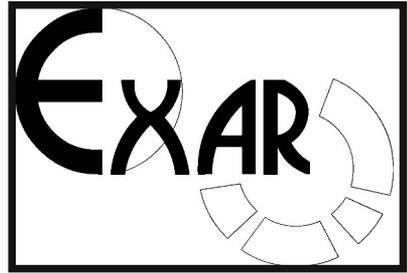


EXPERIMENTELLE ARCHÄOLOGIE IN EUROPA
Jahrbuch 2018
Heft 17

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

Mineralogische und chemische Charakterisierung römischer Estriche

Martin Schidlowski, Tobias Bader, Anja Diekamp

Summary – Mineralogical and chemical characterization of Roman floor screed.

This study investigates the mineralogical and chemical composition of floor screed samples from Roman thermal bath buildings in Xanten and Schwarzenacker. A range of characterization methods was used, including petrographic microscopy, scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy and X-ray powder diffraction. Both samples contain calcite as the main binder phase, which indicates the use of lime as basic raw material. Furthermore, they contain brick fragments, which were most likely added as a pozzolanic component to the lime. Depending on the specific type of lime which was used, different reaction products have formed. The binder from Xanten (dolomitic lime) consists among calcite of lizardite and most probably low crystalline magnesium–silicate–hydrate phases. This indicates that magnesium is part of the dolomitic lime and has also undergone a pozzolanic reaction with the brick fragments. The binder from Schwarzenacker contains only calcite, which indicates the use of pure lime as original material. The lime and the brick fragments also formed a pozzolanic reaction. This is indicated by the possible presence of calcium–silicate–hydrate phases.

Keywords: Roman floor screed, binder investigation, pozzolanic, M–S–H phases

Schlagworte: Römische Estriche, Bindemitteluntersuchungen, puzzolanisch, M–S–H-Phasen

Einleitung

Dieser Beitrag stellt das Bindeglied zu den Untersuchungen von Herrn Mag. Dr. Hannes Lehar und den praktischen Versuchen an der Versuchsanstalt Innsbruck unter der Leitung von Dipl.-Ing. Dr. Klemens Maier (siehe Beiträge in diesem Band) dar. Es werden erste Ergebnisse zu Bindemitteluntersuchungen an Estrichproben aus provinzialrömischen Thermengebäuden aus Colonia Ulpia Traiana und aus Schwarzenacker vorgestellt. Die

untersuchten Estrichproben enthalten Ziegelsplitt als puzzolanischen Zusatzstoff. Die bewusste Zugabe von Ziegelsplitt zu Mörteln, um diese wasserdicht zu machen, erfolgt bereits seit über 2000 Jahren (GERDES 2008, 622). Um sowohl das Bindemittel und den zugegebenen Ziegelsplitt als auch das Zusammenspiel dieser beiden Hauptkomponenten und die Bildung neuer Phasen zu analysieren, wurden mineralogische und chemische Untersuchungsmethoden angewandt.



Abb. 1: Handstücke aus Xanten (1a) und Schwarzenacker (1b). Auffällig ist das sehr reine Weiß des Bindemittels aus Xanten. Das Bindemittel der Probe aus Schwarzenacker weist eine mehr ockerfarbene Färbung auf. – Samples from Xanten (1a) and Schwarzenacker (1b). Striking is the very pure white of the binder from Xanten. The binder of the sample from Schwarzenacker has a more ocher coloring.

Material und Methoden

Proben

Xanten: Die Proben stammen aus dem Caldarium eines Thermengebäudes. Es handelt sich um Stücke eines wasserdichten Estrichs. Dieser weist hohe Gehalte an Ziegelsplitt auf. Das Bindemittel besitzt eine auffallend helle, fast weiße Färbung (Abb. 1a).

Schwarzenacker: Die Proben waren vermutlich Teil eines Wohngebäudes oder einer Töpferei. Auch hierbei handelt es sich um Stücke eines wasserdichten Estrichs, der Anteile an Ziegelsplitt enthält. Das Bindemittel weist eine mehr ockerfarbene Färbung auf (Abb. 1b).

Untersuchungsmethoden

Das Gefüge des Estrichs und der Mineralbestand des Zuschlags wurden an polierten Dünnschliffen mit einem Polarisationsmikroskop (PolMi) vom Typ Axio Imager.A2m der Firma Zeiss charakterisiert.

Mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) vom Typ QUANTA 200 3D der Firma FEI wurde das Gefüge im μm -Bereich sowohl an Dünnschliffen als auch an Bruchstücken weiterführend untersucht.

Ein mit dem Rasterelektronenmikroskop gekoppelter Detektor zur energiedispersiven Röntgenspektroskopie (EDS) diente zur qualitativen und quantitativen chemischen Bestimmung ausgewählter Bindemittelbereiche.

Die Pulverröntgendiffraktometrie (RDA) ermöglicht die qualitative Analyse der mineralogischen Zusammensetzung des Bindemittels (Siebfraktion $< 0,063 \text{ mm}$). Sie erfolgte mit dem EMPYREAN der Firma PANalytical. Die Messungen wurden mittels $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung in einem Winkelbereich von 5° bis $70^\circ 2\theta$ durchgeführt.

Ergebnisse / Diskussion

Aufgrund der Komplexität und Heterogenität historischer Mörtel ist es sinnvoll, sich mit dem Polarisationsmikroskop einen Überblick über das Gefüge, die Zuschläge und den Charakter des Bindemittels zu verschaffen. Beide Proben sind im Dünnschliff in Bezug auf die Farbgebung des Bindemittels inhomogen und weisen diffuse, fleckige Bereiche auf (Abb. 2a und 2c). Größere Bereiche mit gleichmäßig hellem, mikritischem Braun, wie sie für einen reinen Kalkmörtel typisch wären, finden sich nicht (BLÄUER, KÜNG 2007,

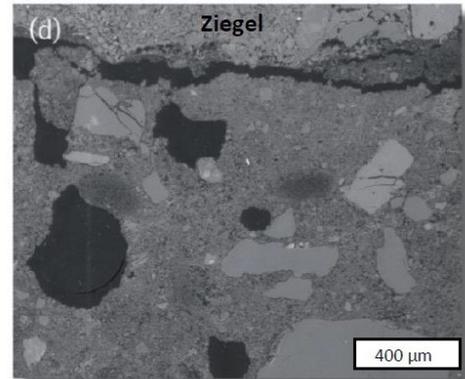
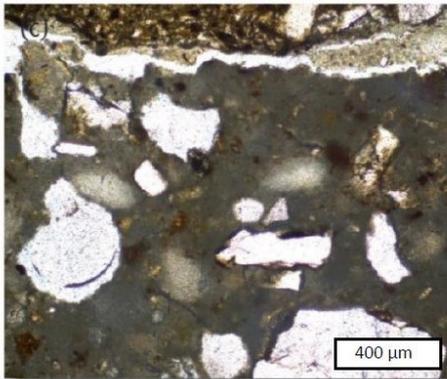
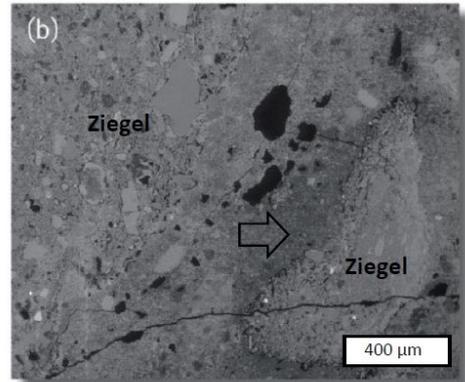
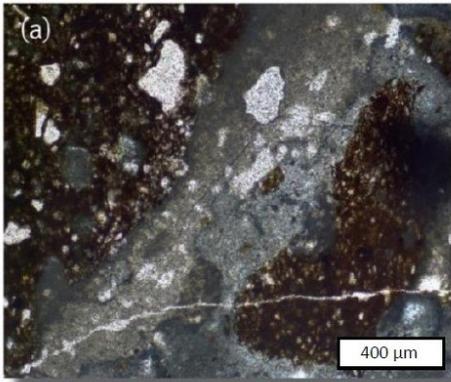


Abb. 2: Polarisationsmikroskop-Aufnahmen der Dünnschliffe von Proben aus Xanten (2a) bzw. Schwarzenacker (2c). Die BSE-Aufnahme (backscattered electrons, zurückgestreute Elektronen) aus Xanten (2b) weist im Bindemittel relativ dunkle, Mg-reiche Bereiche (Pfeil) sowie hellere, Mg-ärmere Bereiche auf. Das Bindemittel in der BSE-Aufnahme aus Schwarzenacker (2d) ist gleichmäßiger und insgesamt ärmer an Mg. – Petrographic microscope photographs of the thin sections of the samples from Xanten (2a) and Schwarzenacker (2c). The backscattered electron (BSE) photograph from Xanten (2b) shows relatively dark, magnesium rich areas and brighter, magnesium depleted areas in the binder. The binder in the BSE photograph from Schwarzenacker (2d) is more homogeneous and contains less magnesium.

1203). Überwiegend besitzt das Bindemittel Grautöne sowie teils bräunliche Farben. Beide Proben haben einen Anteil von ca. 50% Ziegelsplitt. Die Ziegelsplittfragmente in den untersuchten Proben weisen Größen von bis zu zwei Zentimetern auf.

Die Untersuchungen der chemischen Zusammensetzung des Bindemittels an den Dünnschliffen mittels REM/EDS ergaben für die Probe aus Xanten hohe Magnesi-

um- und Siliziumgehalte (bis zu 19% Mg und 12% Si), die jedoch räumlich stark variieren. Je reicher ein Bereich an Magnesium ist, desto dunkler erscheint er in der REM/BSE-Aufnahme (Abb. 2b und 2d). Das Bindemittel der Probe aus Schwarzenacker weist im Vergleich deutlich höhere Calcium-Anteile auf, jedoch vergleichsweise wenig Magnesium (max. 3,6%) und Silizium (max. 3,8%).

Mittels Pulverröntgendiffraktometrie wur-

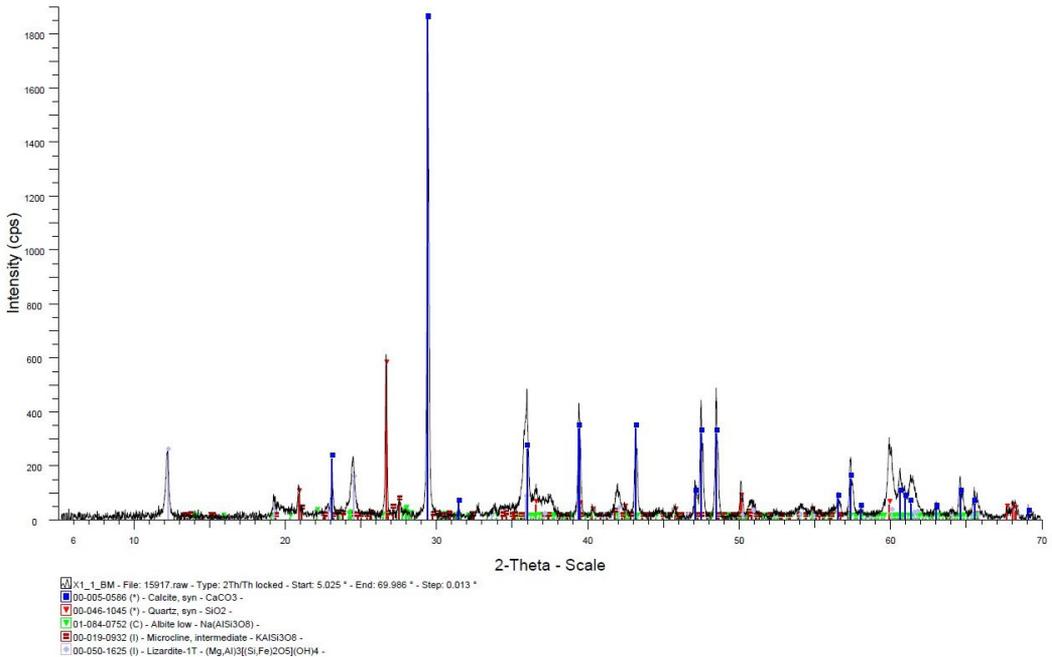


Abb. 3: Diffraktogramm des Bindemittels aus Xanten. Calcit (CaCO₃) und Lizardit (Mg₃Si₂O₅(OH)₄) sind als Bindemittelkomponenten enthalten. Geringe Anteile an Quarz und Mikroklin stammen aus dem Zuschlag/Ziegelsplitt. – X-ray diffractogram of the binder from Xanten. Calcite (CaCO₃) and lizardite (Mg₃Si₂O₅(OH)₄) represent the binder components. Small amounts of quartz and microcline originate from the aggregate /brick fragments.

den die im Bindemittel vorkommenden kristallinen Phasen identifiziert. Das Spektrum aus Xanten zeigt Calcit (CaCO₃) und das Magnesiumsilikathydrat Lizardit (Mg₃Si₂O₅(OH)₄) als Bindemittelkomponenten. Darüber hinaus ist im Bereich von 33° bis 38° 2θ ein erhöhter Untergrund zu beobachten (Abb. 3), was auf die Anwesenheit von amorphen bzw. schwach kristallinen Phasen im Bindemittel hindeuten kann. Typische Vertreter von schwach kristallinen Phasen, die durch puzzolanische Reaktionen entstehen können, sind Calcium-Silikat-Hydrate (C–S–H) oder Magnesium-Silikat-Hydrate (M–S–H). Die Pulveranalyse aus Schwarzenacker zeigt Calcit (CaCO₃) als kristalline Bindemittelphase (Abb. 4).

Um das Gefüge des Bindemittels eingehender untersuchen zu können, wurden

REM-Aufnahmen von Estrichbruchstücken angefertigt. Zudem wurden die Bruchstücke mit dem Bruchstück eines historischen, reinen Kalkmörtels aus Agrigent (Sizilien) verglichen, um strukturelle und chemische Unterschiede herausarbeiten zu können (Abb. 5a-c). Die Probe aus Xanten erscheint im Vergleich zu den anderen beiden relativ inhomogen. Dunkle, filzige Bereiche lassen sich von hellen, idiomorphen Calcitkristallen unterscheiden. EDS-Messungen zeigen, dass die filzigen Bereiche im Bindemittel dieser Probe stark angereichert an Mg und Si sind (Abb. 5d). Das Mg/Si-Verhältnis ist größer 1, was auf M–S–H-Phasen wie Serpentin oder den Serpentin-Vorgänger Lizardit hindeuten kann (LOTHENBACH ET AL. 2015, 60; NIED ET AL. 2016, 331). Das bedeutet, dass das mittels RDA-Analyse

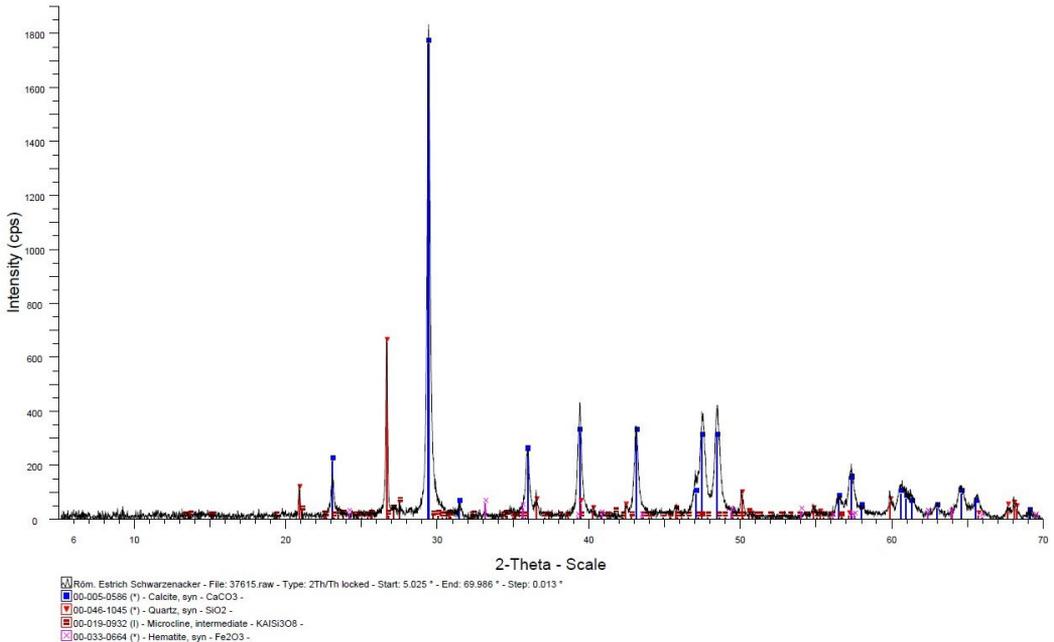


Abb. 4: Diffraktogramm des Bindemittels aus Schwarzenacker. Calcit (CaCO₃) ist als mineralische Bindemittelkomponente enthalten. Geringe Anteile an Quarz, Mikroklin und Hämatit stammen aus dem Zuschlag/Ziegelsplitt. – X-ray diffractogram of the binder from Schwarzenacker. Calcite (CaCO₃) is contained as mineralogical binder component. Small amounts of quartz, microcline and hematite originate from the aggregate/brick fragments.

im Pulver identifizierte Mineral Lizardit in den beschriebenen Bereichen im Bruchstück zu lokalisieren ist und somit eindeutig dem Bindemittel zugeordnet werden kann. EDS-Untersuchungen an den Proben aus Schwarzenacker und Agrigent belegen eine weitgehend homogene, Ca-reiche Zusammensetzung innerhalb der Bindemittel, wobei letztere aufgrund des sehr hohen Calciumanteils in den REM-Aufnahmen heller erscheint. Schwarzenacker enthält zusätzlich geringe Anteile an Mg, Al, Si und Fe (Abb. 5e-f). Das Bindemittel aus Schwarzenacker kann zunächst als Kalkmörtel klassifiziert werden. Die geringen Anteile an Al, Si und Fe, die in den Dünnschliffen in den „fleckigen“ Bereichen gemessen wurden, sind Indizien für C–S–H-Phasen, welche aus einer puzzolanischen Reaktion mit den Ziegel-

fragmenten resultieren. Mit den bisher verwendeten Methoden konnten sie aber noch nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Zusammenfassung

- 1) Das Ausgangsmaterial für den Estrich aus Xanten stammt entsprechend bisherigen Untersuchungen aus der Gegend um Iversheim, wo die kalk- und dolomithaltigen Sedimentgesteine der sogenannten Sötenicher Kalkmulde anstehen (WANG 1995, 22). Der nachgewiesene hohe Mg-Anteil im Bindemittel und die Identifizierung von Lizardit mittels RDA bekräftigen die Verwendung von Dolomitkalk als Ausgangsmaterial.
- 2) Das Magnesium im Bindemittel aus Xanten liegt als Lizardit oder womöglich

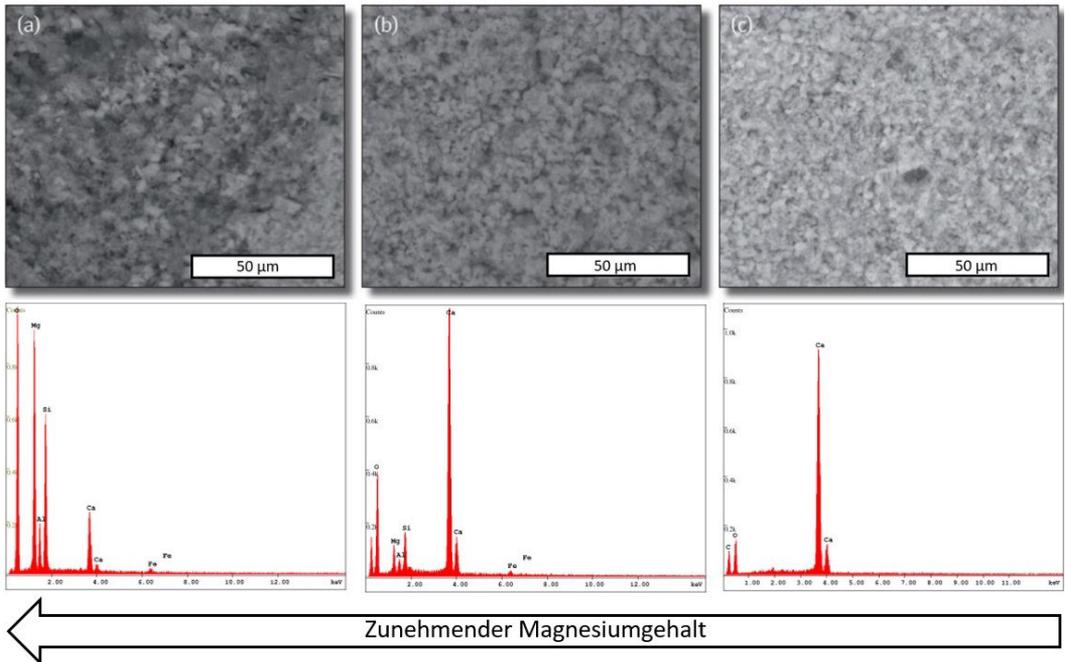


Abb. 5: BSE-Aufnahmen an Bruchstücken aus Xanten (5a), Schwarzenacker (5b) und Agrigent (5c). EDS-Spektren der Bindemittel aus Xanten (5d), Schwarzenacker (5e) und Agrigent (5f). In Xanten überwiegen die Mg- und Si-Anteile, während Schwarzenacker und Agrigent reich an Ca sind. – BSE photographs from fragments from Xanten (5a), Schwarzenacker (5b) and Agrigent (5c). Energy dispersive X-ray spectroscopy spectra of the binders from Xanten (5d), Schwarzenacker (5e) and Agrigent (5f). In Xanten the magnesium and silicon proportion is dominating, whereas Schwarzenacker and Agrigent are rich of calcium.

auch in Form von schwach kristallinen M–S–H-Phasen vor, d. h. der Mg-Anteil aus dem Branntkalk scheint mit dem Ziegelmehl eine puzzolanische Reaktion eingegangen zu sein. Die Zugabe von Ziegelmehl als puzzolanisch wirkende Komponente erfolgte, um höhere Festigkeiten zu erzielen (DIEKAMP 2014, 2) und um Wasserundurchlässigkeit zu erreichen (GERDES 2008, 621).

3) Das Ausgangsmaterial des Estrichs aus Schwarzenacker ist vermutlich Kalk aus der umliegenden Region im Saarland. Für eine puzzolanische Reaktion mit dem Ziegelmehl unter der Bildung von C–S–H-Phasen gibt es Indizien. Für einen zweifelsfreien Nachweis der C–S–H-Phasen sind weitere Untersuchungen notwendig.

Ausblick

Um weitere Aussagen über die Bildung der Bindemittelphasen sowie den hydraulischen Charakter des Bindemittels treffen zu können, werden Thermische Analysen (DTA/TG) durchgeführt. Hierbei können durch kontrolliertes Erhitzen der Proben Erkenntnisse zum Vorhandensein hydraulischer Phasen gewonnen werden (MOROPOULOU ET AL. 1995, 780).

Literatur

BLÄUER, C., KÜNG, A. 2007: Examples of microscopic analysis of historic mortars by means of polarising light microscopy of dispersions and thin sections. Materials

Characterization 58, 2007, 1199-1207.

DIEKAMP, A. 2014: Bindemitteluntersuchungen an historischen Putzen und Mörteln aus Tirol und Südtirol. Dissertation Universität Innsbruck, 2014, 152 Seiten.

GERDES, A. ET AL. 2008: Neue Strategien für die Entwicklung präventiver Oberflächenschutzmaßnahmen. Tiefbau 10, 2008, 621-630.

LOTHENBACH, B. ET AL. 2015: Magnesium and calcium silicate hydrates. Cement and Concrete Research 77, 2015, 60-68.

MOROPOULOU, A. ET AL. 1995: Characterization of ancient byzantine and later historic mortars by thermal and X-ray diffraction techniques. Thermochemica Acta 269/270, 1995, 779-795.

NIED, D. ET AL. 2016: Properties of magnesium silicate hydrates (M-S-H). Cement and Concrete Research 79, 2016, 323-332.

WANG, S. 1995: Römische Kalkmörtel aus der Colonia Ulpia Traiana bei Xanten: Mineralogische und chemische Eigenschaften. Dissertation Universität Karlsruhe, 1995, 107 Seiten.

Abbildungsnachweis

Abb. 1-5: Sämtliche Abbildungen wurden eigenhändig am Arbeitsbereich für Materialtechnologie der Universität Innsbruck (MTI) angefertigt.

Autoren

Martin Schidlowski, Tobias Bader,
Anja Diekamp
Arbeitsbereich für Materialtechnologie
Universität Innsbruck
Technikerstraße 11/13
6020 Innsbruck
Österreich
anja.diekamp@uibk.ac.at