

8

K öln
u nd
B onn
A rchaeologica



2018

Habelt-Verlag · Bonn

K öln
u nd
B onner
A rchaeologica

KuBA 8/2018



Habelt-Verlag · Bonn

Kölner und Bonner Archaeologica
KuBA 8/2018

Herausgeber
Martin Bentz – Dietrich Boschung – Eckhard Deschler-Erb –
Michael Heinzelmann – Eleftheria Paliou – Frank Rumscheid

Redaktion, Satz und Gestaltung
Patrick Zeidler

Umschlaggestaltung
Patrick Zeidler

Fotonachweis Umschlag
Foto Philipp Groß.

Alle Rechte sind dem Archäologischen Institut der Universität zu Köln und der
Abteilung für Klassische Archäologie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
vorbehalten. Wiedergaben nur mit ausdrücklicher Genehmigung.

Hinweise für Autoren sind unter <<http://www.kuba.uni-bonn.de/de/autoren>> einsehbar.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detailliertere bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.dnb.de>> abrufbar.

© 2020 by Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn

ISBN 978-3-7749-4254-7

Wir danken der HypZert und dem vdpResearch dafür, dass sie die Drucklegung ermöglicht haben.

HypZert

vdpResearch

INHALT

Beiträge

- DANIEL HINZ, Caesars Rheinbrücken – eine unendliche Geschichte? Neue Überlegungen zur Lokalisierung im Kontext von 200 Jahren Forschung 5
- SEBASTIAN A. KNURA, Zur Rezeption von elitär-römischen Geschlechtervorstellungen durch die indigene Bevölkerung der Nordwest-Provinzen 17
- KARL OBERHOFER – RUDOLF ADOLF GÖTTLICH, Eine Victoria für Brigantium? Zum Bearbeitungsstand eines stratifizierten Neufundes aus dem römerzeitlichen Forumskomplex von Bregenz (A) 25

Projektberichte

- JON ALBERS – MIRIAM RIMBÖCK – ANNKATRIN BENZ – HANNAH RENNERS – MARLEN SCHLÖFFEL – STEFFEN SCHNEIDER, Der Osthafen von Selinunt. Ein neues Forschungsprojekt 37
- JON ALBERS – MIRIAM RIMBÖCK – CLAUDIA WIDOW, Der korinthisch-dorische Tempel am Forum von Paestum. Die Grabungskampagne 2019 53
- STEFAN PIRCHER, Tablet meets Kelle. Vorbericht zur dritten Grabungskampagne des Archäologischen Instituts der Universität zu Köln in der Insula 22 in der Colonia Ulpia Traiana 65
- CHRISTIAN A. SCHÖNE – FLORIAN JORDAN – TALI ERICKSON-GINI – MICHAEL HEINZELMANN, Elusa (I). Vorbericht zur Grabungs- und Surveykampagne 2019 71
- LEAH DI SEGNI, Elusa (II). A New Tetrarchic Inscription 91
- CAROLA BERSZIN – MICHELLE ROSSA, Das spätrömische Gräberfeld An St. Magdalenen in Köln 97
- MATTHIAS NIEBERLE – CATERINA PARIGI, Neue Forschungen zur Marmordekoration der Villen A und B von Oplontis 129

Experimentelle Archäologie

- CATHALIN RECKO – MICHAEL HEINZELMANN, Untersuchungen zur antiken Bauökonomie: römische Mauerwerkstechniken im bauarchäologischen Experiment 143

INHALT

Geophysik

MANUELA BROISCH-HÖHNER, Geophysikalische Untersuchungen in Albano Laziale (Italien) 157

MANUELA BROISCH-HÖHNER, Radaruntersuchungen in Kircheninnenräumen. Probleme
– Möglichkeiten – Resultate 167

Site Management

MATTHIAS NIEBERLE – JANINA OPRÉE, Neue Forschungen zum antiken Baiae – Teil III. Ein
architektonischer Entwurf zur Anbindung von Sektor A an den archäologischen Park von
Baia 177

Untersuchungen zur antiken Bauökonomie: römische Mauerwerkstechniken im bauarchäologischen Experiment

CATHALIN RECKO – MICHAEL HEINZELMANN

*The ancient building industry has been enjoying a growing interest for some time now. In Cologne, the working group 'Roman Building Economy' has been dealing with these issues since 2015. The research focuses on the quantification of construction volumes, the reconstruction of work processes and construction site logistics as well as the calculation of the working hours necessary for the construction process and for the production and transport of construction materials. The working hours required for the buildings are calculated based on engineering manuals from the 19th century, in particular the work of Giovanni Pegoretti from 1862/64, a relatively reliable basis. However, there are no direct analogies in these manuals for the most important Roman masonry techniques, so that previous research calculating the working hours needed for them had to operate with estimates. In order to obtain a better data basis, three types of Roman masonry (*opus incertum*, *opus reticulatum* and *opus testaceum*) were reconstructed in an experiment in 2018. The working hours that can be derived from this experiment also permit further considerations on the question of rationalisation processes in the Roman building industry.*

Römisches Mauerwerk: Forschungsfragen und methodische Ansätze

Einen der innovativsten Beiträge des römischen Bauwesens zur antiken Architekturgeschichte stellt die Einführung des Baustoffs *opus caementicium* gegen Ende des 2. Jhs. v. Chr. dar. Dieser brachte nicht nur eine wesentliche Rationalisierung und Beschleunigung der Bauprozesse mit sich, sondern erlaubte völlig neue gestalterische Möglichkeiten, z. B. beim Gewölbe- und Kuppelbau. Zugleich bedeutete der Einsatz von *opus caementicium* im Mauerbau einen fundamentalen Umbruch der statischen Grundprinzipien in der antiken Konstruktionstechnik¹. Bei älteren, zweischaligen Mauerwerksarten erfolgt die Lastabtragung ausschließlich über die beiden Außenschalen, so dass der Mauerkerne weitgehend vernachlässigt werden konnte. Mit dem Einsatz von *opus caementicium* wird dieses Prinzip umgedreht, da nun der Mauerkerne zum eigentlichen Tragelement wird, während die Außenschalen nur noch zum Witterungsschutz und zur gestalterischen Definition der Mauerhülle dienen. Möglicherweise begünstigt durch diesen Verlust statischer Funktionen, entwickelt sich gerade die Gestaltung der Mauerschalen

seit der Einführung von *opus caementicium* besonders dynamisch. Dabei wurde bereits früh für Rom und Mittelitalien eine weitgehend lineare Entwicklung von Mauerwerkstypen postuliert, die in der späten Republik mit dem Bruchsteinmauerwerk oder *opus incertum* (ab dem 2. Jh. v. Chr.) beginnt, über *opus quasi reticulatum* (ab ca. 80 v. Chr.) zu *opus reticulatum* (ab ca. 50/40 v. Chr.) führt und schließlich in der Kaiserzeit im Ziegelmauerwerk (*opus testaceum*) endet (**Abb. 1 und 2**)². Letzteres erscheint bereits vereinzelt ab augusteischer Zeit, findet jedoch erst gegen Ende des 1. Jhs. n. Chr. in großem Umfang Verwendung, mit einem Höhepunkt im mittleren 2. Jh. n. Chr. Als Grund für diese Entwicklung wird im Allgemeinen ein stetiger Standardisierungs- und Rationalisierungsprozess angenommen, der zu kürzeren Bauzeiten geführt habe, doch konnten für diese Hypothese bislang keine belastbaren Belege angeführt werden³. Tatsächlich gibt es bei der Annahme einer kontinuierlichen Suche nach Effizienzsteigerung als Motor für die Weiterentwicklung der Mauertechniken gewisse Widersprüchlichkeiten, die es zu erklären gilt: zum einen treten mehrere Mauerwerkstypen für längere Zeiträume parallel in Erscheinung, wie

1 Hierzu und zum Folgenden u. a. Lugli 1957, 363–442; Ward-Perkins 1989, 98–101; Adam 2005, 79–84.

2 Vgl. u. a. Lugli 1957, 445–630; Adam 2005, 139–163.

3 Vgl. u. a. DeLaine 2001; Adam 2005, 140 f.



Abb. 1: Im Rahmen des bauarchäologischen Experiments errichtete Mauerabschnitte aus *opus reticulatum* (links) und *opus testaceum* (rechts).

z. B. *opus incertum* in Pompeji bis in die Kaiserzeit in Verwendung bleibt, während Retikulat- und Ziegelmauerwerk bis zum Vesuvausbruch eine eher untergeordnete Rolle spielen. Zum anderen kommt es zur Vermischung verschiedener Mauerwerkarten, wie im Fall von *opus mixtum*, bei dem in der Regel Retikulat für die Wandflächen bzw. Ziegel für die Eckpfeiler und andere tragende Mauerteile kombiniert werden. Schließlich ist zu erklären, weshalb alle genannten Mauerwerkstypen außerhalb Mittelitaliens kaum Nachahmung finden, obwohl *opus caementicium* weithin rezipiert wird. Kann hier für *opus incertum* und *opus reticulatum* noch die Abhängigkeit von geeigneten Rohstoffvorkommen als möglicher Grund für das eingeschränkte Auftreten angeführt werden, fällt diese Begründung für Ziegelmauerwerk aus: So wurden in Teilen der Provinzen Dachziegel hergestellt, weshalb das Vorkommen adäquater Tonlagerstätten sowie das notwendige Produktions-Know-how vorausgesetzt werden muss. Dennoch bleiben in der Kaiserzeit reine Ziegelbauten in den meisten

Regionen außerhalb von Mittelitalien Ausnahmefälle. Angesichts dieser Ungereimtheiten scheint es angezeigt, noch einmal die vermeintliche Rationalisierung und Effizienzsteigerung bei der Mauerwerkentwicklung genauer zu betrachten.

Als inzwischen gut etablierte, wenngleich noch nicht standardisierte Methode hat sich die Ermittlung von Arbeitszeiten im Baugewerbe erwiesen. Sie wurde im Bereich der römischen Architektur erstmals von Janet DeLaine am Beispiel der Caracalla-Thermen in Rom systematisch eingeführt⁴. Mit dem in jüngster Zeit stark zunehmenden Interesse an wirtschaftshistorischen Fragestellungen wird dieser methodische Ansatz seit einigen Jahren von verschiedenen internationalen Arbeitsgruppen und Forschern als ein möglicher Zugang zur antiken Bauökonomie stark vorangetrieben. Das grundsätzliche Vorgehen ist hierbei weitgehend identisch: zunächst werden anhand der erhaltenen Gebäudereste die Volumina der verwendeten Baumaterialien quantifiziert sowie die zum Einsatz gekommenen Arbeitstechniken ermittelt. Mit-

4 DeLaine 1997.



Abb. 2: Im Rahmen des bauarchäologischen Experiments errichteter Mauerabschnitt aus *opus incertum*.

hilfe von Ingenieurhandbüchern aus dem 19. Jh., d. h. aus einem Zeitraum in dem das Baugewerbe noch weitgehend ohne maschinelle Hilfsmittel und mit ähnlichen Techniken wie in der Vormoderne ausgeübt wurde, werden dann Analogien für die antiken Konstruktionstechniken gesucht und die hierfür angegebenen Zeitansätze, in der Regel in Gestalt von Mannstunden, übertragen⁵. Da diese Ingenieurhandbücher neben Angaben für die eigentlichen Arbeitszeiten auf der Baustelle, auch Zeitangaben für die Gewinnung und Produktion von Baumaterialien sowie deren Transport zur Baustelle liefern, können auf ihrer Grundlage holistische Modelle aller mit einem Bau verbundenen Arbeitsprozesse entworfen werden. Die dabei zentral zugrunde gelegte Arbeitszeit wird im Falle einer standardisierten und systematisier-

ten Anwendung zu einem wichtigen Korrelationsinstrument, so dass der Zeitaufwand für einzelne Gebäude – unabhängig von ihrem zeitlichen, regionalen oder kulturellen Kontext – grundsätzlich vergleichbar wird. Ein methodisches Problem stellt allerdings dar, dass nicht für alle antiken Konstruktionstechniken in den Ingenieurhandbüchern des 19. Jhs. adäquate Analogien vorliegen. Eine sehr gute Datengrundlage ergibt sich beispielsweise für alle in *opus quadratum* ausgeführten Mauerwerke: So führt das ausführlichste dieser Handbücher von Giovanni Pegoretti für insgesamt 82 Gesteinsarten bis zu 35 Bearbeitungsschritte mit jeweiligen Zeitansätzen auf, darunter auch für komplexe Dekorformen wie Säulen und Gebälke. Auf seiner Grundlage ist daher die detaillierte Modellierung eines griechischen Tempels pro-

5 Das aufgrund seines hohen Detailgrades wichtigste Handbuch stellt das in mehreren Auflagen erschienene Werk des italienischen Bauingenieurs Giovanni Pegoretti

dar (Pegoretti 1862/64). Weitere, teilweise ergänzende Hinweise liefern u. a. Hurst 1921, Rea 1902.

blemlos möglich. Auf der anderen Seite finden sich weder bei Pegoretti noch bei anderen Autoren unmittelbare Vergleichsbeispiele für römische Mauerwerksarten, deren Kern aus *opus caementicium* bestehen. Dies gilt für den Werkstoff Caementicium selbst, der hinsichtlich Konsistenz und Beischlägen bereits im römischen Kontext extrem variabel ist. Doch auch für die Schalungstechniken *opus incertum* und *opus reticulatum* lassen sich praktisch keine direkten Parallelen finden. Ähnliches gilt für *opus testaceum*: zwar ist der Einsatz von Mauerziegeln im 19. Jh. weit verbreitet, doch weicht ihr rechteckiges Blockformat stark von den flacheren und dreieckigen römischen Ziegeln ab. Zudem werden die neuzeitlichen Mauern massiv, d. h. vollständig aus Ziegeln, errichtet. Insgesamt können daher aus den Ingenieurhandbüchern für die hier besprochenen römischen Mauerwerkstechniken nur indirekte Hinweise gewonnen werden, so dass am Ende häufig reine Schätzungen nötig sind⁶.

Das bauarchäologische Experiment: Aufbau und Parameter

Um eine bessere Grundlage für die Berechnung der Arbeitszeiten für den Bau römischer Mauern zu schaffen, wurden im Rahmen der Kölner Arbeitsgruppe ‚Römische Bauökonomie‘ in Kooperation mit dem Graduiertenkolleg 1878 ‚Archäologie vormoderner Wirtschaftsräume‘ und dem LVR-Archäologischen Park Xanten im Sommer 2018 ein bauarchäologisches Experiment durchgeführt (Abb. 3)⁷. Hierbei wurden von der auf traditionelle Mauerwerkstechniken spezialisierten Bauunternehmung Engenhorst drei gleich große Mauern in der Größe 2,5 x 0,5 x 2,0 m (L x B x H) errichtet (Abb. 1 bis 2)⁸. Jeweils zwei erfahrene Maurer erbauten gemeinsam eine der Testmauern in den römischen Techniken *opus incertum*, *opus reti-*

culatum und *opus testaceum* mit einem Kern aus *opus caementicium*.

Die Parameter des Experiments wurden danach ausgewählt, die für die Arbeitszeitberechnung relevantesten Arbeitsschritte zwischen den drei Mauertechniken quantifizierbar und untereinander vergleichbar zu machen. Demgegenüber bestand explizit nicht der Anspruch, eine römische bzw. antike Baustelle in allen Einzelheiten nachzustellen. Das bedeutet, dass beispielsweise die Nutzung von Betonmischern und Schubkarren – obwohl uns diese aus römischer Zeit nicht bekannt sind – nicht unterbunden wurde, da die Bereitstellung von Mörtel nicht in der Auswertung der Arbeitszeit berücksichtigt wurde. Im Gegenzug bedeutete die Nutzung gewohnter Arbeitsgeräte, dass die Arbeitsabläufe der Maurer geringstmöglich beeinträchtigt wurden und die Zeitmessung somit weitgehend unverfälscht erfolgen konnte.

Im Fokus der Zeitmessungen standen bei allen drei Mauerwerksarten die folgenden Arbeitsschritte:

1. Das Setzen der Steine bzw. Ziegel. Zu diesem Schritt zählt das Aufnehmen und Verteilen von Mörtel mit Hilfe einer Maurerkelle, das Aufnehmen und Platzieren des Steins sowie das abschließende Justieren des Steins durch leichtes Klopfen mit der Kelle.
2. Säuberung der Fugen und abschließendes Nachverfugen mit der Fugenkelle. Jegliche Arten von Zierfugen werden hier nicht eingeschlossen.

Nicht mit in die Arbeitszeitauswertung flossen Tätigkeiten der Materialbereitstellung (Mörtelmischen, Ziegelschneiden, Herantragen und Bereitlegen des Materials), Aufstellung des Mauergerüsts und des Arbeitsgerüsts sowie die Errichtung der beiden Schmalseiten der Mauern⁹.

6 Vgl. beispielsweise die entsprechenden Schätzwerte bei DeLaine 2001, 234 f.

7 Für die Unterstützung danken wir herzlich dem LVR-Archäologischen Park Xanten, namentlich Peter Kienzle und Dorien Wulff. Von Seiten des Archäologischen Instituts der Universität zu Köln wirkten neben den Autoren mit: Robert Schönell, Robert Seidel, Marc Brämer, Annika Skolik und Stephanie Braun.

8 Diese Abmessungen entsprechen nach Einschätzung der Maurer einer Größe, bei der sich ein routiniertes und gleichmäßiges Arbeiten eingestellt hat.

9 Obwohl Schmalseiten und insbesondere Mauerecken essentieller Bestandteil auch von antiken Mauerkonstruktionen sind, ist der flächenmäßige Anteil in diesem Versuchsaufbau zu gering, um diesbezüglich aussagekräftige Schlüsse zu ziehen.



Abb. 3: Baustelle im LVR-Archäologischen Park Xanten.

Tab. 1 zeigt Menge, Form und technische Details aller relevanten Baumaterialien. Bei den Bruchsteinen für die Incertummauer handelt es sich um Grauwacke, deren individuelle Größe sich auf ein bis zwei Faustgrößen beläuft, was den durchschnittlichen Abmessungen bei entsprechenden pompejanischen Mauern entspricht. Die Retikulatsteine aus Ettringer Tuff wurden als gesägte Quader geliefert und vor Ort durch händisches Abschlagen der Seiten in pyramidale Form gebracht, ähnlich wie der Herstellungsprozess von antiken Retikulatblöcken angenommen wird. Aus Vergleichbarkeitsgründen wurde dieser Arbeitsschritt jedoch separat erfasst und bei den folgenden Überlegungen nicht berücksichtigt. Um die spezifische Dreiecksform der Mauerziegel zu erreichen, wurden quadratische Ziegelplatten diagonal mit Maschineneinsatz in zwei gleich große Dreiecke gesägt. Dieses Verfahren weicht deutlich vom römischen Herstellungsprozess ab, bei dem nach aktuellem Kenntnisstand

Ziegel in Dreiecksform gebrochen und dann an den Vorderkanten manuell durch mehr als 20 Beilschläge geglättet wurden¹⁰. Demnach lag der Fokus auf einer möglichst authentischen Form und Funktion der verwendeten Baumaterialien und nicht auf deren Herstellung mit antiken Werkzeugen und Techniken.

Die jeweiligen Mauerkerne sind zwar an *opus caementicium* angelehnt, sind hier jedoch von sekundärem Interesse. Die *opus incertum* Mauer hat einen durchgehenden Kern aus Bruchsteinen derselben Größe wie die der Schale und orientiert sich somit an den Bruchsteinmauerkerne aus Pompeji. Der Kern der Retikulatmauer besteht wiederum aus grobem Mörtel, der schichtweise mit Abschlägen und Fragmenten der Tuffsteine eingefüllt wurde (Abb. 4). Im Kern der Ziegelmauer sind wiederum kleinere Ziegelfragmente und grober Ziegelsplitt beigemischt.

¹⁰ Albrecht 2016, 193–208.

Mauertechnik	<i>Opus testaceum</i>	<i>Opus reticulatum</i>	<i>Opus incertum</i>
Gesamtmaße (L x B x H)	2,51 x 0,54 x 1,48 m	2,33 x 0,6 x 1,51 m	2,51 x 0,6 x 1,51 m
Fläche der Schale	3,52 m ²	3,52 m ²	3,79 m ²
<u>Stein/Ziegel</u>			
Maße	0,23 x 0,12 x 0,03 m	0,08 x 0,08 x 0,14 m	ca. 0,0005 m ³
Stückzahl pro Schale	350	425 ¹¹	267
<u>Mörtel (Schale)</u>			<u>Schalen und Kern</u> ¹²
Gesamtvolumen	0,24 m ³	0,23 m ³	1,29 m ³
Anteil in Prozent	64 %	47 %	57 %
<u>Kern</u>			
Gesamtvolumen	1,3 m ³	1,36 m ³	s.o.

Tab. 1: Zahlen und Daten der drei gebauten Mauerabschnitte.

Für den Bau der ersten beiden Mauern in den Techniken *opus reticulatum* und *opus testaceum* wurde im Mai 2018 auf dem Gelände des Archäologischen Parks Xanten eine Baustelle eingerichtet (Abb. 1 bis 5). Der Bau der Incertummauer folgte einige Monate später und nahm zwei Arbeitstage in Anspruch (Abb. 2. 6. 8). Das Handwerkerteam bestand aus jeweils zwei Maurern pro Mauer und einem freien Arbeiter, der für die Mörtelherstellung und andere Materialtätigkeiten zuständig war. Während der zum Bau benötigten Arbeitstage wurden die Teams protokollarisch begleitet und gefilmt. Zeitlich erfasst wurden neben individuellen Gesamtarbeitszeiten auch exemplarisch isolierte Einzelschritte.

Vorläufige Ergebnisse des Experiments

Betrachtet man das Setzen eines Steins oder Ziegels als isolierte Einzelhandlung gemäß dem oben beschriebenen Ablauf hat sich gezeigt, dass zwischen *opus testaceum* mit durchschnittlich 00:31 Minuten pro gesetztem Ziegel und *opus reticulatum* mit durchschnittlich 00:33 Minuten pro gesetztem Stein keine nennenswerten Unterschiede zu beobachten sind (Tab. 2). Die Form des zu setzenden Steins ist demnach von untergeordneter Bedeutung, sowohl bezüglich der Handhabung

des Steins selbst als auch bezüglich des Auftrags von Mörtel. In beiden Fällen wird ein Mörtelbett lediglich für den zu setzenden Stein ausgelegt. Dies gilt auch für die ebenen Ziegelreihen, die zwar aufgrund der durchgehenden horizontalen Fugen eine weiterreichende Mörtelbahn erlauben würden, was jedoch auf Grund des schnellen Antrocknens des Mörtels nicht sinnvoll ist (Abb. 5).

Bei *opus incertum* liegt die durchschnittliche Zeit für das Setzen eines Steins bei 00:38 Minuten und somit über den oben genannten Zeiten für Ziegel und Retikulat. Als dies bestimmenden Faktor hat sich hier die unregelmäßige Bruchsteinform erwiesen. Allerdings nicht bezüglich des Setzens an sich, sondern bereits bei der Auswahl des passenden Steins. Anders als bei den gleichförmigen Ziegeln und Retikulatsteinen bilden die heterogenen Bruchsteine unregelmäßig verlaufende Steinreihen, auf die die Bruchsteine in passender Form gesetzt werden müssen. Dadurch erweitert sich der Prozess des Steinesetzens um das probenhalber Ansetzen eines Steins in verschiedener Ausrichtung und möglicherweise auch an verschiedenen Stellen sowie um das eventuelle Verwerfen eines ausgesuchten Steins. Um dem Maurer eine möglichst große und gut zu überblickende Auswahl an Steinen zu bieten, lagen die Bruchsteine zudem

11 Davon 367 quadratische Steine und 58 halbierte dreieckige Steine für die Ränder.

12 Durch die unregelmäßige Bruchsteinform und die durchgehende Konstruktion können in dieser Mauerart Schale und Kern rechnerisch nicht voneinander getrennt werden.



Abb. 4: Schale und Kern der Retikulatmauer im Aufbau.



Abb. 5: Schale und Kern der Ziegelmauer im Aufbau.



Abb. 6: Verfugen der Incertummauer. Im rechten und oberen Teil der Mauer die unbearbeiteten Fugen zum Vergleich.

in kleinen Ansammlungen an der Mauer entlang verteilt. Zusätzlich erfolgte das Setzen der Steine bedingt durch die Heterogenität der Reihen nicht in einer festgelegten Reihenfolge von links nach rechts. Auf Grund dieser Spezifika hatten die Maurer bei der Incertummauer einen deutlich erhöhten Bewegungsradius beim Setzen der Steine als bei den anderen beiden Mauern, wo die einheitlichen Steine unmittelbar in Griffweite lagen und in routinierter Abfolge nacheinander an die richtige Stelle gesetzt wurden. Was hingegen bei der Bruchsteinmauer vernachlässigt werden kann, ist das sorgfältige Einhalten einheitlicher Fugenhöhen.

Das Verfugen hat sich bei der Auswertung des Experiments ebenso als eines der primären Unterscheidungskriterien herausgestellt¹³. Mit dem Arbeitsschritt des ‚Verfugens‘ ist hier das einfache Überarbeiten und Glätten der Fugen mit Fugeisen und Besen gemeint (Abb. 6). Die Art der Fugen

und somit auch deren Bearbeitung unterscheiden sich deutlich zwischen den verschiedenen Mauertechniken. Während das Ziegelmauerwerk aus den klassischen geraden Lager- und Stoßfugen besteht, fungieren die diagonal verlaufenden Fugen des *opus reticulatum* quasi ausschließlich als Lagerfugen. Daher war auch die Bearbeitung der Fugen deutlich zeitaufwändiger und erforderte oftmals weiteres Einbringen von Mörtel in die Fugen. Bei den Fugen der Bruchsteinmauer hingegen kann man weder von Lager- noch von Stoßfugen sprechen, da die Bruchsteine von unregelmäßigen Mörtelflächen verbunden werden. Demnach musste auch das Fugeisen entlang aller unregelmäßigen Bruchsteinkanten geführt werden.

Eine Gegenüberstellung der Arbeitszeit für das Verfugen von 1 m² Mauerschale hat ergeben, dass das Ziegelmauerwerk mit durchschnittlich 06:44 Minuten mit Abstand den wenigsten Aufwand

13 Dem zugrunde liegt die Annahme, dass bei jeder Art von freistehender Mauer eine Glättung der Fugen erfolgte, auch wenn diese anschließend verputzt wurde.

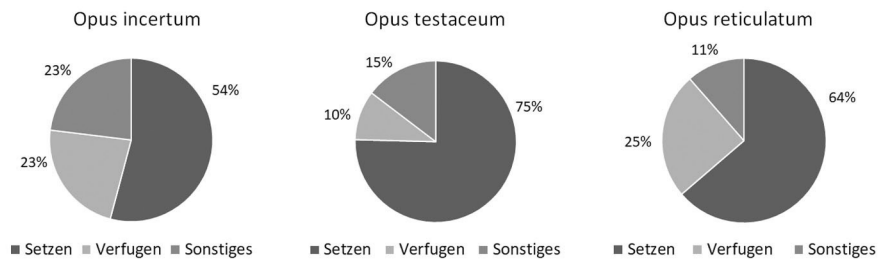


Abb. 7: Prozentualer Anteil der Arbeitsbereiche im Vergleich der drei Mauertechniken.

erforderte gegenüber etwa 18 Minuten für *opus incertum* und fast 23 Minuten für *opus reticulatum*. Da der flächenmäßige Anteil der Mörtelfugen an der Mauerschale nicht identisch ist, wurde zum Vergleich ebenso die Zeit für das Verfugen von 1 m² Mörteloberfläche herangezogen. Für *opus testaceum* ergibt sich so ein Wert von 22:21 Minuten, der weiterhin unter dem Schnitt von *opus incertum* mit 42:32 Minuten und ebenso von *opus reticulatum* mit 80:57 Minuten liegt. Am etwa vierfach so großen Verhältnis zwischen Ziegel und Retikulat ändert sich nichts durch diese Betrachtungsweise, da die Oberfläche beider Schalen zu etwa 30 % aus Mörtelfugen besteht. Allerdings rückt die Arbeitszeit für die Bruchsteinfugen im Verhältnis näher an die Ziegelfugen heran, da hier der Anteil von Mörtel mit etwas über 40 % deutlich höher liegt.

Die Arbeitsschritte Setzen und Verfugen wurden für die Quantifizierung und optimale Vergleichbarkeit der drei Mauertechniken bisher als isolierte Einzelschritte betrachtet. In Bezug auf den gesamten Bauablauf ist dies selbstverständlich nicht realistisch. Die Zeiten beispielsweise zwischen Ende des Setzens einer Ziegelreihe und dem Beginn einer neuen Reihe sowie kurzes Innehalten, kleine Nachbesserungen etc. dürfen in der Gesamtkalkulation nicht unberücksichtigt bleiben. Daher wurde die gesamte Arbeitszeit, die der Maurer unmittelbar an der Mauer verbrachte – abzüglich von Tätigkeiten, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang

standen¹⁴ – ebenfalls als Referenzwert herangezogen. Diese Gesamtarbeitszeit setzt sich demnach zusammen aus dem Setzen der Steine, dem Verfugen und einem prozentualen Anteil für ‚Sonstiges‘, der die oben genannten Füllschritte umfasst (Abb. 7). *Opus testaceum* sticht auch hier hervor durch den hohen Anteil des Setzens gegenüber geringen Anteilen an Verfugen und Sonstigem, was auf eine hohe Effizienz dieser Mauertechnik schließen lässt. Der mit 23 % verhältnismäßig hohe Anteil für Sonstiges in der Incertummauer ist zumindest teilweise ebenso mit dem erhöhten Aufwand der Steinauswahl zu erklären. Generell ist allerdings zu bedenken, dass diese Kategorie eher unpräzise ist und auch beispielsweise von der individuellen Arbeitsweise eines Maurers beeinflusst werden kann. Interessant ist zudem die Beobachtung, dass das Verfugen von *opus incertum* und *reticulatum* mit um die 25 % jeweils denselben Anteil an der Gesamtarbeitszeit aufweist trotz unterschiedlicher Zeitwerte pro Quadratmeter.

Für die Mauerkerne konnte durch das Experiment die Erkenntnis gewonnen werden, dass für eher simple Arbeitsschritte wie das Schaufeln von Mörtel und das anschließende Verdichten mit der Kelle die Arbeitszeit kaum Schwankungen unterworfen ist. Für das Verdichten von in den Kern eingebrachtem Mörtel konnte demnach sowohl bei dem größeren Mörtel der Ziegelmauer als auch bei der Retikulatmauer ein Wert von etwa 40 Minuten pro m³ Mörtel dokumentiert werden. Der gesamte Arbeits-

14 Dazu gehört beispielsweise das Setzen und Verfugen der Schmalseiten.

Mauertechnik	<i>Opus incertum</i>	<i>Opus reticulatum</i>	<i>Opus testaceum</i>
Fläche der Schale in m ²	3,79	3,52	3,52
Anzahl Steine pro Schale	267	425	350
Anzahl Steine pro m ²	70	121	99
Gesamtarbeitszeit (hh:mm:ss)	05:13:40	06:33:22	03:58:09
... davon Setzen	02:49:49	01:37:35	02:59:34
... davon Verfugen	01:11:31	01:19:39	00:23:40
Zeit pro m ² Schale	01:22:45	01:51:48	01:07:41
Zeit pro Stein ¹⁵	00:01:10	00:00:56	00:00:41
Anzahl Steine pro Tag (10 h)	514	648	882
Vorige Vorschläge nach DeLaine	400 bis 500	700	1000

Tab. 2: Ergebnisse des Mauerexperiments im Vergleich von je einer Schale der drei Mauertechniken.

aufwand für den Kern beider Mauern beläuft sich ebenso einheitlich auf etwa 80 bis 90 Minuten pro m³ Kern, trotz des zusätzlichen händischen Einbetrens von Steinfragmenten bei der Retikulatmauer.

Der Kern der Incertummauer ist nicht direkt mit den beiden anderen zu vergleichen, da es sich um kompaktes Bruchsteinmauerwerk handelt und nicht um einen Mörtel- bzw. Caementicumkern (**Abb. 8**). Dabei hat sich allerdings gezeigt, dass das Setzen der Steine – obwohl in Form und Größe identisch mit den Steinen für die Schalen – erheblich weniger Zeitaufwand erforderte mit einem durchschnittlichen Wert von 17 Sekunden pro Stein. Unter anderem lässt sich das damit erklären, dass die Steine für den Kern kein individuelles Mörtelbett benötigen und die Platzierung mehr Freiheiten zulässt, als bei den Außenschalen.

Fazit

Die detaillierte Dokumentation und Analyse des Baus von römischen Mauern, durchgeführt von fachkundigen Arbeitern, haben erheblich zum Ver-

ständnis einzelner Prozesse, deren Zeitaufwand sowie deren Relation zueinander beigetragen.

So wurde beispielsweise bestätigt, dass für einen geraden Wandverlauf einer *opus incertum*-Mauer kein Bearbeiten der einzelnen Steinflächen notwendig ist. Außerdem ist es praktikabler, den groben Mörtel im Kern nicht durch Pressen oder gar Rammen zu verdichten, sondern durch kleine, schiebende Bewegungen mit der Maurerkelle. Auf Basis der erzielten Daten und unter Berücksichtigung technischer und ablaufbedingter Einschränkungen werden folgende Arbeitszeitberechnungen des Baus römischer Mauertechniken mit einer mittleren Qualitätsstufe veranschlagt:

Opus testaceum: 900 Ziegel pro Tag (10 effektive Arbeitsstunden)¹⁶ bzw. 1,12 h pro m² Schale

Opus reticulatum: 650 Steine pro Tag bzw. 1,86 h pro m² Schale

Opus incertum: 550 Steine pro Tag bzw. 1,37 h pro m² Schale

¹⁵ Diese Zeit berücksichtigt selbstverständlich die gesamte Arbeitszeit und nicht nur das reine Setzen.

¹⁶ Zur besseren Vergleichbarkeit wird hier die Leistung in versetzten Steinen pro 10 Stunden angegeben. Pegoretti 1864, 144 berechnet hingegen die Zeit anhand einer

Formel, die zusätzlich das Verhältnis von Ziegel zu Mörtel, die Gesamthöhe der Mauer sowie das Verhältnis von innen- und außenliegenden Ziegeln berücksichtigt. Siehe dazu auch DeLaine 2001, 234 f.



Abb. 8: Schale und Kern der Bruchsteinmauer im Aufbau.

Opus caementicium: Setzen von Bruchsteinen: 1600 Steine pro Tag¹⁷. Schaufeln von grobem Mörtel mit anschließendem Verdichten: ca. 90 Minuten pro m³.

Diese Zahlen differieren nur wenig von den entsprechenden Schätzwerten DeLaines, die für Ziegelmauern mittlerer Qualitätsstufe pro Arbeitstag (à 10 h) den Versatz von 1000 Ziegeln, für Retikulatmauern von 700 Steinen sowie für Incertummauern von 400 bis 500 Steine annimmt¹⁸.

Das Festlegen von Zeitwerten für *opus caementicium* ist weiterhin problematisch, da der Baustoff weniger stark standardisiert wurde als die eigentlichen Verschalungstechniken und zeitlich, regional und sogar auf lokaler Ebene sehr große

Unterschiede aufweisen kann. Daher müssen hier in jedem Fall die individuellen Gegebenheiten des jeweils untersuchten Gebäudes berücksichtigt werden. Dazu zählen beispielsweise die Größe und Art des Beischlags, die Zuschlagsstoffe und die Grundkonsistenz des Mörtels, der abhängig vom Plastizitätsgrad ggf. eher schichtenweise geschüttet oder händisch aufgetragen wird, sowie der Sorgfaltsgrad bei diesen Vorgängen.

Generell sind die hier vorgestellten Zahlen und Ergebnisse nicht als allgemeingültige Festwerte zu verstehen, sondern als ein erster Beitrag zur Verfeinerung der Arbeitszeitberechnung, um die Lücke zwischen antiken Befunden und den neuzeitlichen Handbüchern weiter zu schließen.

¹⁷ Dies bezieht sich auf die sehr großen Steine, wie wir sie aus Pompeji kennen. Bei kleinerem Beischlag kann sich dieser Wert noch erhöhen.

¹⁸ DeLaine 2001, 234 f.

Mauertechnik	<i>Opus incertum</i>	<i>Opus reticulatum</i>	<i>Opus testaceum</i>
Anzahl Steine pro Tag	550	650	900
Herstellungszeit Tagessatz in h	2,14	28,65	24,13
Anzahl Steine pro m ² Schale	70	120	99
Herstellungszeit in h	0,27	5,29	2,65
Herstellungszeit pro Stück in min.	0,23	2,65	1,6
Gesamtbilanz (Herstellung + Versatz) pro m ² Mauerschale in h	1,64	7,15	3,77

Tab. 3: Herstellungszeiten des Baumaterials für die drei Mauertechniken auf der Basis von Pegoretti (vorläufig).

Ausblick

Kehrt man auf dieser Daten- und Materialgrundlage zur eingangs gestellten Frage einer möglichen Effizienzoptimierung als Hintergrund für die Entwicklung des römischen Mauerwerks zwischen später Republik und mittlerer Kaiserzeit zurück, ergibt sich ein widersprüchliches Bild (Tab. 3). Ganz im Gegenteil zu den Erwartungen hat die Einführung von Retikulatmauerwerk im Vergleich zu *opus incertum* trotz der Standardisierung des Baumaterials zu einer erheblichen Verlangsamung des Bauprozesses von 1,37 h pro Quadratmeter Mauerfläche auf nunmehr 1,86 h geführt, was einer Erhöhung der benötigten Arbeitszeit von ca. 36 % entspricht. Demgegenüber kommt es mit der Einführung von Ziegelmauerwerk tatsächlich zu einer deutlichen Verkürzung der Arbeitszeiten auf nunmehr 1,17 h pro Quadratmeter Mauerfläche, was einer Reduktion von 15 % gegenüber *opus incertum* bzw. 37 % gegenüber Retikulatmauerwerk entspricht.

Berücksichtigt man allerdings in der Gesamtbilanz auch die Herstellungszeiten der jeweiligen Baumaterialien (Bruchstein und Retikulatblöcke aus Tuff, Ziegel) verändert sich das Bild. Zwar stellt sich

opus reticulatum weiterhin mit großem Abstand am zeitaufwendigsten dar (Herstellung 5,29 h plus 1,86 h Versatz = gesamt 7,15 h pro Quadratmeter Mauerfläche)¹⁹, doch schneidet *opus incertum* mit insgesamt 1,64 h pro Quadratmeter Mauerfläche von allen drei Mauerarten am günstigsten ab. Bei *opus testaceum* sind für dessen Produktion (einschließlich der Bereitstellung des benötigten Brennmaterials) und das Vorbereiten der Ziegel (Brechen, Nachbearbeiten der Bruchkanten) 2,65 h einzukalkulieren, was die Gesamtbilanz auf 3,82 h pro Quadratmeter Mauerfläche – mehr als das Doppelte von *opus incertum* – anhebt. Der Vorteil bei Ziegelmauerwerk besteht aber möglicherweise darin, dass durch die Verlagerung von Teilarbeits-schritten in andere Bereiche bestimmte Prozesse zeitversetzt oder parallel geführt werden können, wodurch de facto eine Beschleunigung der eigentlichen Baustelle erreicht werden kann. Insgesamt scheint es sich bei der Entwicklung der Mauerwerksarten zwischen der späten Republik und der mittleren Kaiserzeit aber um keinen linearen Optimierungsprozess gehandelt zu haben, so dass in Zukunft nach weiteren möglichen Ursachen zu suchen ist.

¹⁹ Die Arbeitszeitberechnung für die Herstellung von Retikulaten ist noch immer problematisch. DeLaine 2001, 241 und 250–252 geht von einem komplizierten Herstellungsprozess vorwiegend unter Verwendung einer Säge aus, der nach ihren Berechnungen 10–12 Minuten pro einzeltem Retikulatblock benötigt hätte, was aber kaum

realistisch erscheint. Hier wurden stattdessen die Angaben Pegorettis für das einfache Zurichten von weichem Tuffstein zugrunde gelegt. Dieser Ansatz kann aber nur als vorläufig angesehen werden. Gerade für die Herstellung von Retikulaten sind weitere Forschungen, insbesondere experimentalarchäologische Überprüfungen nötig.

Literaturverzeichnis

Adam 2005

J.-P. Adam, *La construction romaine. Matériaux et techniques* ⁴(Paris 2005).

Albrecht 2016

L. Albrecht, *Werkspuren an Ziegeln im opus testaceum – zur Frage der Ziegelteilung*. In: D. Kurapkat – U. Wulf-Rheidt, *Werkspuren. Materialverarbeitung und handwerkliches Wissen im Antiken Bauwesen, Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung* 12 (Regensburg 2016) 193–208.

DeLaine 1997

J. DeLaine, *The Baths of Caracalla* (Portsmouth 1997).

DeLaine 2001

J. DeLaine, *Bricks and Mortar. Exploring the Economics of Building Techniques at Rome and Ostia*. In: D. J. Mattingly – J. Salmon (Hrsg.), *Economies Beyond Agriculture in the Classical World* (London 2001) 230–268.

Hurst 1921

J. T. Hurst, *A Handbook of Formulæ, Tables, and Memoranda for Architectural Surveyors and Others Engaged in Building* (London 1921).

Lugli 1957

G. Lugli, *La tecnica edilizia romana* (Rom 1957).

Pegoretti 1862/64

G. Pegoretti, *Manuale pratico per l'estimazione dei lavori architettonici, stradali, idraulici e fortificazione per uso degli ingegneri ed architetti I und II* (Mailand 1862 und 1864).

Rea 1902

J. T. Rea, *How to Estimate. Being the Analysis of Builders' Prices* (London 1902).

Ward-Perkins 1989

J. B. Ward-Perkins, *Roman Imperial Architecture* ²(London 1989).

Abbildungsnachweis: Alle Abbildungen AG Bauökonomie, Archäologisches Institut Köln (C. Recko).

Anschriften: Cathalin Recko M.A., Archäologisches Institut, Universität zu Köln, 50923 Köln.

E-mail: c.recko@uni-koeln.de

Prof. Dr. Michael Heinzelmann, Archäologisches Institut, Universität zu Köln, 50923 Köln.

E-mail: michael.heinzelmann@uni-koeln.de

