nicht ungewöhnlich. Es ist besonders zu betonen, dass die Rekonstruktion einer solchen

technischen Anlage neben der Vermittlung auch der Forschung dient. Die in jahrelanger Betriebszeit gewonnenen Erkenntnisse wären ohne die praktische Rekonstruktion dieser bis heute einzigartigen Anlage nicht möglich gewesen. Erst in der jahrelangen praktischen Erprobung treten Probleme wie Temperaturspannungen und Versottung deutlich zu Tage. Die Herbergsthermen im LVR-Archäologischen Park Xanten sind – im besten Sinne – Experimentelle Archäologie.

#### Literatur

**BRIDGER, C. 1989:** Colonia Ulpia Traiana Insula 38: Die Befunde der Grabungen 1979 bis 1983. Rheinische Ausgrabungen. Köln 1989.

**KIENZLE, P. 2008:** Die zivile Wohnbebauung in der CUT. In: M. Müller, H.-J. Schalles, N. Zielsing (Hrsg.), Colonia Ulpia Traiana. Xanten und sein Umland in römischer Zeit. Mainz 2008, 413-432.

**KIENZLE, P. 2011:** Erfahrungen aus dem Betrieb der so genannten Herbergsthermen in Xanten. In: F. Humer, A. Konecny (Hrsg.), Römische Thermen – Forschung und Präsentation. Akten des Internationalen Kolloquiums des Archäologischen Parks Carnuntum und der Gesellschaft der Freunde Carnuntums, 17.-18. September 2009, Kulturfabrik Hainburg. Carnuntum 2011, 175-182.

**PRECHT, G. 1978:** Der Archäologische Park Xanten – 2. Arbeitsbericht (1976). In: Colonia Ulpia Traiana, 1. und 2. Arbeitsbericht zu den Grabungen und Rekonstruktionen. Veröffentlichungen zum Aufbau des Archäologischen Parks Xanten. Bonn 1978.

**PRECHT, G. 1983:** Der Archäologische Park Xanten. In: Ausgrabungen im Rheinland 81/82. Köln 1983, 65-76.

#### Abbildungsnachweis

Abb. 1: Foto: Ingo Martell, LVR-Archäologischer Park Xanten  
Abb. 2-3; 5; 7; 10: Foto: Peter Kienzle, LVR-Archäologischer Park Xanten  
Abb. 4; 8: Zeichnung: Roswitha Laubach, LVR-Archäologischer Park Xanten  
Abb. 6; 9: Foto: Archiv des LVR-Archäologischen Parks Xanten

#### Autor

Dr. Peter Kienzle  
LVR-Archäologischer Park Xanten  
Bahnhofstraße 46–50  
46509 Xanten  
Deutschland