



WERK SPUREN

Materialverarbeitung und handwerkliches Wissen
im antiken Bauwesen

Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung **12**

SCHNELL + STEINER

Werkspuren

Materialverarbeitung
und handwerkliches Wissen
im antiken Bauwesen

Deutsches Archäologisches Institut
Architekturreferat



Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung
Band 12

Werkspuren

Materialverarbeitung
und handwerkliches Wissen
im antiken Bauwesen



Internationales Kolloquium in Berlin
vom 13.–16. Mai 2015
veranstaltet vom Architekturreferat des DAI

im Henry-Ford-Bau der Freien Universität Berlin

Herausgegeben von
Dietmar Kurapkat und Ulrike Wulf-Rheidt

SCHNELL † STEINER

XIII, 466 Seiten Text mit 438 Abbildungen und einer Übersichtskarte

Umschlagabbildung: Logo des Kolloquiums, DAI Architekturreferat

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

1. Auflage 2017

© 2017 Verlag Schnell & Steiner GmbH,
Leibnizstraße 13, 93055 Regensburg

Redaktion: Dominique Krüger
Bildbearbeitung: Catrin Gerlach
Gestaltung & Layout: Jörg Denking
Satz: Jörg Denking & Ina Seiler
Umschlaggestaltung: Jörg Denking
Druck: Erhardi Druck GmbH, Regensburg

ISBN 978-3-7954-3205-8

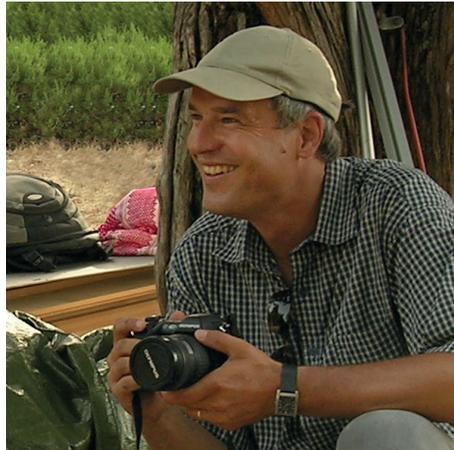
Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlags ist es nicht gestattet, dieses Buch oder Teile daraus auf fototechnischem oder elektronischem Weg zu vervielfältigen.

Weitere Informationen zum Verlagsprogramm erhalten Sie unter:
www.schnell-und-steiner.de

MARTIN BACHMANN

1964–2016

von Kollegen und Freunden gewidmet



Inhalt

Vorwort	VIII
Programm	XI
Einleitung / Introduction	
Dietmar Kurapkat – Ulrike Wulf-Rheidt , Werkspuren. Materialverarbeitung und handwerkliches Wissen im antiken Bauwesen / <i>Traces of Workmanship. Use of Materials and Knowledge of Workmanship in Antique Architecture</i>	1
Beiträge	
Luise Albrecht , Werkspuren an Ziegeln im <i>opus testaceum</i> – zur Frage der Ziegelteilung	193
Felix Arnold , Logistik einer Pyramidenbaustelle. Markierungen am Baumaterial der Pyramidenanlagen des Königs Snofru in Dahschur	389
Martin Bachmann (†) – Janet Lorentzen , Steinmetzmarken als Quellen zum Baugeschehen in Pergamon	435
Christiane Brasse , ›Verbunden‹ und ›Verzahnt‹ – Baukonstruktive Besonderheiten spätantiker Architektur im östlichen Mittelmeerraum	227
Ayşe Dalyancı-Berns , Die Stadtbefestigung von Nikaia (Iznik). Bautechnische Beobachtungen zur Rekonstruktion des Bauablaufs	417
Uta Dirschedl , Vom ›σκέπαρον‹ zum Zahneisen – Werkspuren an Kalkstein-, Kalkmergel- und Marmorwerkstücken des archaischen Didymaion	63
Birte Geißler , Spuren am Stein. Eine Nahansicht der Porta Nigra	89
Axel Gering , Marmordepots. Zum ›Recycling‹ des Forums von Ostia im 5. und 6. Jh. n. Chr.	149
Jürgen Giese , ›Kerbendekor‹ und ›gesäumte Spitzung‹. Zur Entwicklung und Bedeutung griechischer Werksteinoberflächen im 4. Jh. v. Chr.	119
Manfred Grawehr , Bossenstil und Baumaterial	103
Reinhard Heinz , Trial and Innovation – Bautechnische Sonderlösungen am Mausoleum von Belevi	373
Catharine Hof , Spurenverfolgung zu den Wölbformen und Gerüsttechniken an den Stadtmauern von Resafa und Zenobia (Syrien)	341

Inhalt

Catharine Hof , Spurenverfolgung zu den Wölbformen und Gerüsttechniken an den Stadtmauern von Resafa und Zenobia (Syrien)	341
Rudolf Känel , Verborgene Werkspuren. Beobachtungen zu präventiven Haft- und Stützvorkerhungen bei etruskisch-italischen Architekturterrakotten	167
Alexander von Kienlin , Zu Interpretation und Herkunft antiker Versatzmarken	427
Manfred Klinkott , Bauteile des Pergamonaltars. Material und Auswertung der noch auffindbaren Fragmente	303
Manolis Korres – Aenne Ohnesorg , Werkspuren im antiken Griechenland – Technik und Terminologie, mit einem Annex zu speziellen Werkspuren am Parthenon	11
Claudia Lacher-Raschdorff , Werkspuren. Schlüssel zum Bau eines frühdynastischen Felsgrabes in Ägypten	399
Peter Marzollf , Beobachtungen am ältesten keramischen Dachdecksystem	179
Jens Pflug , Der Baustellen-Workflow im Ziegelbau. Spuren der Planungs- und Bauprozesse im ›Versenkten Peristyl‹ der ›Domus Augustana‹	313
Ursula Quatember – Gerhard Paul , Zur Verdübelung römischer Werksteinbauten. Theorie und Praxis	257
Turgut Saner – Gizem Mater , Quarrying and Carving Traces Observed on the Stones of Larisa (Buruncuk)	33
Mike Schnelle , <i>blq</i> (Kalkstein) – ein ›heiliger‹ Werkstoff und seine Verarbeitung – Untersuchungen an südarabischen Kalksteinkonstruktionen im 1. Jt. v. Chr.	265
Thekla Schulz , Eine antike Großbaustelle – Ausführung und Bauablauf des Serapis-Tempels in Ephesos	359
Elisavet P. Sioumpara , Zahneisen – Werkspuren und ihre Bedeutung für die Topographie der archaischen Akropolis von Athen	41
Günther Stanzl , Werkspuren und Bautechnik am Ptolemaion von Limyra. Eine ostlykische ›Bauhütte‹ im Dienst der Ptolemäer?	209
Hilke Thür , Werkspuren am hellenistischen Heroon-Brunnen in Ephesos	135
Clemens Voigts , High-Tech für den römischen Kaiserpalast. Hohlbohrer und Gewölbeanker	333
Marc Waelkens – Göze Üner – Julian Richard , The Finishing Touch. The Architectural Decoration of the Late Hadrianic Nymphaeum at Sagalassos – The Stoneworking Process	446
Claudia Winterstein , Bauen mit Beachrock. Ein lokales Baumaterial und seine innovative Verwendung im kilikischen Selinus der Kaiserzeit	285

Vorwort

Nachdem in den zehnten und elften Kolloquien zur Archäologischen Bauforschung mit den Themen Licht und Weg primär konzeptionell-funktionale Aspekte der Architekturgestaltung in den Blick genommen wurden, widmete sich das 12. Kolloquium der praktischen Seite des Bauens. In dem Kolloquium »WERKSPUREN. Materialverarbeitung und handwerkliches Wissen im antiken Bauwesen« wurden die Materialien, aus denen die Bauten errichtet wurden sowie die handwerklichen Prozesse zu ihrer Gewinnung, Aufbereitung und Verarbeitung thematisiert. Es griff damit bewusst ein Thema auf, das vor einem Vierteljahrhundert bei den fünften Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung »Bautechnik der Antike« bereits behandelt wurde. Auf einer seitdem erheblich erweiterten Materialbasis sollten bei diesem Kolloquium zudem Aspekte des Wissens um Materialeigenschaften sowie die Tradierungsprozesse von handwerklichen Kenntnissen diskutiert werden. Inhaltlich sollte das Themenspektrum von der Verarbeitung unterschiedlicher Baumaterialien bis zu handwerklichen Traditionen und Innovationen reichen sowie den Material- und Workflow im antiken Bauwesen in den Fokus nehmen. Der »WERK«-Begriff zielte dabei sowohl auf die handwerklichen Aspekte als auch auf die kulturelle Wertschätzung der praktischen Arbeitsanteile, die für die Materialisierung eines architektonischen Werkes unabdingbar sind. Die »SPUREN« bezogen sich auf die von Werkzeugen an Bauteilen hinterlassenen Bearbeitungsspuren, die für den Bauforscher eine maßgebliche Quelle zur Rekonstruktion der dahinter verborgenen handwerklichen Prozesse sowie des Material-, Transport- und Bearbeitungsweges bis zur Baustelle bilden.

Der zeitliche Fokus der Tagung sollte bewusst sehr weit gefasst auf den antiken und frühen Baukulturen liegen. Explizit ausgeschlossen wurden das mittelalterliche und spätere Bauwesen in Europa. Die große Resonanz auf den Call for Papers zeigte, dass eine Einbeziehung dieses ebenfalls überaus interessanten Komplexes mit seiner reichen Quellenlage den Rahmen des Tagungsformats gesprengt hätte. Trotzdem hatten wir so zahlreiche interessante Anmeldungen, dass wir auch diesmal den Samstag mit einbeziehen mussten. Dennoch war es bedauerlicherweise nicht möglich, alle Anmeldungen zu akzeptieren.

Zum ersten Mal haben wir in den Räumen des Henry-Ford-Baus der Freien Universität Berlin getagt. Allen Mitarbeitern, die sowohl bei der Planung als auch der Durchführung zu einem reibungslosen Ablauf der Veranstaltung beigetragen haben, sind wir zu großem Dank verpflichtet. Die helle, freundliche Atmosphäre des Baus hat sehr zu einer entspannten und auch in den Pausen diskussionsfreudigen Veranstaltung beigetragen. Dabei hat uns die große Resonanz mit gefüllten Hörsälen bis zum letzten Vortrag sehr gefreut. Dasselbe gilt für die lebhaften und sehr erkenntnisreichen Diskussionen im Anschluss an die einzelnen Beiträge sowie während der Abschlussdiskussion.

Die Präsidentin Prof. Dr. Friederike Fless und der Generalsekretär Dr. Philipp von Rummel haben das Kolloquium, seine Publikation und Finanzierung stets sehr wohlwollend unterstützt. Philipp von Rummel danken wir zudem für die engagierte Begrüßungsrede.

Durch eine großzügige Unterstützung der Fritz-Thyssen-Stiftung war es auch dieses Mal wieder möglich, ein so breitgefächertes und internationales Kolloquium zu veranstalten. Hierfür danken wir der Stiftung sehr herzlich.

Das Kolloquium und seine zügige Publikation wären nicht ohne den tatkräftigen Einsatz aller Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Architekturreferates durchführbar gewesen. Das Team des Architekturreferates hat von der Themenfindung bis zur Vorlage der Publikation in allen Phasen, inklusive der Betreuung sowohl der Kolloquiumsteilnehmer als auch der Autoren des Bandes, wieder hervorragende Arbeit geleistet. Hierfür gebührt Claas von Barga, Jörg Denking, Birte Geißler, Duygu Göçmen, Juliane Goischke, Claudia Mächler, Armin Müller, Jens Pflug und Ina Seiler unser Dank.

Dominique Krüger hat die Redaktion der Beiträge dieses Kolloquiumbandes übernommen und sehr professionell durchgeführt. Für die kritische Durchsicht des Umbruches danken wir Katja Piesker. Die Übersetzung der Einleitung sowie einiger Abstracts und die sprachliche Kontrolle der englischen Beiträge erfolgten durch Ute Striker. Von Peter Baumeister aus der Redaktion der Zentrale des DAI wurden wir sachkundig beraten und er stand uns stets hilfreich zur Seite. Die Gestaltung und der Satz des vorliegenden Buches lagen in den bewährten Händen von Jörg Denking, der von Ina Seiler mit großem Engagement unterstützt wurde. Catrin Gerlach hat die Bildbearbeitung übernommen. Ihnen und den Mitarbeitern des Verlags Schnell & Steiner danken wir für die zügige Publikation der Beiträge.

Für Dietmar Kurapkat bedeutete das 12. Kolloquium zur Archäologischen Bauforschung seinen Abschied aus dem Architekturreferat. Er hat im September 2015 die Professur für Denkmalpflege und Bauforschung an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg angetreten.

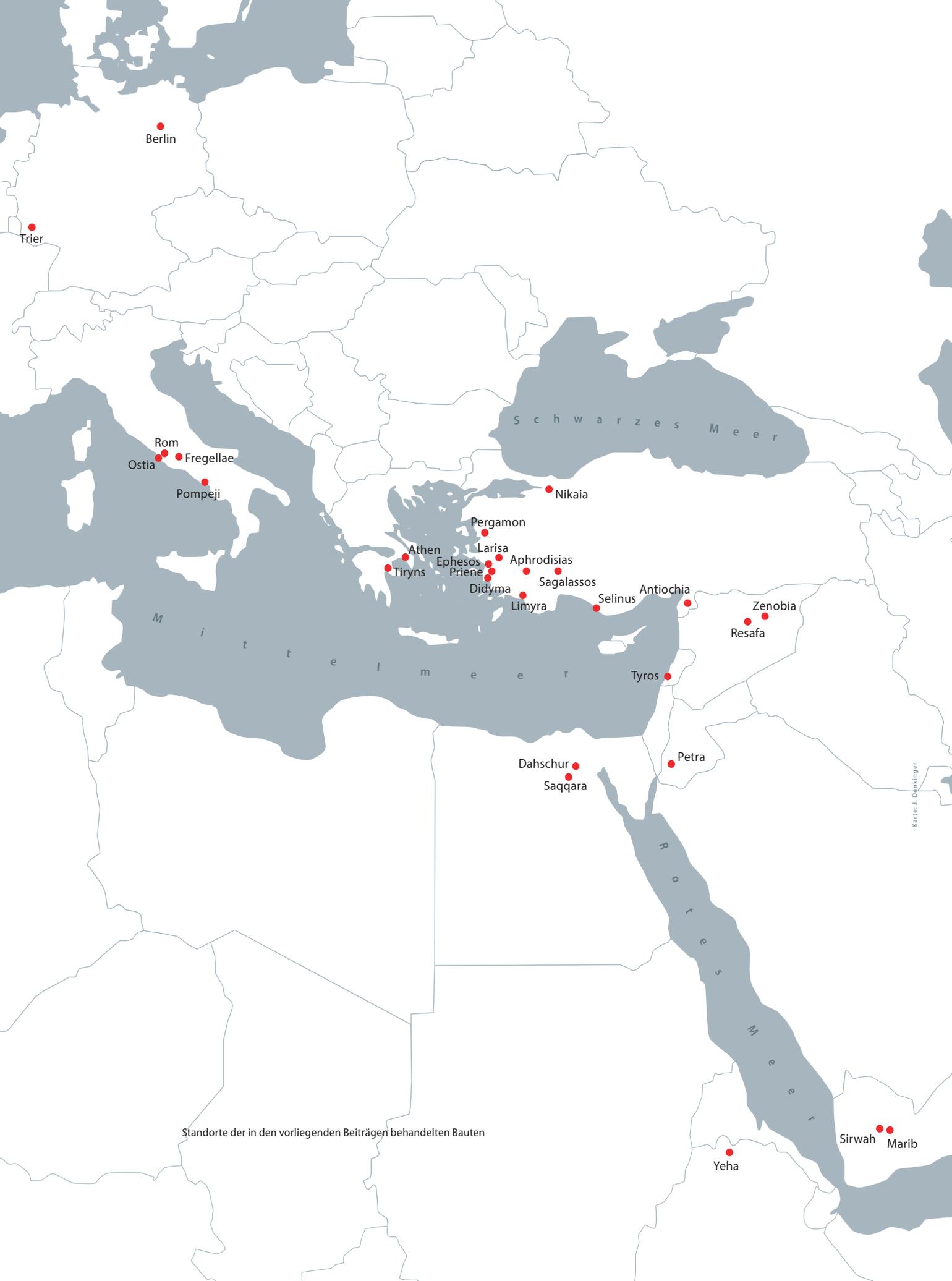
Wir wünschen allen Autoren viel Freude mit dem Band, uns allen viele Leser und dass der Band zu einer kritischen und weiterführenden Diskussion dieses so spannenden Themas beisteuern kann.

Während der Drucklegung hat uns die traurige Nachricht vom viel zu frühen Tod von Martin Bachmann, einem der Mitautoren dieses Bandes, ereilt. Martin war für uns Herausgeber – wie für viele weitere Kolloquiumsteilnehmer – mehr als ein langjähriger hoch geschätzter Kollege. Er war über Jahrzehnte hinweg ein sehr guter, zuverlässiger Freund, den wir schmerzlich vermissen. Sein großes Engagement für die Bauforschung und speziell für das Thema dieses Bandes, sein Kenntnisreichtum, seine Fähigkeit andere für historische Architektur zu begeistern, sein Gespür für einen sensiblen denkmalpflegerischen Umgang mit historischen Kulturgütern sowie seinen kollegialen, hilfsbereiten und stets fröhlichen Charakter werden wir alle vermissen. Seinem Andenken sei daher dieser Band gewidmet.

Berlin und Regensburg im Juli 2016

Ulrike Wulf-Rheidt Dietmar Kurapkat





Standorte der in den vorliegenden Beiträgen behandelten Bauten

Karte: J. Denkinger

Programm

Mittwoch 13. Mai 2015

Grußwort

Philipp von Rummel

Generalsekretär des Deutschen Archäologischen Instituts

Festvortrag

Manolis Korres – Aenne Ohnesorg (Athen – München)

Antike Werkspuren – Technik und Terminologie, mit einem Annex zu speziellen Werkspuren am Parthenon

Donnerstag, 14. Mai 2015

Begrüßung und Einführung

Ulrike Wulf-Rheidt (Berlin)

Leiterin des Architektureferats des Deutschen Archäologischen Instituts

Block 1: Von der Bearbeitung der Werkstücke

Turgut Saner – Gizem Mater (Istanbul)

Quarrying and Carving Traces Observed on the Stones of Larisa (Buruncuk)

Elisavet P. Sioumpara (Athen)

Zahneisen – Werkspuren und ihre Bedeutung für die Topographie der archaischen Akropolis von Athen

Uta Dirschedl (Berlin)

Vom Beil zum Zahneisen. Werkspuren an Kalkstein-, Mergel- und Marmorwerkstücken des archaischen Didymaion

Gesprächsleitung: Ulrike Wulf-Rheidt

Birte Geißler (Berlin)

Spuren am Stein. Eine Nahansicht der Porta Nigra

Matthias Grawehr (Basel)

Baumaterial und Bossenstil. Zur Abhängigkeit der Bauornamentik vom lokalen Baustein in hellenistischer und römischer Zeit

Marco Dehner (Berlin)

Kapitelle in Petra. Werkspuren und Konstruktionslinien

Gesprächsleitung: Corinna Rohn

Jürgen Giese (Bamberg)

›Kerbendekor‹ und ›Gesäumte Spitzung‹. Zur Entwicklung und Bedeutung griechischer Werksteinoberflächen im 4. Jh. v. Chr.

Hilke Thür (Wien)

Werkspuren am hellenistischen Heroon in Ephesos

Axel Gering (Berlin)

›Übungsstücke und Umarbeitungen‹. Zu den Spuren von Werkprozessen einer neu ergrabenen Steinmetzwerkstatt des 5.–6. Jh. n. Chr. am Forum von Ostia

Gesprächsleitung: Peter I. Schneider

Rudolf Känel (Augst/Basel)

Verborgene Werkspuren. Beobachtungen zu präventiven Haft- und Stützevorkehrungen bei etruskisch-italischen Architekturterrakotten

Peter Marzloff (Heidelberg)

Beobachtungen am ältesten keramischen Dachdecksystem

Luise Albrecht (Potsdam)

Werkspuren an Ziegeln im *opus testaceum*. Zur Frage der Ziegelteilung.

Gesprächsleitung: Klaus Rheidt

Freitag, 15. Mai 2015

Block 2: ... über das baukonstruktive Zusammenfügen

Günther Stanzl (Mainz)

Werkspuren und Bautechnik am Ptolemaion von Limyra. Eine ostlykische Bauhütte im Dienste der Ptolemäer

Christiane Brasse (Tübingen)

›Verzahnt‹ und ›verbunden‹. Baukonstruktive Besonderheiten spätantiker Architektur im östlichen Mittelmeerraum

Ursula Quatember – Gerhard Paul (Wien)

Zur Verdübelung antiker Werksteinbauten. Theorie und Praxis

Gesprächsleitung: Nils Hellner

Mike Schnelle (Berlin)

blq (Kalkstein) – ein ›heiliger‹ Werkstoff und seine Verarbeitung – Untersuchungen an südarabischen Kalksteinkonstruktionen im 1. Jt. v. Chr.

Claudia Winterstein (Berlin)

Bauen mit Beachrock. Zum innovativen Umgang mit einem lokalen Baumaterial im kilikischen Selinus der Kaiserzeit

Manfred Klinkott (Karlsruhe)

Die Bauteile des Pergamonaltars. Material und Verarbeitung der noch auffindbaren Fragmente

Gesprächsleitung: Adolf Hoffmann

Jens Pflug (Berlin)

Der Baustellen-Workflow im Ziegelbau. Spuren der Planungs- und Bauprozesse im ›Versenkten Peristyl‹ der ›Domus Augustana‹

Clemens Voigts (München)

High Tech für den römischen Kaiserpalast. Hohlbohrer und Gewölbeanker

Catharine Hof (Berlin)

Spurenverfolgung zu den Wölbformen und Gerüsttechniken an den Stadtmauern von Resafa und Zenobia (Syrien)

Gesprächsleitung: Dorothee Sack

Wilhelm Osthues (Berlin)

Entlastungstechniken in der griechischen Architektur – technische Optimierungen von Stütze und Gebälk

Thekla Schulz-Brize (Regensburg)

Eine antike Großbaustelle – Ausführung und Bauablauf des Serapis-Tempels in Ephesos

Reinhard Heinz (Wien)

Trial and Innovation – Bautechnische Sonderlösungen am Mausoleum von Belevi

Gesprächsleitung: Hans-Georg Bankel

Samstag, 16. Mai 2015

Block 3: ... zur Organisation des Bauablaufs

Felix Arnold (Kairo)

Logistik einer Pyramidenbaustelle

Claudia Lacher-Raschdorff (Berlin)

Werkspuren. Schlüssel zum Bau eines frühdynastischen Felsgrabes in Ägypten

Ayşe Dalyancı-Berns (Bochum)

Die Stadtbefestigung von Nicaea (Iznik). Bautechnische Beobachtungen zur Rekonstruktion des Bauablaufs

Gesprächsleitung: Dorothea Roos

Alexander von Kienlin (Braunschweig)

Zur Interpretation antiker Versatzmarken

Martin Bachmann (†) – Janet Lorentzen (Istanbul – Berlin)

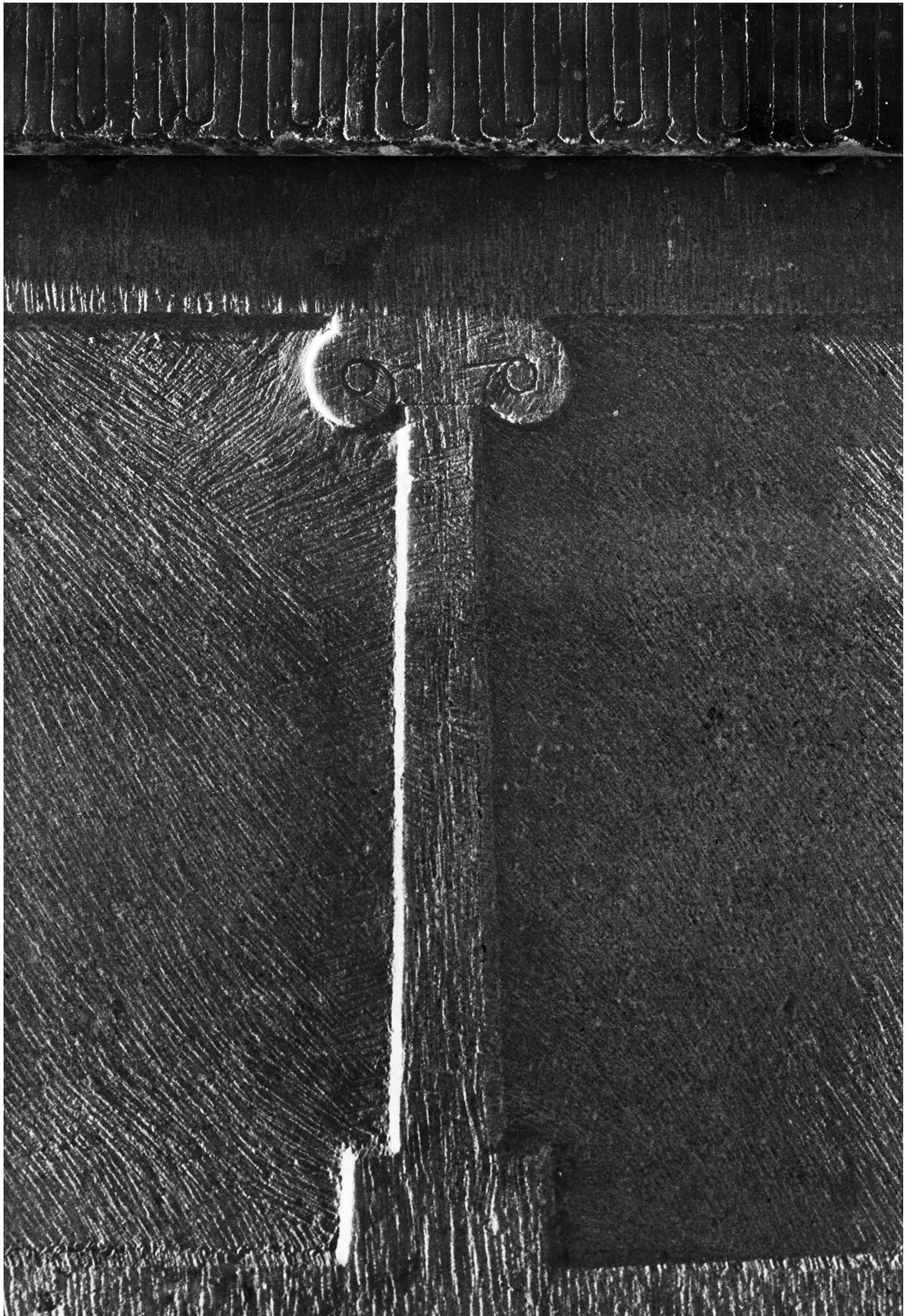
Steinmetzmarken als Quellen zum Baugeschehen in Pergamon

Marc Waelkens (Leuven)

The Final Touch. The Organization, Division of Labour Force and Successive Stages of Craftsmanship in a Late Hadrianic ›Bauhütte‹ at Sagalassos (Turkey)

Gesprächsleitung: Dietmar Kurapkat

Abschlussdiskussion



Werkspuren. Materialverarbeitung und handwerkliches Wissen im antiken Bauwesen

Traces of Workmanship. Use of Materials and Knowledge of Workmanship in Antique Architecture

Dietmar Kurapkat – Ulrike Wulf-Rheidt

»Die wenigen Handbücher zur Bautechnik, die nach den großen und vielfach gültigen Leistungen des vergangenen Jahrhunderts [gemeint ist das 19. Jahrhundert] in den letzten Jahrzehnten erschienen sind, haben das Thema immer nur ausschnittsweise behandeln können. Die rasch zunehmende Zahl neuer Befunde lässt manches veraltet erscheinen oder führt zu ganz neuen Erkenntnissen. Es muss daher ein Anliegen sein, neue Fakten zusammenzutragen sowie Schwerpunkte und Schwierigkeiten der aktuellen Forschung aufzuzeigen«¹. So beschreiben Adolf Hoffmann, Ernst-Ludwig Schwandner, Wolfram Hoepfner und Gunnar Brands im 1991 erschienenen Tagungsband im Vorwort ihren Versuch, »Bauvorgänge sowie den Wandel des Technikverständnisses in der Antike« im Rahmen der 5. Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung mit dem Titel »Bautechnik der Antike« zu beleuchten. Der aus dem vom Architekturreferat des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI) in Zusammenarbeit mit dem Seminar für Klassische Archäologie der Freien Universität Berlin vom 15.–17. Februar 1990 durchgeführten Kolloquium hervorgegangene Tagungsband gehört sicherlich zu den erfolgreichsten aus der Reihe der Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung. In seiner Rezension hat John Griffiths Pedley 1993 im *American Journal of Archaeology* dem Tagungsband Handbuchcharakter zugesprochen, indem er abschließend bemerkt, dass »all students engaged in the more technical aspects of architecture in Classical antiquity will wish to consult it«². Warum beschäftigte sich das Architekturreferat des DAI ein Vierteljahrhundert nach diesem so erfolgreichen Kolloquium wieder mit der Frage der handwerklichen Prozesse, der Gewinnung, der Aufbereitung und Verarbeitung von Baumaterialien in der Antike und gibt es hierzu wirklich Neues zu sagen?

*»The few handbooks for building techniques which were published following the great and often valid achievements of the past century [speaking of the 19th century] in the last decades, have been able to treat the subject only partially. The fast increasing number of new findings makes some look outmoded or lead to completely new insights. It must thus be of great interest to gather new facts as well as to gather focal points and difficulties in present research«¹. In the foreword to the volume of the meeting published in 1991 Adolf Hoffmann, Ernst-Ludwig Schwandner, Wolfram Hoepfner and Gunnar Brands formulate their effort to illuminate »building processes and the transformation of understanding techniques in Antiquity« at the occasion of the 5th Discussions in Archaeological Buildings' Research entitled »Building Technique in Antiquity«. The volume resulting from the meeting of the Department of Architecture of the German Archaeological Institute (DAI) in collaboration with the Seminar for Classical Archaeology of the Free University of Berlin on Feb. 15th to 17th 1990 certainly belongs to the most successful in the series of Discussions in Archaeological Buildings' Research. In his review of 1993 in the *American Journal of Archaeology* John Griffiths Pedley attributed handbook character to the volume in concluding that »all students engaged in the more technical aspects of architecture in Classical antiquity will wish to consult it«². Why did the Department of Architecture of the DAI a quarter of a century after this successful colloquium take up the question again about processes of craftsmanship, the production, processing and working of building materials in Antiquity and is there really something new to say?*

1 Hoffmann u. a. 1991, Vorwort.

2 Pedley 1993, 577.

Der Frage nach Bauprozessen und der Baulogistik und dem dahinter stehenden Wissen im Bauwesen wird in den letzten Jahren wieder größere Bedeutung zugemessen und dies nicht nur in der Bauforschung. Längst ist zudem das formalisierte Ingenieurwissen, das historischen Bauwerken innewohnt, als spannende und wichtige Forschungsfrage erkannt worden und hat zur Gründung diverser Construction History Societies sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene geführt³. Und selbst in der Sozial- und Wissensgeschichte ist erkannt worden, dass die Entschlüsselung von Bauweisen und Bauabläufen als Spiegel des jeweiligen Standes des Bauwesens sowie die Rekonstruktion von Arbeitsprozessen und die Organisation von Arbeit dazu beitragen kann, soziale Veränderungsprozesse besser zu verstehen. Denn ein reibungsloser Bauablauf, eine funktionierende Baustelle, hing auch in der Antike in hohem Maße von der sozialen Organisation des Bauwesens ab. Die Auseinandersetzung mit Bautechnik umfasst also vielmehr als die Frage nach dem engen technischen ›wie wurde gebaut?‹. Bauwesen und gleichsam das antike Bauwesen sollte vielmehr als ein hochgradig komplexer und vernetzter Prozess verstanden werden. Es muss also ebenfalls gefragt werden, wie Arbeit und Kompetenz verteilt waren. Wie hierarchisch oder flexibel war die soziale Organisation einer Baustelle? Welche Wirkung hatte die Mobilität der Bauleute auf die Verbreitung und Transformation von Bauwissen? Welche Rolle spielte die Materialökonomie, welches Natur- und Raumverständnis verbirgt sich hinter diesem Wissen?

So wird in der Forschergruppe »XXL – Monumentalized Knowledge. Extra-Large Projects in Ancient Civilizations« des Berliner Exzellenzclusters »Topoi. The Formation and Transformation of Space and Knowledge in Ancient Civilizations« zum Beispiel nicht nur gefragt, wie Großbaustellen organisiert waren und inwieweit sie von der Bereitstellung bzw. Entwicklung von technischem und systematischem Wissen beeinflusst wurden, sondern auch was eine Gesellschaft überhaupt dazu bringt, gewaltige Kräfte und Ressourcen für ein Mega-Projekt freizustellen und wie solche Bauleistungen die Wahrnehmung von Raum, Ethnien und sozialen Gruppen verändern konnten⁴. Im DFG-Graduiertenkolleg »Kulturelle und technische Werte historischer Bauten« der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg werden historische Bauten als Bestandteile kultureller Wertesysteme untersucht. Die Errichtung und Nutzung von Bauwer-

In recent years more importance, not only in buildings' research, is again given to building processes and building logistics. We have long since recognized that formalized engineering which inhabits historical buildings, is an exciting and important research question and has led to the foundations of several Construction History Societies, both nationally and internationally³. In social history and the history of knowledge it has been recognized that the decoding of building processes can mirror the respective situation of architecture, the reconstruction of working processes and the organization of work of a given time can contribute to better understand social changes, because also in Antiquity a smoothly running construction, a well functioning building site depended greatly on social organization. Thus the discussion of building techniques embraces much more than the mere, narrow technical question ›how did one build?‹ Architecture and antique architecture at the same time has to be understood as a highly complex and networking process. At the same time we have to ask how work and competence were distributed? How hierarchical or flexible was the social organization of a building site? What effect had the mobility of the workers on the spreading and transformation of the knowledge of architecture? What was the role of the economy of materials, what understanding of nature and space lies in this knowledge?

Not only for instance does the question arise in the research group »XXL – Monumentalized Knowledge. Extra-Large Projects in Ancient Civilizations« of the Berlin Cluster of Excellence »Topoi. The Formation and Transformation of Space and Knowledge in Ancient Civilizations« how mega building sites were organized and in how far they were influenced not only by the provision or development of technical and systematic knowledge, but also what drives a society to freeing mighty forces and resources for a mega project and how such building achievements could change the perception of space, of ethnic and social groups⁴. In the DFG Graduate Group »Cultural and Technical Values of Historic Buildings« of the Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg historical buildings are examined as part of cultural

3 National: <<http://gesellschaft.bautechnikgeschichte.org>> (14.1.2016); international: <<http://www.constructionhistory.co.uk>> (14.1.2016).

4 <<https://www.topoi.org/group/b-2>> (14.1.2016).

ken, Siedlungen und Städten wird dabei, über die Einzelleistung innerhalb einer bestimmten Epoche hinausgehend, als Prozess gesehen, in dem sich gesellschaftliche, wirtschaftliche und politische Veränderungen ebenso wie der Wandel von Leitbildern widerspiegeln⁵. Das Kolleg befasst sich u. a. mit der Genealogie unterschiedlicher Konstruktionskulturen, mit Instrumentarien des Bauwesens, dem Spannungsfeld Technik versus Ästhetik sowie mit dem Bauwerk als Produkt komplexer Netzwerke.

Wird das Wissen der Handwerker, Baumeister und Architekten, das für die Realisierung von Bauwerken notwendig war, als ein ausdifferenziertes ›handlungsimplizites Wissenssystem‹ verstanden, dann kann die Aufschlüsselung der Entstehungsgeschichte einzelner Bauwerke und der intellektuellen Ressourcen, die die Realisierung von Bauprojekten – seien es Tempel, Stadtmauern, Infrastrukturanlagen oder auch Wohnbauten – erst ermöglichten, gleichfalls genutzt werden, um komplexe Fragestellungen einer Wissensgeschichte der Architektur mit zu beantworten. Die Vielzahl und Vielfalt der Einflussgrößen, die das Bauwesen bestimmen, machen das Endprodukt, also das Bauwerk selbst, zu einem Brennglas, unter dem sich Technik, Wissenschaft, Kultur, Ökonomie, Tradition, Naturverständnis und politische sowie soziale Verhältnisse verdichten. Dies macht das dreibändige Werk »Wissensgeschichte der Architektur«, das auf den interdisziplinären Forschungsergebnissen des Max-Planck-Instituts für Kunstgeschichte in Rom und des Max-Planck-Instituts für Wissensgeschichte in Berlin basiert, deutlich⁶.

Vor diesem Hintergrund schien es sehr lohnenswert auf einer in den letzten 25 Jahren erheblich erweiterten Materialbasis diesen Fragen nochmals nachzugehen. Ziel der 12. Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung war es daher, neben den rein technischen Aspekten des Wissens um Materialeigenschaften und den Fragen nach der Logistik, auch die Tradierungsprozesse von konstruktiv-operativem Wissen zu diskutieren. Es sollte ganz bewusst eine neue Standortbestimmung angestrebt werden, um überdies neue Forschungsperspektiven aufzeigen zu können.

Da in der Antike vielfach davon auszugehen ist, dass praktisches Wissen mündlich und handlungsimmanent durch Teilnahme am Arbeitsprozess vermittelt wurde⁷ und wir nur sehr wenige schriftliche oder bildliche Quellen besitzen,

value systems. The erection and use of buildings, settlements and cities is seen here, going beyond an individual performance within a certain period, as a process in which social, economical and political changes as well as changing models are reflected⁵. Among other things the group works on genealogy of different building cultures, on instruments in architecture, on the tension between technique and aesthetics as well as with architecture as a result of complex networks.

If we understand the knowledge of the workers, craftsmen, and architects necessary for the realization of buildings as a differentiated, ›action implicit knowledge system‹, then the breakdown of the creation of individual buildings and the intellectual resources which made them possible, be it temples, city walls, infrastructure or domestic buildings, can also be used to answer complex questions of a history of knowledge of architecture. The quantity and diversity of influences, which define architecture, produce the end product, the building itself, as a lens under which technique, science, culture, economy, tradition and the understanding of nature as well as political and social circumstances thicken. This is made clear by the three-volume publication »Epistemic History of Architecture«, based on interdisciplinary research of the Max-Planck-Institute for Art History in Rome and the Max-Planck-Institute for the History of Knowledge in Berlin⁶.

Thus it seemed very worthwhile to raise these questions again because of a much broader basis of available material of the past 25 years. Besides the pure technical aspects of knowledge of qualities of materials and questions of logistics, the goal of the 12th Discussions in Archaeological Buildings' Research was to discuss the traditional processes of constructive, operational knowledge. We very deliberately looked for a new point of departure, also to introduce new perspectives of research.

Since we can presume that in Antiquity practical knowledge came orally and through the participation in the work process⁷ and since we have very few written or illustrated sources, the search for evidence of work also includes questions of method. For the better understanding of the fashioning of materials and craftsmanship knowledge in antique

5 <<https://www.b-tu.de/forschung/graduieretenkolleg/forschung/forschungsprofil>> (12.1.2016).

6 Renn u. a. 2014.

7 Dies gilt bis in die Neuzeit, siehe z. B. Renn – Valleriani 2014, 8 f. 12.

umfasst die Suche nach Werkspuren auch methodische Fragestellungen. Für ein besseres Verständnis der Materialverarbeitung und des handwerklichen Wissens im antiken Bauwesen sind die auf uns gekommenen Bauwerke Untersuchungsgegenstand und Quelle zugleich. In ihren Bauteilen mit allen daran hinterlassenen Bearbeitungsspuren, in den ablesbaren und rekonstruierbaren Bau- sowie Handlungsabläufen zur Materialgewinnung und in den gefundenen Sonderlösungen hat sich das praktische Wissen der jeweiligen Epochen und Kulturkreise manifestiert, das ansonsten – da nicht schriftlich überliefert – verloren gegangen ist. Sie sind oftmals die einzige Quelle und somit von großem historischem Zeugniswert. Spurensuche heißt daher auch, sich neue Quellen zu erschließen oder vermeintlich Bekanntes, Verstandenes nochmals nach seinem Erkenntnispotential hinsichtlich neuer Fragestellungen kritisch zu hinterfragen. Aus welchen Spuren am Werk – sei es eines einzelnen Steines, eines Ziegels oder anderer Bauteile bis hin zu komplexen Konstruktionen – lassen sich dahinter verborgene handwerkliche Prozesse sowie Hinweise auf Material-, Transport- und Bearbeitungswege rekonstruieren? Wie lassen sich Innovationen ausmachen und wie lassen sie sich erklären? Waren sie eine Reaktion auf neuartige Bauaufgaben oder die Notwendigkeit unerwartete Probleme zu bewältigen? Lassen sie auf Veränderungen im Bereich des Materialwissens und der Logistik sowie der Bauverwaltung schließen? Inwieweit sind sie ein Hinweis auf einen Wissenstransfer und wie lässt sich dieser fassen?

Die facettenreichen Beiträge haben überdeutlich gezeigt, dass das genaue Hinsehen, das Dokumentieren jedes auf den ersten Blick noch so unwichtigen Details, das zunächst wertfreie Beobachten und dann kritische Hinterfragen jeder noch so kleinen Spur nach wie vor die unverzichtbare und zeitlose Basis jedes bauforscherischen Erkenntnisgewinns bleibt. Andererseits verdeutlichten die Beiträge auch, welches Potential die Verknüpfung dieser Arbeitsweise mit neuen Forschungsansätzen anderer Disziplinen hinsichtlich der Erforschung antiker Kulturen und Lebenswelten birgt.

architecture, the buildings left to us are objects of research as well as source material. The practical knowledge of the specific periods and cultural areas is manifested in their building parts with all left traces of workmanship, in the building processes as well as enterprises for harvesting materials and in the special solutions which would have been lost, for lack of a written tradition. They often are the sole source and of great historic value. Searching for evidence also means to open new sources or to critically question again allegedly known and understood objects for potential knowledge regarding new means of questioning. What traces at a building, be it a single stone, a tile or other building parts all the way to complex constructions help us to reconstruct hidden workmen's processes as well as provide information about material, transport and manners of working? How can we distinguish innovations and explain them? Were they a reaction to new building challenges or the necessity to master unexpected problems? Do they lead to conclusions of changes in material knowledge and logistics as well as the building administration? Can they be evidence for knowledge of transfer and how can this be understood?

The richly faceted contributions have clearly shown that a close view, documentation of each of the details, seeming initially unimportant, the initial unbiased look, followed by the critical questioning of even the smallest evidence remains the undeniable and timeless base of knowledge acquisition gains in all architectural research. The contributions also clarify what potential the combination of this working method with new research in other disciplines has regarding the investigation of antique cultures and living environments.

VON DER BEARBEITUNG DER WERKSTÜCKE BIS ZUR ORGANISATION DES BAUABLAUFS – ANNÄHERUNG IN DREI ZOOMSCHRITTEN

Der vielfältige und vielschichtige Fragenkomplex wird in drei ›Zoomschritten‹ aus drei unterschiedlichen Blickwinkeln, ausgehend von der Bearbeitung des Werkstücks, über das baukonstruktive Zusammenfügen bis zur Organisation des Bauablaufs beleuchtet. Jeder dieser drei Themenblöcke widmet sich zunächst einem in sich jeweils abgeschlossenen Bündel von Fragestellungen, liefert darüber hinaus aber auch Indizien für weiterführende Erkenntnisse in den anderen beiden Bereichen. Ein interdisziplinärer Zugriff soll es ermöglichen festzustellen, wie sich aus ganz unterschiedlichen Spuren an antiken Gebäuden und Bauteilen Hinweise auf Bauhütten und Bautraditionen, deren Organisation sowie die Überlieferung von Wissen im antiken Bauwesen gewinnen lassen.

Im Zoomschritt 1 ›Von der Bearbeitung der Werkstücke‹, sozusagen der ›Mikroebene‹, stehen zunächst Fragen der Steinbearbeitung und der Entwicklung von Steinbearbeitungsgeräten im Fokus. Es zeigt sich, dass, obwohl es schon eine unüberschaubare Menge von Literatur zur Steinbearbeitung – vor allem Marmor – und zur Steinbruchtätigkeit gibt, die Spurensuche noch immer dazu beitragen kann, Werkprozesse besser zu verstehen und den innovativen Einsatz von neuen Werkzeugen, manchmal sogar innerhalb eines Bauwerkes, rekonstruieren zu können. Dies gelingt vor allem an unfertigen Bauteilen, an denen sich Spuren verschiedener Werkstadien fassen lassen, die oftmals den Schlüssel für ein besseres Verständnis des Werkvorganges und der verwendeten Werkzeuge darstellen. In mehreren Beiträgen wird ebenfalls deutlich, wie wichtig eine Betrachtung zeitgleicher Phänomene an der Bearbeitung von Skulpturen für eine schlüssige Interpretation der Entwicklung von (Marmor-)Steinwerkzeugen ist. Oftmals scheinen Innovationen

FROM THE WORKING OF PIECES TO THE ORGANIZATION OF THE CONSTRUCTION PROCESS – APPROACH IN THREE ZOOM STEPS

The diverse and many-layered complex of questions will be illustrated in three ›zoom steps‹ from three different angles, beginning with the working of an architectural piece, continuing with the building construction to the organization of the construction process. Each of these three thematic blocks deals primary with a self-contained bunch of research questions, but provides further evidence for questions in both other areas. An interdisciplinary approach shall make it possible to gain insight, by means of very different evidence, on antique buildings and building parts, of evidence of so called Bauhütten and building traditions, their organization as well as the tradition of knowledge of antique architecture.

In zoom step 1 ›From the Working of Architectural Pieces‹, let's say the ›micro level‹, focus is firstly on questions of stone fashioning and the development of suitable equipment. Although there is already an unfathomable amount of literature about stone fashioning, especially marble, and quarry activity, searching for traces can still contribute to the better understanding of work processes and the innovative use of new tools, sometimes within the same building. This is especially true for unfinished building elements, showing traces of different working stages. They are often the key for a better understanding of work process and tools. Several contributions also clarify how important a consideration of

hier entwickelt und dann zunächst auf die Bauskulptur und alsdann auf die Steinbearbeitung allgemein übertragen worden zu sein.

Dass die akribische Untersuchung von Zahneisenspuren nicht nur zum Verständnis der Denkmaltopographie auf der Akropolis von Athen beiträgt, sondern auch zu ganz grundsätzlichen Fragen nach der Entstehung und Tradierung von handlungsbezogenem Handwerkerwissen herangezogen werden kann, zeigte beispielsweise der Beitrag von Elisavet P. Sioumpara. Dabei wurden nicht nur Hinweise für einen Technologieimport aus Ägypten, sondern auch die Möglichkeit akzidenteller Entwicklungsfaktoren wie die sich als vorteilhaft herausstellende Verwendung eigentlich beschädigter Werkzeuge diskutiert. Jürgen Giese konnte anhand der Wechselwirkungen zwischen einem solchem empirischen Handwerkerwissen und der Herausbildung architektonischen Gestaltungswillens den Übergang von handwerklicher Selbstverständlichkeit hin zur bewussten Dekorform aufzeigen. Da solche Dekorformen nur dann ihre Wirkung entfalten und ihre Botschaften ›dechiffriert‹ werden können, wenn sie über den ästhetischen Wert hinaus beim Betrachter ebenso mit speziellen Werten, wie Standhaftigkeit, verbunden wurden, geben sie Einblick in ein vergesellschaftetes Wissen von Bearbeitungstechniken.

Neben der Entwicklung von Werkzeugen zur Bearbeitung der unterschiedlichen Steinmaterialien sowie der Fähigkeit, Werkzeuge materialgerecht einzusetzen, ist für das Bauwesen stets auch das Gespür für Materialqualitäten ausschlaggebend. Dies gilt für die Herstellung von elaborierten Architekturterrakotten, die aufgrund der Materialeigenschaften des Werkstoffs Ton präventiver Haft- und Stützvorkehrungen bedurften, damit sie ihre Gestalt während der mehrwöchigen Trocknungsphase beibehielten, ebenso wie für das problematische Ausarbeiten feingliedriger Ornamente aus Sandsteinen, die hierfür materialtechnisch wenig geeignet sind. Matthias Grawehr kann an hellenistischen und römischen Bauteilen im östlichen Mittelmeerraum aufzeigen, dass dies sogar zu einem neuen Dekorationsstil, wie dem sog. Bossenstil, führt.

Der Beitrag von Axel Gering geht noch einen Schritt weiter, indem er die Wertschätzung von Baumaterialien aufdeckt, die sich aus der Wiederverwertung von Bauteilen und Baustoffen aus bereits zerstörten Bauten in einem spätan-

phenomena of the same period in the fashioning of sculpture is for a sure interpretation of the development of (marble) stone working tools. It seems that often innovations were developed here and then first put to use for architectural sculpture and then for stone fashioning in general.

The contribution of Elisavet P. Sioumpara shows for instance, that the exact examination of traces of a claw chisel does not only contribute to the understanding of the topography of monuments on the Athenian Acropolis, but can also be used for basic questions about origin and tradition of related knowledge of workmen. Not only did we discuss indications for a technology import from Egypt, but also the possibility of accidental developmental factors, like the advantageous use of damaged tools. Jürgen Giese, through exchange of such practical knowledge and the formation of a desire for architectural creations, was able to prove the transition from obvious craftsmanship to a conscious form of decoration. As such forms of decoration only unfold their effect, and their message can be ›deciphered‹, when they transcend aesthetic value for the examiner, for instance steadfastness, they allow insight into the collectivization of knowledge of working techniques.

Besides the development of tools for the fashioning of various stone materials as well as the proper use of these tools, the feel for the quality of materials is decisive in architecture. This is true for the manufacture of elaborate architectural terracotta which, due to the quality of the material, needed preventive holding and support measures to retain their shape during the drying period of several weeks. It also holds true for the problematic fashioning of delicate ornaments made of sand stone, a material little fit for this. That this can even lead to a new style of decoration, the so-called Bossen style, Matthias Grawehr can show in Hellenistic and Roman pieces of architecture in the eastern Mediterranean.

tiken ›Recyclingbetrieb‹ in Ostia ablesen lässt. Dies gewährt nicht nur Einblicke in sozioökonomische Zusammenhänge, sondern schlägt sogar die Brücke von der antiken Ökonomie zu aktuellen Fragen der Ressourcenschonung und des nachhaltigen Umgangs mit Rohstoffen. Die Wahl des Baumaterials Schiefer für die Schindeldachdeckung an frühhellenadischen Großbauten in Griechenland scheint desgleichen mit einem flexiblen Einsatz der Ressourcen zu begründen sein, wie dies Peter Marzloff darlegen kann.

Auf der Zoomstufe 2, dem baukonstruktiven Zusammenfügen, sozusagen der ›Makroebene‹, wurde in mehreren Beiträgen ebenfalls die Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Baumaterialien und innovativen Bauweisen nachgewiesen. So beleuchtet Claudia Winterstein, wie das sehr spezielle und bislang von der Forschung kaum beachtete Baumaterial ›Beachrock‹ zu innovativen konstruktiven Lösungen motiviert hat, während andererseits Mike Schnelle verdeutlicht, wie im alt-südarabischen Kulturkreis stattdessen aufwändige Materialtransporte über zum Teil mehr als 80 km in Kauf genommen wurden, um nicht auf den aus Sicht der damaligen Baumeister ›perfekten Baustoff‹ verzichten zu müssen. Beide Beispiele spiegeln ein weitreichendes Verständnis der jeweiligen Materialeigenschaften wider. Wiederum ganz andere technische, logistische und qualifikationsbezogene Herausforderungen sind mit der Einführung von opus caementicium in römischer Zeit verbunden.

Besonders im Bereich des baukonstruktiven Zusammenfügens zeigt das genaue Beobachten von Werkspuren, welches statisch-konstruktive Wissen jeweils vorhanden gewesen sein muss. Dies gilt einerseits für technische Lösungen zur Kombination von Bauelementen, die eigentlich statisch nicht sinnvoll zu verbinden sind, wie dies Clemens Voigts für die opus caementicium-Gewölbe über Peristylungängen in den Kaiserpalästen in Rom aufzeigen kann, die mit metallenen Elementen verankert werden mussten. Sonderlösungen, mit denen auf die Gefahren in Erdbebengebieten reagiert wurde, stellen auch die besondere Ausbildung von Fenster- und Türöffnung mit ›verzahnten‹ Steinblöcken sowie horizontalen Großquaderlagen in spätantiken Bauten im östlichen Mittelmeerraum dar. Wie experimentierfreudig auf bautechnische und statische Herausforderungen während des Bauablaufs bereits in der Spätklassik reagiert wurde, lässt sich gut an den bautechnischen und innovativen Sonderlösungen am Mausoleum von Belevi aufzeigen. Innovativ und

The contribution of Axel Gering went a step further. He discloses the valuation of building pieces and building materials learned from the late-antique ›recycling enterprise‹ of already destroyed buildings in Ostia. Not only does this allow insights into socio-economic contexts, but it also builds a bridge between the antique economy to current questions of resource preservation and the use of raw materials. The choice of slate for roof shingle use in early Helladic mega buildings in Greece seems to prove a flexible use of resources, as Peter Marzloff points out.

In zoom step 2, the constructive joining together, the ›macro level‹ so to speak, the interdependence of the available building materials and innovative building techniques was shown in several contributions. Claudia Winterstein illustrates how the very special material ›beach rock‹, hitherto rarely considered, motivated innovative constructive solutions. Mike Schnelle, on the other hand, explains how in old south Arabian culture rather expensive transports of materials were accepted, often over more than 80 km long distances, in order not to forego the ›perfect‹ material. Both examples reflect a far-reaching understanding of the quality of the material. Totally different technical, logistical and quality challenges come with the introduction of opus caementicium in Roman times.

Especially in the area of constructive joining, exact consideration of work traces shows what static-constructive knowledge must have existed. On the one hand this is true for technical solutions in the combination of building elements, which statically are really not suited for connections. Clemens Voigts illustrated this for the opus caementicium vaulting above the peristyles in the imperial palaces in Rome, which had to be anchored down with metal elements. Special solutions to react to the dangers of earthquakes are also the special formation of window and door openings with inter-locked stone ashlar as well as horizontal large ashlar courses in late-antique buildings in the eastern Mediter-

erfindungsreich waren die Bauleute auch beim Einsatz von nachträglich eingebrachten, extrem flachen Segmentbögen und deren konstruktiven Variationen in den Türmen der Stadtmauer von Resafa.

Im Zoomschritt 3, der Organisation des Bauablaufs, sozusagen der ›Metaebene‹, werden nicht nur wichtige Fragen der Vorfertigung von Bauteilen diskutiert, sondern vor allem auch die Kodierung von Bauteilen mittels verschiedenster Zeichensysteme und die daraus rekonstruierbaren organisatorischen Implikationen für die Baustellenzulieferung und den Ablauf auf der Baustelle thematisiert. Sie werfen zum Teil ein ganz neues Licht auf die Beurteilung des jeweiligen Planungswissens. Großbauten, wie die ägyptischen Pyramiden oder die Stadtbefestigung von Nicaea in der Türkei, konnten nur effizient durchgeführt werden, wenn die Baustellenlogistik reibungslos organisiert war, was auch einen größeren verwaltungstechnischen Aufwand bedeutete. Ohne eine vorangehende Einschätzung und Berechnung der benötigten Ressourcen, die eine übergeordnete Planung voraussetzt, ist die Realisierung solcher Großbaustellen undenkbar.

Wie die Unfertigkeit von Bauteilen, so stellen hier die ›Pannen‹, der ›Pfusch am Bau‹ eine wichtige Quelle für die Entschlüsselung von Bauabläufen und Baustellenorganisationen dar. Das Thema der Unfertigkeit, ebenso wie der fehlerhaften Ausführung als ›Glücksfall‹ für die Bauforschung zog sich daher wie ein roter Faden durch das Kolloquium. So erzählen nachweisbare fehlerhafte Vortriebe an dem Grab des Königs Ninetjer in Saqqara in Ägypten, wenn sie richtig entschlüsselt werden, viel über die Arbeitsrichtungen einzelner Bautrupps sowie über den zugrunde liegenden, wohl-durchdachten Bauplan. Dies gilt ebenso für kleine Abweichungen in der Ausführung von Grundrissdispositionen oder den Nischen im Kaiserpalast auf dem Palatin in Rom. Sie zeigen nicht nur, dass mehrere Bautrupps gleichzeitig an unterschiedlichen Raumeinheiten bauten, sondern dass diese offensichtlich auch Spielraum beim Interpretieren der Baupläne hatten. Aus solchen Fehlern lassen sich demnach Rückschlüsse auf die Planungstiefe, die zugrunde liegende Detailplanung, Entscheidungsprozesse und vorhandene oder fehlende Kontrollmechanismen auf der Baustelle ziehen. Während bei den Bauabläufen an den Kaiserpalästen in Rom offensichtlich viele Details erst auf der Baustelle festgelegt wurden, zeigt ein Kuriosum am Serapeion in Ephesos, die fehlerhafte Ausarbeitung des Abschlussprofils des Tympanons mit

anean. How technical and static challenges were happily experimented with already during the course of construction in late Classical times, can be well shown in the technical and innovative special solutions in the mausoleum of Belevi. The craftsmen were also innovative and clever in the insertion of later, extremely flat, vault segments and their typological and constructive variance in the towers of Resafa.

In zoom step 3, the organization of the building process, the ›meta level‹, so to speak, we discuss not only important questions of pre-fabrication of building elements, but above all the coding of architectural elements by means of marking systems and implications for reconstruction and organization, for supplying the construction site and the course of construction. In part this shines an entirely new light on judging various types of planning knowledge. Major constructions, like the pyramids in Egypt or the city fortifications in Nicaea, Turkey, could only have been carried out efficiently if the logistics of the building site were organized without friction, which also meant a bigger administrative expenditure. Without previous estimate and calculation of the necessary resources, which implies superior planning, the realization of such mega construction sites is unthinkable.

Like the unfinished building parts, here, too, ›accidents‹, ›sloppiness of work at the building‹, are an important source for the unlocking of building processes and organization of construction sites. The subject of being unfinished as well as a false process as a ›lucky incident‹ for archeological research went like a red line through the meeting. Proven, faulty propulsion at the tomb of King Ninetjer in the Egyptian Saqqara, when properly interpreted, tell much about working directions of individual construction teams and the well thought out basic plan. This is equally true for small deviations in the execution of ground plan dispositions or in the niches in the imperial palace on the Roman Palatine. Not only do they show, that several construction teams worked simultaneously in various rooms, but that they also had freedom in dealing with the interpretation of the building plan. Such mistakes allow conclusions about the depth of planning, the

einem falsch angeordneten Eierstab, dass die einzelnen Bauteile für den Tempel bereits in den Steinbrüchen der Insel Prokonnesos bis ins kleinste Detail ausgearbeitet wurden. Dies setzt voraus, dass es für die jeweiligen Bauteile einen sehr detaillierten Entwurf gegeben haben muss. Am Nymphäum in Sagalassos schließlich konnten Marc Waelkens, Göze Üner und Julian Richard nachweisen, dass, wahrscheinlich um einen raschen Baufortschritt zu gewährleisten, mehrere unterschiedliche Bauhütten gleichzeitig an einem Bauwerk arbeiteten und diese je nach Können und eigenem Stilempfinden die Bauornamentik unterschiedlich umgesetzt haben.

Die zu beobachtenden Unfertigkeiten, Planungs- und Ausführungsfehler sowie uneinheitlich ausgeführter Baudekor, wie dies auch am hellenistischen Heroon in Ephesos beobachtet werden konnte, lassen ihrerseits wieder Rückschlüsse auf die Akzeptanz nicht vollendeter oder unvollkommen realisierter Architektur in den jeweiligen Zeitepochen und Kulturen zu.

Über alle drei ›Zoomstufen‹ hinweg lässt sich zeigen, dass die antiken Baustellen Labore der experimentellen Wissensgenerierung und systematischen Wissensentwicklung darstellten. Gleichzeitig wird an ihnen der Wandel des Technikverständnisses in der Antike ablesbar. Viele, wenn nicht gar alle Phänomene, die auf der Mikroebene beobachtet werden können, wie z. B. bestimmte Steinbearbeitungsformen, lassen sich dabei nur unter der Hinzuziehung der Makro- oder gar Metaebene schlüssig interpretieren. So lässt sich z. B. das Zurückgehen der gesäumten Spitzung von Spiegelquadern, die nur aus der Nähe wahrnehmbar ist, zugunsten einer plakativen Steingestaltung mit den im Hellenismus eher auf Fernwirkung konzipierten Architekturensembles in Verbindung bringen. Das Teilen der römischen Ziegel auf der Baustelle ergibt nur einen Sinn, wenn die industrialisierte Herstellungsweise von genormten Ziegeln und der Brennvorgang mit in den Blick genommen werden. Markierungen, seien es Zeichen, Versatzmarken oder Steinmetzmarken dagegen lassen sich nur bei Betrachtung von komplexen Bauabläufen oder gar der gesamten Logistik eines Bauvorganges entschlüsseln. Auf allen drei Zoomstufen bzw. Ebenen erfordert es daher neben dem genauen Beobachten immer wieder aufs Neue innovative Fragestellungen, ebenso wie zum Teil experimentelle Forschungsme-

basic planning of details, processes of decision making and control mechanisms on the construction site. While during construction at the imperial palaces in Rome many details were decided only on the site, a curiosity at the Serapeion in Ephesus, namely the faulty working of the final profile of the tympanon with a mistaken order of an egg-and-dart, proves that individual architectural elements for the temple were already fashioned in every detail in the quarries of the island of Prokonnesos. This leads us to believe, that there existed very detailed designs for the individual building parts. Marc Waelkens, Göze Üner and Julian Richard proved that several Bauhütten worked simultaneously at the nymphaeum in Sagalassos, probably to guarantee fast progress. According to their various abilities and sense of style they worked differently on the building's ornamentation.

The various, obviously unfinished states, planning and execution faults as well as not homogeneously fashioned architectural decoration, as seen at the heroon in Ephesus, let us also contemplate the acceptance of unfinished and incomplete architecture in the various periods and cultures.

It can be documented through all three ›zoom steps‹ that antique building sites served as labs for generating experimental and developing systematic knowledge. At the same time they become the showcase for the understanding of techniques in Antiquity. Many phenomena, if not even all, observed on the micro level, as for example form of stone fashioning, can only be surely interpreted by consulting the macro and even the meta levels. Thus the diminution of lined tapering of mirror cuboids, only visible from close-by, in favor of bold stone fashioning can rather be connected to an architectural whole conceived in Hellenistic times rather for an effect from afar. The division of Roman tiles on the building site only makes sense, if we also consider the industrialized production of normed tiles and their firing process. Markings, be it stamps, assembly marks or brick stamps, can only be deciphered by considering complex building processes, even the entire logistics of such processes. In all three zoom steps or levels, besides exact observation, innovative inter-

thoden, wie das Nachstellen von Bauprozessen – sei es das Teilen von Ziegeln oder das Verdübeln antiker Werkstücke –, um das Bauwissen der Antike wiedergewinnen zu können.

Die aus logistischen Gründen vorgenommene Beschränkung auf die Antike soll dabei nicht heißen, dass die aufgeworfenen Fragestellungen nicht auch für andere Epochen spannend und lohnenswert wären. Gerade eine Betrachtung der Weiterentwicklung des Bauwesens mit seinen Kontinuitäten und Diskontinuitäten sowie Transformationsprozessen würde vielmehr sehr viele zusätzliche Aufschlüsse für ein besseres Verständnis der antiken Bautechnik erbringen. Wenn der vorliegende Kolloquiumsband nicht nur zu einer neuen Standortbestimmung im antiken Bauwesen, zum Ausloten neuer Forschungsfragen und zur vertiefenden Auseinandersetzung mit einigen der aufgeworfenen Fragen, sondern auch als Anstoß für eine Weiterverfolgung der Phänomene in den nachfolgenden Epochen beitragen kann, hat er sein Ziel erreicht.

rogation, as well as partly experimental research methods, like the readjustment of building processes, be it the division of tiles or the assemblage of antique architectural parts, are necessary to regain the building knowledge of Antiquity.

For logistic reasons we limited ourselves to Antiquity, but find the raised questions equally exciting and profitable for other periods. Especially a consideration of architecture with its continuities and discontinuities as well as its transformational processes would rather result in many insights for a better understanding of antique building techniques. If this volume can contribute not only to new points of departure in antique architecture, to the sounding of new questions of research, and to the deepening of a discussion of some of the raised questions for further investigation in the ensuing periods, then it would have achieved its goal.

*Prof. Dr.-Ing. Dietmar Kurapkat
OTH Regensburg, Fakultät Architektur
Professur für Denkmalpflege und Bauforschung
Prüfener Straße 58
D-93049 Regensburg
dietmar.kurapkat@oth-regensburg.de*

*Prof. Dr.-Ing. Ulrike Wulf-Rheidt
Deutsches Archäologisches Institut
Architekturreferat an der Zentrale
Podbielskiallee 69–71
D-14195 Berlin
ulrike.wulf-rheidt@dainst.de*

LITERATURVERZEICHNIS / BIBLIOGRAPHY

Hoffmann u. a. 1991

A. Hoffmann – E.-L. Schwandner – W. Hoepfner – G. Brands, Bautechnik der Antike. Internationales Kolloquium in Berlin vom 15.–17. Februar 1990, DiskAB 5 (Mainz 1991)

Pedley 1993

J. G. Pedley, Rez. zu A. Hoffmann – E.-L. Schwandner – W. Hoepfner – G. Brands, Bautechnik der Antike. Internationales Kolloquium in Berlin vom 15.–17. Februar 1990, DiskAB 5 (Mainz 1991), AJA 97, 1993, 576 f.

Renn u. a. 2014

J. Renn – W. Osthus – H. Schlimme (Hrsg.), Wissensgeschichte der Architektur (Berlin 2014), auch online erschienen: <<http://www.edition-open-access.de/studies/index.html>> (14.01.2016)

Renn – Valleriani 2014

J. Renn – M. Valleriani, Elemente einer Wissensgeschichte der Architektur, in: J. Renn – W. Osthus – H. Schlimme (Hrsg.), Wissensgeschichte der Architektur I (Berlin 2014) 7–53

Zur Verdübelung römischer Werksteinbauten Theorie und Praxis¹

Ursula Quatember – Gerhard Paul

In antiquity vertical connections in stone construction were frequently established with dowels that were fixed in their position with molten lead. In scholarly literature two different methods for the work flow have been suggested: According to one group (e. g. Müller-Wiener 1988, 86) both the upper and lower block were put in place and the dowel was set in its final position before the lead was poured in through a so-called pour-channel. According to others (e. g. Adam 2005, 56), the lead was poured in and the upper block was subsequently lowered into its position with the dowel stuck in its bottom. The channel would then serve for the overflowing lead.

Architectural remains from the Roman period do not allow us to make a definite decision for either of the proposed solutions. Therefore we conducted experiments in Aphrodisias (Turkey) during the excavation campaign of 2014. These tests have proven that technically both solutions are feasible and might have been employed during the Roman Imperial period alternately, considering workflow and efficiency.

Die Verbindung horizontaler Lagen von Werksteinen mittels Dübeln war gängige Praxis in der antiken Architektur. In der römischen Kaiserzeit wurden dafür vor allem Eisendübel verwendet, die mit Blei in ihrer Position fixiert wurden.

Im Folgenden soll die Frage diskutiert werden, wie das Blei an seinen Bestimmungsort gelangte. In der Fachliteratur – insbesondere in einschlägigen Handbüchern – werden unterschiedliche Theorien geäußert, wie dieser Bleiverguss technisch durchgeführt worden sei: Wolfgang Müller-Wiener beschreibt den Vorgang so, dass flüssiges Blei über die in den Stein eingearbeiteten Gusskanäle nach dem Versetzen der Bauglieder an seinen Bestimmungsort gelangt sei². Der Dübel befand sich zu diesem Zeitpunkt bereits in der vorgesehenen Position, da man ihn vor dem Versatz in der Unterseite des oberen Architekturteils fixiert hatte.

Eine zweite, abweichende Meinung zu diesem Thema wird beispielsweise von Jean-Pierre Adam vertreten³: Demnach sei das Blei insbesondere in römischer Zeit vor dem Versetzen des oberen Blocks in das Dübelloch gegossen worden. Der in der Unterseite des oberen Bauteils fixierte Dübel wurde sofort danach in das mit Blei gefüllte Dübelloch gesenkt und der obere Werkstein damit in seine endgültige Position gebracht. In den ›Gusskanälen‹ wäre dann eine Art ›Überlauf‹ für das Entweichen von überschüssigem Blei zu sehen.

Schriftliche Quellen, die zur Beantwortung dieser Frage beitragen könnten, liegen nicht vor. So berichtet Vitruv zwar von Klammern und Eisenzapfen mit Bleiverguss, konkrete Angaben zum Arbeitsvorgang macht er jedoch nicht⁴. Auch bildliche Quellen wurden bislang nicht identifiziert⁵. Aus diesem Grund sind es vor allem die baulichen Überreste selbst, die Hinweise auf den Vorgang liefern.

- 1 Die Experimente zum Bleiverguss wurden in Aphrodisias unter Beteiligung zahlreicher Mitglieder des Grabungsteams durchgeführt. Unser Dank gilt insbesondere R. R. R. Smith, J. J. Coulton, T. Proudfoot, T. Kaefer und A. Leung. W. Prochaska von der Montanuniversität Leoben stellte dankenswerterweise Analyseergebnisse bereit. Für Hinweise und Diskussionen sei darüber hinaus Ch. Baier, R. Heinz, Ae. Ohnesorg und nicht zuletzt H. Thür sehr herzlich gedankt.
- 2 Müller-Wiener 1988, 86: »Kantendübel in Verbindung mit einfachen Eisendübeln (mit Gusskanal), wobei [diese] normalerweise [...] nach dem Verlegen der oberen Schicht durch schmale dreieckige Gusskanäle beziehungsweise von außen her mit Blei vergossen wurden«.
- 3 Adam 2005, 56: »[...] molten lead was poured into the lower cavity and the stone adjusted, the dowel settling in the metal that was still liquid. To stop the latter overflowing, a channel was often cut from the hole out to the facing«.
- 4 Vgl. Vitr. 10, 8, 4 zur Verankerung von Mauerschalen durch verbleite Klammern sowie Vitr. 10, 2, 11 zu verbleiten Eisenzapfen, die der Architekt Chersiphron zum Transport an den Säulenschäften des Artemisions von Ephesos anbringen ließ.
- 5 Eine systematische Studie zur zeitgenössischen Darstellung antiker Bauvorgänge stellt in diesem Zusammenhang sicherlich ein Desiderat dar. Allgemein zu einer Sammlung bildlicher Quellen s. Adam 2005, passim; Zimmer 1982, 35–37. 153–161 (Kat. 75–83).



Abb. 1 Ephesos, sog. Hadrianstempel an der Kuretenstraße: Keilstein vom Bogen mit Dübelloch und Gusskanal zum nachträglichen Bleiverguss



Abb. 2 Limyra, Bogentor beim Ptolemaion: Keilstein mit Dübellöchern und Gusskanälen

Die Verwendung von Dübeln aus unterschiedlichen Materialien hat in der antiken Architektur eine lange Tradition⁶. Wie Beispiele etwa vom Parthenon in Athen⁷ oder auch vom Apollotempel in Didyma⁸ zeigen, wurde in klassischer und hellenistischer Zeit der nachträgliche Bleiverguss mit hohem Aufwand durchgeführt. So gelangte etwa bei den Cellablöcken des Tempels in Didyma das Blei sowohl durch vertikale ›röhrenförmige‹ Durchbohrungen als auch durch offene Vergussrinnen in den Stoßfugen der Quader in die Dübellöcher der unterhalb liegenden Quaderschicht. Rinnen in den Oberlagern stellen hingegen laut Hubert Knackfuß die Ausnahme dar⁹. Bei der Bewertung dieser qualitativ hochwertigen und aufwendigen Bauausführung ist zu beachten, dass es sich bei diesen Tempeln um Gebäude handelte, die nach höchsten handwerklichen Ansprüchen geplant und errichtet wurden. Aus diesem Grund sind sie in ihrer bautechnischen Umsetzung nicht mit Bauten der römischen Kaiserzeit zu vergleichen, die in erster Linie auf möglichst große (Arbeits-)Effizienz und Wirtschaftlichkeit ausgerichtet waren. Es stellt sich deshalb die Frage, ob die Methode des nachträglichen Bleivergusses auch bei diesen Projekten ihre Anwendung fand, oder ob nicht – eventuell alternativ zur ›traditionellen‹ Arbeitsweise – die bei Adam beschriebene Praktik des Eingießens mit nachträglichem Versetzen praktiziert wurde, da dies, zumindest im Rahmen bestimmter Arbeitsabläufe, als weniger aufwendig erscheint.

Betrachtet man erhaltene Architekturglieder, die Aufschluss über die angewandte Methode geben können, wird zunächst klar, dass in Sonderfällen der Bleiverguss sicherlich nachträglich erfolgte. Dies trifft beispielsweise auf Bogenkonstruktionen zu, wie sie am sog. Hadrianstempel in Ephesos¹⁰ (Abb. 1) und bei einem Bogentor nahe dem Ptolemaion in Limyra¹¹ (Abb. 2) zur Anwendung kamen. Alle Keilsteine wurden durch Dübel miteinander verbunden. Lediglich der Schlussstein musste, da er als

6 Vgl. zusammenfassend Müller-Wiener 1988, 85 Abb. 43.

7 Korres 1983, 110 f.

8 Knackfuß 1941, 63. 68. 88 Taf. 28 Z 242.

9 Vgl. die Beschreibung bei Knackfuß 1941, 63 sowie Müller-Wiener 1988, 87 Abb. 44.

10 Zu einer ausführlichen Vorlage des Baubefundes s. U. Quatember, Der sog. Hadrianstempel an der Kuretenstraße, FiE (in Druck). Bislang zusammenfassend zur Baugeschichte Quatember 2010; Quatember 2013 mit weiterer Literatur.

11 Die Architektur des Bogentores ist Gegenstand einer Untersuchung durch die Verf. gemeinsam mit A. Leung. Bislang s. Ruggendorfer 2002; Pülz – Ruggendorfer 2004, 57–62 mit älterer Literatur; Leung – Quatember 2015.

letzter versetzt wurde, durch Klammern in seiner Position fixiert werden. In die nach außen zur Oberseite geführten Gusskanäle der ›regulären‹ Keilsteine muss das Blei nach dem Versetzen eingebracht worden sein. Bautechnisch ist keine andere Lösung denkbar, da vor allem bei den steileren Lagerflächen im oberen Teil des Bogens das Blei wieder herausgeflossen wäre, wenn man es vor dem Versetzen des Gegenstücks in die Dübellöcher hätte füllen wollen.

Anders verhält es sich hingegen bei der Mehrzahl der Verdübelungen, die auf einer horizontalen Lagerfuge angebracht sind. Hier verläuft die Mehrzahl der Gusskanäle ohne ein erkennbares Gefälle, häufig auch keineswegs auf der kürzesten Strecke von der Kante des darüber liegenden Baugliedes bis zum Dübelloch¹². Deshalb überrascht es, dass nicht häufiger Bleireste in den Gusskanälen vorhanden sind. Unter all den vertikalen Dübelverbindungen, die in Aphrodisias im Zeitraum von 1983–2015 auf Grund von Konservierungsmaßnahmen bzw. im Rahmen von Anastylosearbeiten getrennt wurden, befinden sich keine Beispiele, bei denen Bleireste im horizontalen Gusskanal erhalten waren (Abb. 3, 4).

Diese Fakten könnten dafür sprechen, dass auch die von Adam beschriebene Technik zur Anwendung kam, bei der Gusskanäle lediglich als Überlauf genutzt wurden. Zusätzlich existieren in der Fachliteratur Stimmen, welche die technische Möglichkeit des nachträglichen Vergusses grundsätzlich in Frage stellen¹³. All diese offenen Fragen führten dazu, dass wir uns in der Kampagne 2014 in Aphrodisias (Türkei) dafür entschieden, praktische Experimente zu diesem Thema anzustellen.

VERSUCHSANORDNUNG

Wie generell im Rahmen von Konzepten der experimentellen Archäologie¹⁴ ging es zunächst darum, die für das Ergebnis der Versuche entscheidenden Parameter mög-



Abb. 3 Aphrodisias, ›South Building‹ des Sebasteions: Stylobat unmittelbar nach Abheben der Säulenbasis im Rahmen von Konservierungsmaßnahmen. Blei befindet sich in den Dübellöchern, nicht aber im Gusskanal. Im gesamten Bereich haben sich Humus und Verunreinigungen angesammelt.



Abb. 4 Aphrodisias, ›South Building‹ des Sebasteions: Unterseite der zugehörigen Säulenbasis mit originalen Eisendübeln in situ

12 Vgl. zu dieser Frage beispielsweise Weber 2004, 94, der einerseits feststellt, dass »die Dübellöcher entweder nahe der Außenkante oder nahe der Innenkante der Blöcke angeordnet sind. Lange Gußkanäle, bei denen die Gefahr eines vorzeitigen Erstarrens des Bleivergusses bestehen könnte, sind also bewußt vermieden worden«. Gleichzeitig – und im Widerspruch dazu – wurde jedoch nicht der kürzeste Weg von der Vorderkante des oberen Blocks bis zum Dübelloch gewählt. [...] ein möglicher Grund für diese auf den ersten Blick unverständliche Maßnahme könnte darin bestehen, daß die Gußkanäle in einer Ecke der annähernd quadratischen Dübellöcher münden, und das geschmolzene Blei durch die schräg auf das Dübelloch zuführenden Gußkanäle bei geradem Fluß ohne Behinderung in die Dübellöcher stürzen konnte«.

13 Vgl. beispielsweise Plattner – Schmidt-Colinet 2005, 255.

14 Zusammenfassend s. Outram 2008 mit weiterführender Literatur.



Abb. 5 Aphrodisias, ›Versuchsanordnung‹ für den Bleiverguss mit Halbsäulenpfeiler und korinthischem Kapitell von der ›South Portico‹ des Sebasteions

lichst an die antiken Umstände anzunähern bzw. sich zumindest der grundlegenden Beschränkungen bewusst zu sein, die sich durch die Anpassung an moderne Materialien oder Arbeitsvorgänge ergeben. Verwendet wurden originale Bauteile vom Obergeschoss des südlichen Gebäudes im Sebasteion¹⁵ (Abb. 5), konkret das Fragment eines Halbsäulenpfeilers (Breite 28 cm, erhaltene Tiefe 47 cm, erhaltene Höhe 62 cm) sowie ein korinthisches Kapitell (erhaltene Breite 32 cm, erhaltene Tiefe 42 cm, Höhe 32,5 cm). Beide Architekturglieder waren in der Antike nicht notwendigerweise gemeinsam verbaut, gehören aber zur selben Serie und stimmen in ihren technischen Anschlüssen überein. Die Oberseite des Halbsäulenpfeilers besitzt ein zentrales Wolfloch sowie ein diesem zur Frontseite hin vorgesetztes rechteckiges Dübelloch (5 × 6 cm, Tiefe 5 cm). Im Unterlager des Kapitells befindet sich ein ebenfalls rechteckiges Dübelloch mit kleineren Dimensionen (2 × 2 cm, Tiefe 3 cm). Diese unterschiedliche Größe der beiden Einarbeitungen ist auf die Praxis zurückzuführen, den Dübel vor dem Versetzen des Kapitells in seiner Unterseite zu fixieren. Dieses Konzept wurde auch bei unseren Versuchen verfolgt, wobei allerdings der Dübel nur leicht im oberen Loch befestigt wurde, um das Lösen der beiden Bauteile nach dem erfolgten Bleiverguss möglichst einfach zu gestalten und Beschädigungen an den antiken Bauteilen von vornherein auszuschließen¹⁶.

Zur Einsatz kamen moderne Dübel (Rundstahl, Durchmesser 14 mm), während antike Exemplare aus geschmiedetem Puddel-Stahl bestanden¹⁷; auf die praktische Durchführung und das Resultat der Experimente ergeben sich dadurch jedoch keine Auswirkungen. Für den Verguss wurde modernes Blei verwendet, das in seinen chemischen Eigenschaften und damit auch in seinem Schmelzpunkt den durchgeführten Analysen zufolge antikem Blei jedoch sehr ähnlich ist¹⁸. Um eine Vorstellung vom antiken Schmelzvorgang zu bekommen, wurde das Blei auf einem Holzkohle-Feuer erhitzt (Abb. 6). Es musste jedoch zusätzlich – in unserem Fall mit einem Kompressor – Sauerstoff zugeführt werden, um die notwendige Temperatur von etwa 327 °C zu erreichen und das Blei ausreichend zu verflüssigen.

15 Zum Sebasteion s. zuletzt Smith 2013, zum ›South Building‹ bes. 30–41 Abb. 12–14. Die Architektur der Anlage wird derzeit von Ph. Stinson untersucht. Teile des südlichen Bauwerks sind Gegenstand einer Anastylose, durchgeführt unter der Leitung von Th. Kaefer und G. Paul.

16 Auch konnte das Blei ohne Rückstände entfernt werden, so dass die Bauteile nach Abschluss der Versuche wieder denselben Zustand aufwiesen wie am Beginn der Experimente.

17 Hueber 1989, 224 Abb. 8.

18 Analysen zufolge handelt es sich bei dem im Bereich des Sebasteions verwendeten antiken Blei um reines Blei und nicht um eine Legierung. Der Anteil aller anderen Bestandteile liegt unter 0,2 %. Für die Untersuchung sei W. Prochaska sehr herzlich gedankt.

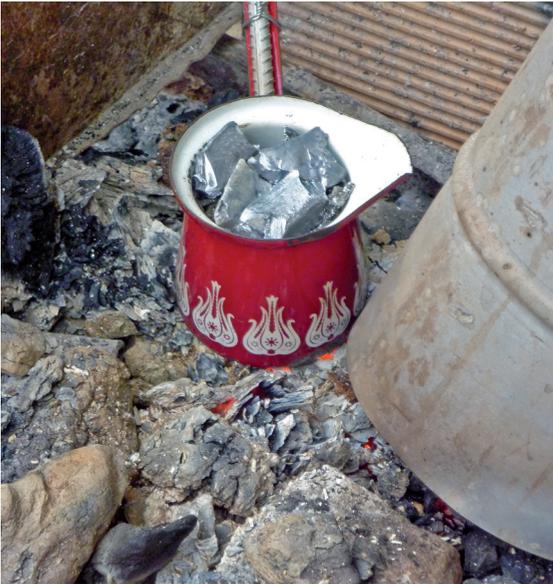


Abb. 6 Erhitzen des Bleis am Holzkohlefeuer

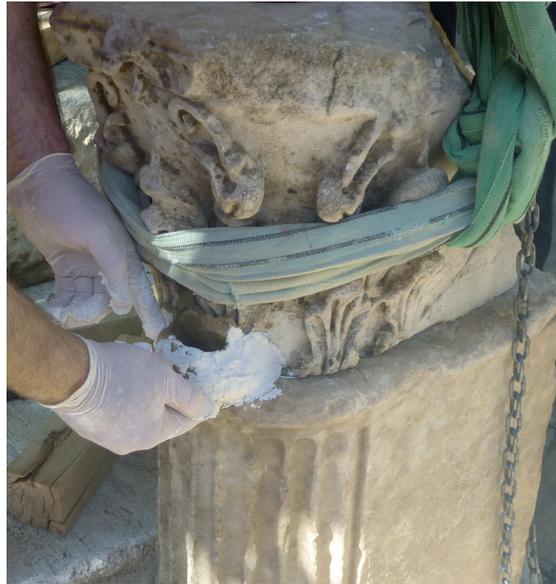


Abb. 7 Versuch A: Herstellung des ›Schwalbennestes‹

VERSUCH A

Als erstes sollte der Bleiverguss angebracht werden, nachdem der darüber liegende Block mit dem darin befindlichen Dübel versetzt worden war. Um das Blei in den Gusskanal zu gießen, der direkt an der Vorderkante in der Fuge zwischen Halbsäulenpfeiler und Kapitell ansetzte, musste zunächst ein sog. Schwalbennest anmodelliert werden (Abb. 7). Dieses bestand – wie dies in der Antike auch der Fall war – zu einem Großteil aus Ton; zur zusätzlichen Stabilisierung wurde bei unserem Versuch jedoch auch Gips aufgebracht¹⁹. Für den Ablauf selbst ist festzuhalten, dass das Blei flüssig und ohne Rückstau in den Gusskanal hineinlief. Nach etwa einer Stunde Zeit zum Aushärten des Bleis wurde zunächst das Schwalbennest entfernt, das sich ohne Probleme und Rückstände vom Halbsäulenpfeiler herunterbrechen ließ. Bereits dabei zeigte sich, dass im Fugenbereich noch Bleireste vorhanden waren. Anschließend konnte das Kapitell ohne Widerstände abgehoben werden, um das Ergebnis zu überprüfen (Abb. 8). Der nur locker im Kapitell befestigte Dübel blieb dabei im Bleiverguss stecken. Das Blei war über den Gusskanal problemlos in das Dübelloch gelangt und fixierte ihn in seiner Position. Blei befand sich allerdings nicht nur im Dübelloch, sondern auch im Gusskanal und im vorderen Bereich



Abb. 8 Versuch A: Endergebnis

des Auflagers, wo das Schwalbennest angesetzt war. Das Dübelloch selbst war jedoch keineswegs bis zum Rand gefüllt. Demnach handelt es sich nicht um einen Rückstau von überschüssigem Blei, sondern um Material, das erstarrte, bevor es in das Dübelloch gelangen konnte.

¹⁹ Es ist nicht davon auszugehen, dass dieser Gips das Ergebnis der Versuche verfälschte. Vielmehr ist aber festzuhalten, dass es naturgemäß an Erfahrung zur richtigen Gestaltung eines solchen Schwalbennestes mangelte und diese zusätzlich stabilisierende Maßnahme sinnvoll erschien, um die Sicherheit der am Experiment beteiligten Personen zu garantieren.



Abb. 9 Versuch B: Endergebnis

VERSUCH B

Im zweiten Experiment wurde das Blei zuerst eingegossen, bevor das darüber liegende Kapitell mit dem Dübel auf dem Halbsäulenpfeiler angebracht wurde. Um ein schnelles Absenken zu ermöglichen und zu verhindern, dass das Blei erkalte, bevor das Kapitell in der richtigen Position ist, wurde der Block mittels der Hebevorrichtung in eine günstige Ausgangslage gebracht. Auch in diesem Fall funktionierte der Bleiverguss problemlos; innerhalb von etwa 10 Sekunden konnte das Kapitell versetzt werden. Wiederum wurde nach etwa einer Stunde Zeit zum Aushärten das Kapitell abgehoben (Abb. 9). Es zeigt sich, dass das Blei bereits beim Eingießen relativ genau dosiert werden kann und sich kein überschüssiges Material im Gusskanal befindet.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Für die grundsätzliche Bewertung der Experimente ist festzuhalten, dass allen Beteiligten in Aphrodisias klarerweise die Routine fehlte, die für einschlägig spezialisierte Teams auf einer römischen Baustelle vorauszusetzen ist. Dennoch konnte der Bleiverguss ohne Probleme durchgeführt werden. Die Endergebnisse sind daher durchaus als repräsentativ zu betrachten. Zeit- und Arbeitsaufwand sind hingegen nicht mit antiken Arbeitsvorgängen vergleichbar. So musste das Blei in der Antike ebenso wie heute auf jedem Fall unmittelbar am Verwendungsort erhitzt werden, da flüssiges Blei relativ schnell erstarrt und nicht über längere Strecken transportiert werden kann. Das bedeutet, dass in der Antike auch auf Gerüsten mit Kohlebecken und Blasebälgen gearbeitet werden musste²⁰. Bei den hier gezeigten Versuchen wurden alle Arbeiten jedoch zu ebener Erde durchgeführt.

Versuch A: Für das übergelaufene Blei im vorderen Teil der Lagerfläche sowie im Gusskanal lassen sich zumindest teilweise auch Erklärungen aus den Umständen herausfinden. Zum einen ist die Oberfläche des Halbsäulenpfeilers etwas beschädigt und das Kapitell nicht das im Original zugehörige, auch wenn es aus derselben Serie stammt. Zum anderen ließe sich das Blei durch eine optimierte Technik in der Gestaltung und beim Einfüllen in das Schwalbennest vermutlich besser in die gewünschte Richtung lenken. Dennoch geht aus dem Versuch klar hervor, dass in jedem Fall beim nachträglichen Eingießen Bleireste im Gusskanal zurückbleiben. Dies könnte im Vergleich mit den aus Aphrodisias bekannten Befunden (Abb. 3. 4) – bei denen in der Regel kein Blei im Gusskanal vorhanden ist – dagegen sprechen, dass in solchen Fällen das Blei nachträglich eingegossen wurde.

Versuch B: Es befanden sich keine Bleireste im Gusskanal, zumal sich die benötigte Menge an Blei relativ gut abschätzen lässt, und dieser nicht als Überlauf dienen musste. Im Vergleich mit aus Aphrodisias erhaltenen Befunden (Abb. 10) entspricht dies am ehesten dem bekannten Bild. Einschränkend ist jedoch zu sagen, dass es sich bei der vorliegenden ›Versuchsanordnung‹ um relativ kleine Bauteile handelt, die – zumal mit modernen Hebevorrichtungen – völlig problemlos bewegt werden

20 Zur Verwendung von Blasebälgen in der Antike s. Craddock 2008, 102 f.; zur römischen Zeit bes. Weisgerber – Roden 1988, 2–21. Darstellungen von Blasebälgen auf Baustellen – und damit eventuell auch die Fixierung von Dübeln mittels Blei – sind m. W. bislang nicht bekannt.



Abb. 10 Aphrodisias, »North Building« des Sebasteions: Halbsäulenpfeiler mit Bleiverguss in situ. Im linken Dübelloch wurde der Eisendübel nachträglich, wohl rezent entfernt.

können. Für größere Bauteile und weniger technisch ausgereifte Hebevorrichtungen²¹ könnte das nachträgliche Versetzen im entsprechenden Zeitfenster, in dem das Blei flüssig bleibt, möglicherweise ein Problem darstellen. Wesentlich im Fall von Versuch B dürfte deshalb auch sein, dass das Dübelloch eine gewisse Mindestgröße aufwies, die verhinderte, dass das Blei zu schnell erkaltet. So hat sich bei einem Vorversuch gezeigt, dass es nicht möglich ist, in ein Bohrloch mit geringem Durchmesser (Durchmesser 20 mm) in einem modernen Marmorblock Blei einzugießen und mit ca. 30 Sekunden Verzögerung einen Dübel (Rund-

stahl, Durchmesser ca. 12 mm) einzusetzen. Auf Grund des geringen Volumens erstarrt das Blei sofort. Erst bei einer gewissen Größe bzw. Masse an flüssigem Blei bleibt dieses lange genug heiß – und damit auch flüssig – damit der darüber liegende Block problemlos versetzt werden konnte. Dübellöcher an Bauten in Aphrodisias messen in der Regel mindestens etwa 4,5 × 4,5 cm und sind 3 cm tief. Beispielsweise für das Versetzen der relativ kleinen Kapitelle in der »Versuchsanordnung« benötigt man keinesfalls einen derart großen Spielraum, da sich die Position des Dübels gut vorausplanen lässt und das endgültige Einrichten mit einem Spielraum von wenigen Millimetern erfolgt. Durch die großen Dübellöcher entsteht vielmehr ein eher unökonomisch hoher Bedarf an Blei²². Einen deutlichen Vorteil haben diese großen Einarbeitungen jedoch dadurch, dass das hineingegossene Blei länger flüssig bleibt und die Bauteile so nachträglich besser positioniert bzw. eingerichtet werden können.

Insgesamt ist festzuhalten, dass sich auch auf experimentellem Weg keine eindeutige Entscheidung bezüglich der in der Antike für den Bleiverguss angewandten Methode ermitteln ließ. Faktum ist, dass sowohl das nachträgliche Eingießen durch den Gusskanal als auch das Eingießen und anschließende Positionieren des oberen Baugliedes technisch machbar sind. Es ist deshalb durchaus zu vermuten, dass beide Methoden auf römischen Baustellen ihre Anwendung fanden und im jeweiligen Fall nach Gesichtspunkten der Arbeitsökonomie und Effizienz entschieden wurde.

*Mag. Dr. Ursula Quatember
Karl-Franzens-Universität Graz
Institut für Archäologie
Universitätsplatz 3/II
A-8010 Graz
uq@quatember.at*

*DI Gerhard Paul
New York University
Aphrodisias Excavations
g.paul@aap.or.at*

21 Vitr. 10, 1. 2 beschreibt und preist die Leistung der »Zug-Hebemaschine«, des tractorium; zu antiken Hebewerken und Kranen s. beispielsweise zusammenfassend Adam 2005, 43–51 sowie Wilson 2008, 342–345.

22 Den Angaben von Hueber 1989, 224 zufolge dürften pro Dübelloch etwa 2–3 kg Blei nötig gewesen sein.

LITERATURVERZEICHNIS

Adam 2005

J.-P. Adam, *Roman Building. Materials and Techniques* (London 2005)

Craddock 2008

P. T. Craddock, *Mining and Metallurgy*, in: P. Oleson (Hrsg.), *The Oxford Handbook of Engineering and Technology in the Classical World* (Oxford 2008) 93–120

Hueber 1989

F. Hueber, *Gestaltungsfineinheiten und Quaderbautechnik an Bauten der frühen Kaiserzeit. Ergebnisse von Bauuntersuchungen als Beitrag zur Vitruv-Forschung*, in: H. Geertman – J. J. de Jong (Hrsg.), *Munus non ingratum. Proceedings of the International Symposium on Vitruvius' »De architectura« and the Hellenistic and Republican Architecture*, Leiden, 20–23 January 1987, *BABesch Suppl. 2* (Leiden 1989) 217–229

Knackfuß 1941

H. Knackfuß, *Die Baubeschreibung, Didyma 1* (Berlin 1941)

Korres 1983

M. Korres, *Μελέτη αποκαταστάσεως του Παρθενώνος Ι* (Athen 1983)

Leung – Quatember 2015

A. Leung – U. Quatember, *Monumental Gate at the Ptolemaion*, in: M. Seyer, *Limyra 2014*, *Anmed* 13, 2015, 76 f.

Müller-Wiener 1988

W. Müller-Wiener, *Griechisches Bauwesen in der Antike* (München 1988)

Outram 2008

A. K. Outram, *Introduction to Experimental Archaeology*, *World Archaeology* 40/1, 2008, 1–6

Plattner – Schmidt-Colinet 2005

G. A. Plattner – A. Schmidt-Colinet, *Beobachtungen zu drei kaiserzeitlichen Bauten in Ephesos*, in: B. Brandt – V. Gassner – S. Ladstätter (Hrsg.), *Synergia. Festschrift für Friedrich Krinzinger I* (Wien 2005) 243–255

Pülz – Ruggendorfer 2004

A. Pülz – P. Ruggendorfer, *Kaiserzeitliche und frühbyzantinische Denkmäler in Limyra. Ergebnisse der Forschungen in der Oststadt und am Ptolemaion (1997–2001)*, *MitChrA* 10, 2004, 52–79

Quatember 2010

U. Quatember, *The »Temple of Hadrian« on Curetes Street in Ephesus. New Research into its Building History*, *JRA* 23, 2010, 376–394

Quatember 2013

U. Quatember, *War der Hadrianstempel wirklich Hadrians Tempel? Aktuelle archäologische und bauhistorische Untersuchungen an der Kuretenstraße in Ephesos*, *AW* 44, 2013, 59–66

Ruggendorfer 2002

P. Ruggendorfer, *Ein kaiserzeitlicher Torbau an der Säulenstraße von Limyra/Lykien*, *Forum Archaeologiae* 25/12, 2002, <<http://farch.net>> (01.08.2015)

Smith 2013

R. R. R. Smith, *The Marble Reliefs from the Julio-Claudian Sebasteion, Aphrodisias 6* (Darmstadt 2013)

Weber 2004

B. F. Weber, *Die römischen Heroa von Milet*, *Milet* 1, 10 (Berlin 2004)

Weisgerber – Roden 1988

G. Weisgerber – C. Roden, *Römische Schmiedeszenen und ihre Gebläse*, *Der Anschnitt* 37/1, 1985, 2–21

Wilson 2008

A. I. Wilson, *Machines in Greek and Roman Technology*, in: P. Oleson (Hrsg.), *The Oxford Handbook of Engineering and Technology in the Classical World* (Oxford 2008) 337–366

Zimmer 1982

G. Zimmer, *Römische Berufsdarstellungen*, *AF* 12 (Berlin 1982)

ABBILDUNGSNACHWEIS

Abb. 1: N. Gail, ÖAI Wien. – Abb. 2: R. Hügli, ÖAI Wien. – Abb. 3–10: U. Quatember.



Handwerkliche Prozesse zur Gewinnung, Herstellung, Aufbereitung und Verarbeitung von Baumaterialien hinterlassen an jedem gebauten **Werk** ihre **Spuren**. Für den Bauforscher sind diese eine maßgebliche – oftmals sogar die einzige – Quelle zur Rekonstruktion der angewandten Bautechniken sowie des Material-, Transport- und Bearbeitungsweges bis zur Baustelle. Sie erlauben das Nachvollziehen von Bauabläufen und der erforderlichen Baulogistik. Da auch in der Antike eine reibungslos funktionierende Baustelle in hohem Maße von der sozialen Organisation des Bauwesens abhing, ermöglicht die Rekonstruktion von Bauweisen und Bauabläufen ebenso das dahinter stehende Wissen und die soziale Struktur zu analysieren. Wird das antike Bauwesen als ein hochgradig komplexer und vernetzter Prozess verstanden, dann kann seine Entschlüsselung dazu beitragen, Fragen nach der jeweiligen Verteilung von Arbeit und Kompetenz, nach der sozialen Organisation einer Baustelle und dem Einfluss von Mobilität der Bauleute auf die Verbreitung und Transformation von Bauwissen zu beantworten. Innovative Verarbeitungsmethoden und die Rolle von Materialökonomie geben ferner Hinweise auf das jeweilige Technik-, Natur- und Raumverständnis. Ziel der 12. Archäologischen Diskussionen zur Bauforschung war es daher, neben den rein technischen Aspekten des Wissens um Materialeigenschaften und den Fragen nach der Logistik, auch die Tradierungsprozesse von konstruktiv-operativem Bauwissen in der Antike zu diskutieren.

In 29 Beiträgen wird sich in drei »Zoomschritten« aus drei unterschiedlichen Blickwinkeln den Fragen genähert. Ausgehend von der Bearbeitung des Werkstücks werden über das baukonstruktive Zusammenfügen bis hin zur Organisation des Bauablaufs die jeweiligen Spuren beleuchtet und interpretiert. Ein interdisziplinärer Zugriff ermöglicht es dabei, Hinweise auf Bauhütten und Bautraditionen, deren Organisation sowie die Überlieferung von Wissen im antiken Bauwesen zu gewinnen. Die facettenreichen Beiträge machen deutlich, dass das Beobachten und kritische Hinterfragen jeder noch so kleinen Spur an antiken Bauwerken nicht nur zu neuen bauforscherischen Erkenntnissen führt, sondern durch die Verknüpfung mit Forschungsansätzen anderer Disziplinen auch interessante Einblicke in antike Kulturen und Lebenswelten gewonnen werden.

ISBN 978-3-7954-3205-8



9 783795 432058