

6

K öln
u nd
B onner
A rchaeologica



2016

Habelt-Verlag · Bonn

K öln
u nd
B onner
A rchaeologica

KuBA 6/2016



Habelt-Verlag · Bonn

Kölner und Bonner Archaeologica
KuBA 6/2016

Herausgeber

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

Redaktion, Satz und Gestaltung
Jan Marius Müller

Umschlaggestaltung
Jan Marius Müller

Fotonachweis Umschlag
Jutta Schubert (Akademisches Kunstmuseum der Universität Bonn)

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.

© 2017 by Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn

ISBN 978-3-7749-4105-2

Für die anteilige Übernahme der Druckkosten dieses Bandes danken wir der HypZert GmbH,
der Sparkasse KölnBonn sowie dem Förderverein des Akademischen Kunstmuseums Bonn e. V.

HypZert



INHALT

Beiträge

FRANK HULEK – DIRK KIRCHNER, Nachstellung der Verwitterung an Marmorplatten aus dem hocharchaischen Tempel am Çatallar Tepe (Türkei)	5
FABIAN RICHTER, Zur Prägung von Alexander-Tetradrachmen in Pamphylien und der Datierung des Gegenstempels ‚Anker‘ auf pamphyllischen Münzen	15
UTA SCHRÖDER, Die Wassermühle des Rimburger <i>vicus</i>	35
MICHAEL DRECHSLER – ECKHARD DESCHLER-ERB, Provinzialrömische Archäologie in Köln und Deutschland in den letzten 20 Jahren (1995–2015)	45

Projektberichte

MARTIN BENTZ – LINDA ADORNO – JON ALBERS – ANNKATRIN BENZ – AXEL MISS – JAN MARIUS MÜLLER, Das Handwerkerviertel von Selinunt – Vorbericht zu den archaischen Strukturen der Kampagnen 2010–2016	59
JON ALBERS – MARTIN BENTZ – CHRISTIAN BRIESACK – ALESSANDRA COEN – FERNANDO GILOTTA – ROBINSON P. KRÄMER – MARINA MICOZZI, Grabkontexte aus der Nekropole von Monte Abatone in Cerveteri. Eine Summerschool der Universität Bonn und der Seconda Università degli Studi di Napoli	75
LARS HEINZE – MARKUS HELFERT, CeramEgypt: Towards a broader application of the portable ED-XRF on Egyptian pottery of Greek and Roman times	85
MATTHIAS NIEBERLE – MANUELA BROISCH – SABRINA GEIERMANN – JOST BROSER, Neue Forschungen zum antiken Baiae – Teil I	91
KARL OBERHOFER, Brigantium/Bregenz (A) – Vorbericht zu den Grabungen im Forum 2016	117
STEFAN PIRCHER, INTRA MUROS – Vorbericht zur ersten Grabungskampagne des Archäologischen Instituts der Universität Köln in der Insula 22 in der Colonia Ulpia Traiana	131
SABINE DESCHLER-ERB – ÖRNI AKERET – SIMONE HÄBERLE, Gemeinsam stark – Der archäobiologische Feldkurs in Xanten 2016	139
SEBASTIAN RISTOW – DANIEL STEINIGER, Forschungen an den Bronzen des Aachener Domes	143

Sammlungen

BERNHARD SCHMALTZ, Der Thron in Bildern attischer Grabmäler klassischer Zeit	169
PETER NOELKE MIT NORBERT HANEL, Die Antikensammlung der Grafen von Manderscheid-Blankenheim in der Eifel	201
KAROLINA KADERKA – PAUL SCHEDING, Die Skulpturensammlung des Paul Marguerite de La Charlonie im Museum von Laon	221
KATHARINA LORENZ – CATERINA PARIGI – PHILIPP GROSS, Die römischen Marmorfunde aus dem Heiligtum der Diana Nemorensis in Nottingham. Ein Bericht zur Fotokampagne von 2016	225
ERIKA ZWIERLEIN-DIEHL, The Snake-legged god on the Magical Gems: Reflections on Nature, Greek, Egyptian and Jewish Influences, and the Afterlife	235

ArchäoInformatik

CATERINA PARIGI – MICHAEL REMMY, Hannestad@ARACHNE. Ein privates Fotoarchiv im Wissensnetz	259
--	-----

Neue Forschungen zum antiken Baiae – Teil I

MATTHIAS NIEBERLE – MANUELA BROISCH – SABRINA GEIERMANN – JOST BROSER

This article provides an overview of the research that has been carried out in the archaeological park of Baiae in September 2016 thanks to a cooperation between the Archaeological Institute of the University of Cologne and the Institute of Baugeschichte and Denkmalpflege of the Technische Hochschule Cologne by courtesy of the Soprintendenza per i Beni Archeologici di Napoli. Preliminary a brief summary of the famous bath spots history located at the gulf of Naples is given to be followed by a short explanation how the project came into being. Afterwards some results of the geophysical prospection are presented. Subsequent the workshop for students to learn the basics of measurement that took place in the archaeological park from 05.09.–18.09.2017 and the measuring with the 3D-laserscanner will be explained. Finally some first results of the new three-dimensional measurement are shown.

Questo articolo fornisce una panoramica della ricerca eseguita nel mese di settembre 2016 grazie ad una collaborazione tra l'Istituto di Archeologia dell'Università di Colonia e l'Istituto di Storia e Tutela dei beni culturali della Technische Hochschule di Colonia e grazie alla cortesia della Soprintendenza per i Beni Archeologici di Napoli del Parco Archeologico di Baia.

In una breve introduzione sarà riassunta la storia della famosa località termale sul Golfo di Napoli e verrà spiegato come è nato il progetto di ricerca. Poi verranno presentati alcuni risultati delle prospezioni geofisiche. Segue una breve relazione sul Workshop, che è stato effettuato per gli studenti dal 05.09.17 fino al 18.09.17, per spiegare le funzionalità delle prospezioni attraverso la scansione laser 3D. Infine, verranno presentati i primi risultati di questa misurazioni tridimensionali.

Kontext

Dieser Artikel gibt einen knappen Überblick und stellt erste Ergebnisse der Forschungsarbeiten vor, die im September 2016 durch eine Kooperation zwischen dem Archäologischen Institut der Universität zu Köln und den Instituten für Baugeschichte und Denkmalpflege sowie Baubetrieb und Vermessung der Technischen Hochschule Köln im Archäologischen Park von Baiae durchgeführt wurden¹. Einleitend und zum besseren Verständnis sollen zunächst knapp der historische Kontext und das Zustandekommen des Forschungsprojektes geschildert werden.

Bei Baiae handelt es sich um keinen klar definierten Ort, sondern um eine natürliche Bucht, die etwa 17 km westlich von Neapel liegt und Teil der Phlegräischen Felder ist (**Abb. 1**)². Diese stark vulkanisch geprägte Region³ weckte um die Mitte des 2. Jh. v. Chr. aufgrund ihrer vielfältigen Vorzüge und ihrer spektakulären landschaftlichen Kulisse das Interesse der römischen Oberschicht, die auf

der Suche nach geeignetem Terrain zur Errichtung von Villenanlagen war. Die expansive Politik und die wirtschaftliche Prosperität des römischen Imperiums hatten es der Elite Roms ab dem 2. Jh. v. Chr. ermöglicht, große Reichtümer anzuhäufen. Zugleich bedingte der ebenfalls durch die Expansion entstandene Kontakt mit der östlichen Palastkultur und ihrer beeindruckenden Architektur bei der wohlhabenden Bevölkerungsschicht ein Streben nach ähnlicher ‚standesgemäßer‘ Lebensführung. Hierzu gehörte auch ein entsprechendes Domizil, das jedoch in Rom aufgrund der stren-

1 Ein herzlicher Dank an dieser Stelle an die Soprintendenza per i Beni Archeologici di Napoli, ohne deren freundliche Genehmigung und Unterstützung das Projekt nicht durchführbar gewesen wäre. Stellvertretend sei Dott. Francesco Sirano gedankt.

2 Borriello – D'Ambrosio 1979, 9.

3 Hug-Fleck 2012, 39–45.



Abb. 1: Satellitenaufnahme des Golfs von Pozzuoli. Deutlich erkennbar ist die vulkanische Beschaffenheit der Phlegräischen Felder inklusive der Bucht von Baia.

gen *mos maiores* (noch) nicht toleriert wurde. Aus diesem Grund verlagerten sich die Bautätigkeiten zunächst ins nahe Umfeld oder leicht zu erreichende und landschaftlich vielfältige Gebiete, wie etwa den Golf von Neapel. Für die neu errichteten Villen wählte man oftmals besonders exponierte Liegenschaften, häufig am Meer, um Gäste und Besucher mit einem spektakulären Panorama zu beeindrucken⁴.

Die Bucht von Baiae rückte in den Fokus dieser Dynamik, weil sie sich neben ihrer landschaftlichen Schönheit noch dadurch auszeichnete, dass

hier aufgrund des Vulkanismus der Phlegräischen Felder vulkanische Dämpfe und Thermalwasserquellen vorhanden waren. Von letzteren behauptete Plinius der Ältere sogar, dass es an keinem Ort der Welt zahlreichere oder verschiedenartigere Thermalwasser gebe⁵. Diese und die heißen Dämpfe wurden in die Bäder der Villen integriert, um diese Annehmlichkeiten ebenfalls zu genießen. Rasch wurden genau diese Vorzüge zum Alleinstellungsmerkmal des Küstenstreifens von Baiae und zeitgenössische Schriftquellen erwecken den Eindruck, dass sich Baiae im Verlauf des 1. Jh. v. Chr. und 1.

4 Zwar besaß die Oberschicht bereits zuvor große Landhäuser, die durchaus als Villen bezeichnet wurden, doch stand bei diesen die Funktion als landwirtschaftliche Produktionsstätten im Vordergrund, die bis dato auch die Basis für den Reichtum ihrer Besitzer bildete. Ab dem 2. Jh. v. Chr. wurde dann immer mehr Wert auf die Ausstattung der bestehenden Gebäude mit besonders exquisitem Material oder Statuen und möglichst großen und prachtvollen Räumen sowie Portiken gelegt, so dass für den

landwirtschaftlichen Teil der Villen immer weniger Platz verblieb. Die konsequente Entwicklung führte letztlich zur Errichtung eigenständiger Anwesen, die einzig dem Vergnügen dienen. Vgl. zu dieser Thematik der Villegiatur am Golf von Neapel beispielsweise D'Arms – Zevi 2003, 15–78. 351–383; Zarmakoupi 2014, 1–8. 17–23. 25–27.

5 Vgl. Plin. nat. 31, 4 f.

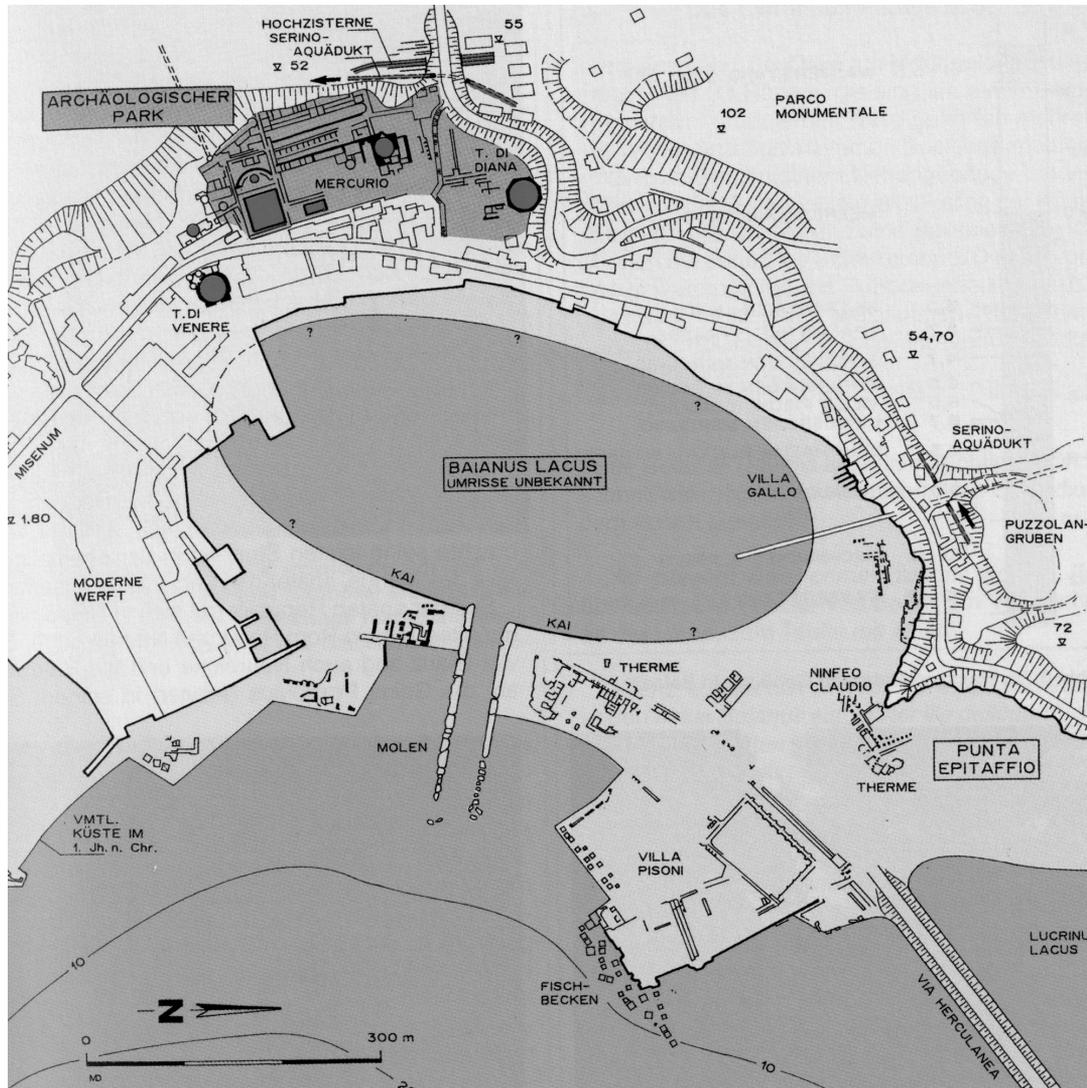


Abb. 2: Die Bucht von Baiae, Archäologischer Park und Unterwasserstrukturen.

Jh. n. Chr. zum bedeutendsten römischen Heilbade- und Kurort entwickelte. Horaz schrieb begeistert: Es gibt keine lieblichere Bucht auf der Welt als Baiae⁶. Dicht an dicht reihten sich entsprechend die Villen und Thermenanlagen in der Bucht, so dass der Eindruck einer Stadt entstand⁷. Die bedeutendsten Persönlichkeiten besaßen ein Grundstück in Baiae und es ist nicht verwunderlich, dass auch die Kaiser hier eine weitläufige Villa ihr Eigen nannten, wenngleich eine konkrete Verortung der kaiserlichen Domäne noch nicht gelungen ist. Selbst ein etwas lasterhafter Ruf tat dem Ruhm Baiæes keinen Abbruch⁸. Im Gegenteil: Der Name des Küstenstreifens war im gesamten römischen

Imperium bekannt und wurde zum Synonym für prächtige Badeanlagen, wie es beispielsweise für einige spätantike Bäder in Nordafrika bezeugt ist⁹.

6 Hor. Epist. 1, 1, 83: *Nullus in orbe sinus Bais praeleuet amoenis.*

7 Strab. geogr. 5, 4 (7).

8 Die Bucht von Baiae galt vielen Moralisten als Ort zahlreicher Laster, wie etwa sexueller Freizügigkeit. Dass diese Sorge nicht ganz unberechtigt war, belegt beispielsweise ein Epigramm von Martial. Es beschreibt, wie die zuvor treue und keusche Laevina in Baiae besagter Freizügigkeit verfällt und den Badeort alles andere als treu und keusch verlässt, vgl. Mart. 1, 62.

9 Allen 2009, 169 f.

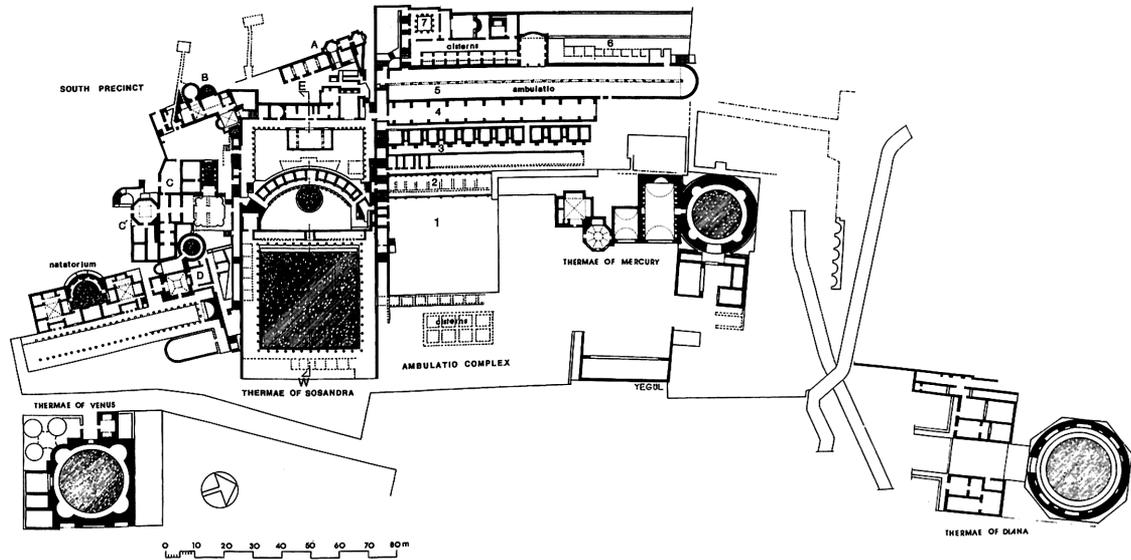


Abb. 3: Baiae, Übersichtsplan über die Baustrukturen im Archäologischen Park.

In dem Bewusstsein um die enorme Bedeutung des Küstenstreifens wurde hier bereits in der Mitte des 20. Jahrhunderts ein großes Areal freigelegt und als Archäologischer Park zugänglich gemacht (Abb. 2)¹⁰. Daneben gibt es einen Unterwasserarchäologischer Park mit Überresten antiker Bauten, die aufgrund des Bradyseismus heute unterhalb des Meeres liegen (Abb. 3)¹¹. Zwar gibt es eine Fülle an Literatur zu Baiae¹², doch trotz der forschungsgeschichtlichen Bedeutung des Küstenstreifens und der beeindruckenden archäologischen Zeugnisse fehlt bis heute eine zusammenfassende Untersuchung Baias¹³. Im Rahmen seiner Dissertation hat sich Matthias Nieberle diesem Desiderat angenommen¹⁴. Allerdings zeigten schon die ersten Unter-

suchungen zwischen 2013 und 2014 innerhalb des Archäologischen Parks von Baiae, dass wichtige Grundlagen nicht mehr zeitgemäß sind¹⁵. Die bis dato vorhandenen zweidimensionalen Grundriss- und Aufrisspläne können die sehr komplexen Baustrukturen nur bedingt veranschaulichen und sind – ihrer Entstehungszeit geschuldet – nicht hundertprozentig präzise¹⁶. Zudem existieren bislang nur drei vertikale Schnitte durch die unübersichtliche Terrassenlandschaft¹⁷. Hinzu kommen Freiflächen im Parkareal, die bisher ein großes Interpretationsspektrum erlauben. Des Weiteren sind keine stratigraphischen Grabungen innerhalb des Parkareals dokumentiert, so dass die Datierung der Strukturen bis heute nur relativ-chronologisch erfolgen kann.

10 Nenci – Vallet 1984, 373 f.

11 Unter Bradyseismus versteht man das azyklische Heben und Senken der Küste. Dieses seltene Phänomen ist ebenfalls eine Folge der aktiven Magmakammer unterhalb der Phlegräischen Felder und am Golf von Neapel, vgl. Döring 2012, 30–36; Nenci – Vallet 1984, 368.

12 Vgl. beispielsweise in jüngerer Zeit: Amalfitano u. a. 1990; Yegül 1996; Di Luca 2009 zu den Strukturen im Archäologischen Park; Di Fraia 1993; Scognamiglio 2002 und zuletzt Avilia – Caputo 2015 zu den Unterwasserarchäologischen Strukturen.

13 Dies bemängelt z. B. auch M. Döring, s. Döring 2012, 116.

14 Der Arbeitstitel des Dissertationsprojektes lautet: Baiae. Genese, Nutzung und Funktion eines römischen Heilba-

deortes und Kurzentrums, vgl. <<http://archaeologie.uni-koeln.de/node/686>> (14.07.2017).

15 Nieberle 2016, 206 f.

16 Vgl. Pläne in Borriello – D’Ambrosio 1970 und in Amalfitano u. a. 1990. Ein besonderer Dank gilt an dieser Stelle Herrn Alfonso Galluccio und den Kolleginnen und Kollegen des Archivio di Disegno und der Soprintendenza per i Beni Archeologici di Napoli, die die komplette zeichnerische Dokumentation – einschließlich teilweise unpublizierten Materials – zum Archäologischen Park von Baiae, soweit sie im Archiv vorhanden war, ohne Einschränkung zur Einsicht und auch zur Digitalisierung zur Verfügung gestellt haben.

17 Vgl. Borriello – D’Ambrosio 1970, Taf. IV. V. VII.

Aufgrund dieser genannten Missstände organisierte Herr Nieberle Ende August 2014 eine erste geophysikalische Prospektionskampagne durch ein Freiwilligen-Team¹⁸ der Gruppe ‚Archaeo-Geophysik‘ der Universität zu Köln und Anfang September des gleichen Jahres eine Vermessungskampagne mittels 3D-Laserscanner, die von Dipl.-Ing. Sabrina Geiermann durchgeführt wurde¹⁹. Bereits bei dieser ersten Vermessung zeigte sich, dass die bisherigen Planunterlagen nicht mit den neu vermessenen Bereichen übereinstimmen. Diese Abweichung war bei der Betrachtung begrenzter Abschnitte, wie beispielsweise der ‚Räume der Venus‘²⁰, noch gering. Sobald jedoch größere Areale verglichen wurden, wie etwa der Nachbar-komplex nach Norden, in diesem Fall die ‚Villa der Sosandra‘²¹, wurde die Differenz sehr deutlich und lag im hohen Dezimeterbereich. Aus diesem Grund und weil einige Bereiche des Parks noch gar nicht vermessen sind, war den Beteiligten rasch klar, dass eine gänzlich neue Vermessung der Baustrukturen des Archäologischen Parks angestrebt werden sollte. Um die komplexe Struktur der ineinander verschachtelten und teilweise tief in den natürlichen Hang gegrabenen Terrassen vollständig, möglichst kostengünstig und innerhalb kurzer Zeit äußerst präzise erfassen zu können, kam dafür im Grunde nur die berührungslose Vermessung mittels 3D-Laserscanner in Frage.

Aufgrund dieser Vorarbeiten wurde ein Forschungsprojekt initiiert, das neben weiteren Prospektionen die Vermessung der kompletten Baustrukturen innerhalb des Archäologischen Parks mittels 3D-Laserscanner und auch die nötigen stratigraphischen Sondagen zur Klärung chronologischer Unklarheiten im Parkareal als Ziel hat²².

Im weiteren Verlauf werden nun die bis September 2016 durchgeführten Forschungsarbeiten geschildert. Es folgt ein kurzer Überblick über die geophysikalische Prospektion und ihre Resultate. Im Anschluss wird die Vermessungskampagne 2016 beschrieben, bevor abschließend einige Ergebnisse und Möglichkeiten dieser neuen Vermessung präsentiert werden²³.

M. Nieberle

Geophysikalische Prospektion

Die erste geophysikalische Messkampagne wurde, wie schon erwähnt, im August 2014 durchgeführt. Zum Einsatz kamen dabei zunächst alle dem Archäologischen Institut zur Verfügung stehenden Messmethoden²⁴. Schon bei der Auswertung der ersten Geomagnetik-Messungen wurde klar, dass sich diese Methode innerhalb des Archäologischen Parks von Baiae nicht wirklich eignet, da die zur Verfügung stehenden Flächen zu kleinteilig und zudem stark mit störenden Elementen durchsetzt sind. Umso erfreulicher war der Umstand, dass

18 Für Herrn Nieberle fielen bei der Prospektion keinerlei Kosten an. Ein besonderer Dank gilt deshalb dem Archäologischen Institut der Universität zu Köln in Person von Herrn Prof. Dr. Michael Heinzlmann und selbstverständlich allen freiwilligen Helfern vor Ort: Manuela Broisch, M.A. (Leitung), Ann-Kathrin Ruland, Dr. Jennifer Schamper, Arne Schröder und Janine Seidel M.A. An dieser Stelle nochmals ein herzliches Dankeschön.

19 Ein herzlicher Dank an dieser Stelle an Sabrina Geiermann, da ohne ihren freiwilligen Einsatz diese Vermessung und die anschließende Auswertung nicht realisierbar gewesen wären. Ein weiterer Dank gilt dem Institut für Baugeschichte und Denkmalpflege in Person von Herrn Prof. Dr. Norbert Schöndeling für die Bereitstellung des Laserscanners.

20 Vgl. **Abb. 7**, Sektor L.

21 Vgl. **Abb. 7**, Sektor H.

22 Der Forschungsantrag wurde von Prof. Dr. Michael Heinzlmann bei der Thyssen-Stiftung eingereicht und auch genehmigt. Die nötigen Vermessungsarbeiten sollten durch eine bereits bewährte Kooperation mit der TH Köln

vom dort ansässigen Institut für Baugeschichte und Denkmalpflege sowie dem Institut für Baubetrieb und Vermessung durchgeführt werden. Zunächst war für September 2016 eine Grabungs- und Vermessungskampagne geplant. Weil jedoch die Grabungserlaubnis für 2016 nicht mehr rechtzeitig eingereicht werden konnte – ein Grabungsprojekt in Italien muss immer ein Jahr im Voraus beantragt werden, war der Vorlauf für einen rechtzeitigen Antrag durch den späten Bescheid der Thyssen Stiftung bereits nicht mehr möglich – entschied man sich, das Projekt in zwei Kampagnen zu bewerkstelligen.

23 Es ist ein zweiter Artikel in KuBA 2017 vorgesehen, in dem die - hoffentlich aussagekräftigen - Ergebnisse der geplanten Grabungskampagne (vom 14.03.–14.04.2017) zur Klärung chronologischer Fragen vorgestellt werden.

24 Das Archäologische Institut der Universität zu Köln besitzt ein Caesium-Magnetometer G858 mit vier Caesium Sensoren, ein elektrisches Widerstandsmessgerät Geoscan RM15 mit Multiplexer und ein Bodenradar GSSI SIR System-3000 mit einer 200 und einer 400 MHz Antenne.

sowohl Geoelektrik als auch Georadar archäologisch auswertbare Ergebnisse lieferten. Durch den Entschluss, auch in Räumlichkeiten mit intaktem Fußboden zu arbeiten und weil die Auswertung der Geoelektrik keine abweichenden Informationen bot, entschied man sich, die Arbeiten allein mit dem Georadar fortzusetzen. Hierbei kam je nach Feldgröße oder Räumlichkeit die kleine 400 MHz Antenne oder die große 200 MHz Antenne mit einem GSSI SIR System-3000 zum Einsatz²⁵. Insgesamt konnten in dieser ersten Kampagne drei verschiedene Bereiche gemessen werden, wobei die Erkenntnisse im Einzelnen sehr aufschlussreich sind. Zum einen konnte festgestellt werden, dass bei den untersten begehbaren Bereichen nach einer Eindringtiefe von etwa 2 m die Auswertungsergebnisse keine Strukturen mehr erkennen lassen. Dies hängt sehr wahrscheinlich mit dem Grundwasserspiegel zusammen. Entsprechend können nur Strukturen bis zu dieser Eindringtiefe analysiert werden. In allen gemessenen Bereichen konnten Mauerstrukturen festgestellt werden. Am interessantesten ist sicherlich der Befund im untersten Bereich der ‚Villa der Sosandra‘. Hier können markante Anomalien als Mauern von Räumlichkeiten interpretiert werden. Möglicherweise handelt es sich bei einer geradlinig von West nach Ost verlaufenden Struktur um einen Kanal. Es gibt jedoch keine Hinweise auf eine *piscina*, die dort bislang stets postuliert wurde (Abb. 4, rot umrandeter Bereich). Freilich ist wegen der „geringen“ Eindringtiefe denkbar, dass sich die Überreste des Beckens schlicht nicht abzeichnen, es ist jedoch aufgrund anderer Indizien fraglich, ob sich in diesem untersten Bereich jemals ein Becken befunden hat, das als *piscina* bezeichnet werden könnte²⁶. Daneben konnte ein Vorgängerbau des ‚hadria-

nischen *natatoriums*‘ genauer untersucht werden. Reste dieses Baus sind zwar im untersten Bereich der Gebäudefassade als Baustruktur aus *opus quasi reticulatum* noch bis zu einer Höhe von etwa 0,3 m über dem heutigen Laufniveau sichtbar²⁷. Bislang konnte man jedoch zum Vorgängerbau nur sagen, dass er existiert haben muss. Dank der Messungen können jetzt sogar Binnenstrukturen in diesem Abschnitt in Pläne eingetragen werden (Abb. 4, schwarz umrandeter Bereich).

Die zweite geophysikalische Prospektion in Baiae fand in der letzten Woche der im Anschluss beschriebenen Vermessungskampagne vom September 2016 durch die erneute Bereitschaft von Manuela Broisch, M.A. und Arne Schröder statt²⁸, wobei weitere Freiflächen innerhalb des Parkgeländes mit dem Georadar untersucht wurden. Auch dieses Mal zeichnen sich die Mauerbefunde deutlich ab²⁹, wie beispielsweise ein unterirdisches Tonnengewölbe unter der obersten Terrasse der ‚Villa der Sosandra‘³⁰. Zudem konnten freie Bereiche im Umfeld des ‚Tempels des Merkur‘ prospektiert werden. In diesem Artikel ist es nicht möglich, alle Resultate im Detail zu besprechen (Abb. 5). Eine wichtige Information für die neue und alle künftigen Untersuchungen der Gebäudekomplexe innerhalb des Archäologischen Parks ist sicherlich der Nachweis von nicht oberirdisch sichtbaren Mauerstrukturen und ihres Verlaufs. Hieraus ergeben sich neue Erkenntnisse zur Bebauung innerhalb des Parkareales. Dementsprechend können zuvor nicht bekannte Raumgruppen neu in den Planbestand aufgenommen und eventuelle Sondierungsschnitte oder auch Restaurierungs-/Erschließungsmaßnahmen präziser geplant werden.

M. Broisch – M. Nieberle

25 Zur Funktion der geophysikalischen Prospektionsmethoden insbesondere des Georadars vgl. von Rummel – Broisch – Schöne 2013, 207–209; Leckebusch 2001, 11–14.

26 Laut M. Nieberle ist aufgrund einer vorsichtigen Rekonstruktion der Raumstrukturen auf dieser untersten Ebene im Grunde kein Platz für ein großes Becken, wie es beispielsweise in der Villa A von Oplontis vorkommt.

27 Besagter Vorgängerbau wurde vermutlich bis auf diese Höhe einheitlich abgetragen, um darüber das heute sichtbare Gebäude aus *opus mixtum* (*opus reticulatum* und *opus latericium*) zu errichten.

28 Beiden sei an dieser Stelle nochmals herzlich gedankt.

29 Es gilt allerdings dieselbe Einschränkung bei der Prospektion der untersten Bereiche des Archäologischen Parks mittels Bodenradar. Auch dieses Mal sind nur Ergebnisse bis in eine Tiefe von 2 m erkennbar.

30 Der unterirdische Raum ist bekannt, es war allerdings nicht klar, wie und ob sich dieser Raum bei der Prospektion abzeichnen würde. Außerdem ist nun eine Tiefenbestimmung möglich.



Abb. 4: Baiae, Ergebnisse der Georadarmessung 2014, vermuteten Mauerstrukturen (cyan) und Kanal? (blau), Tiefe ca. 1,5 m.

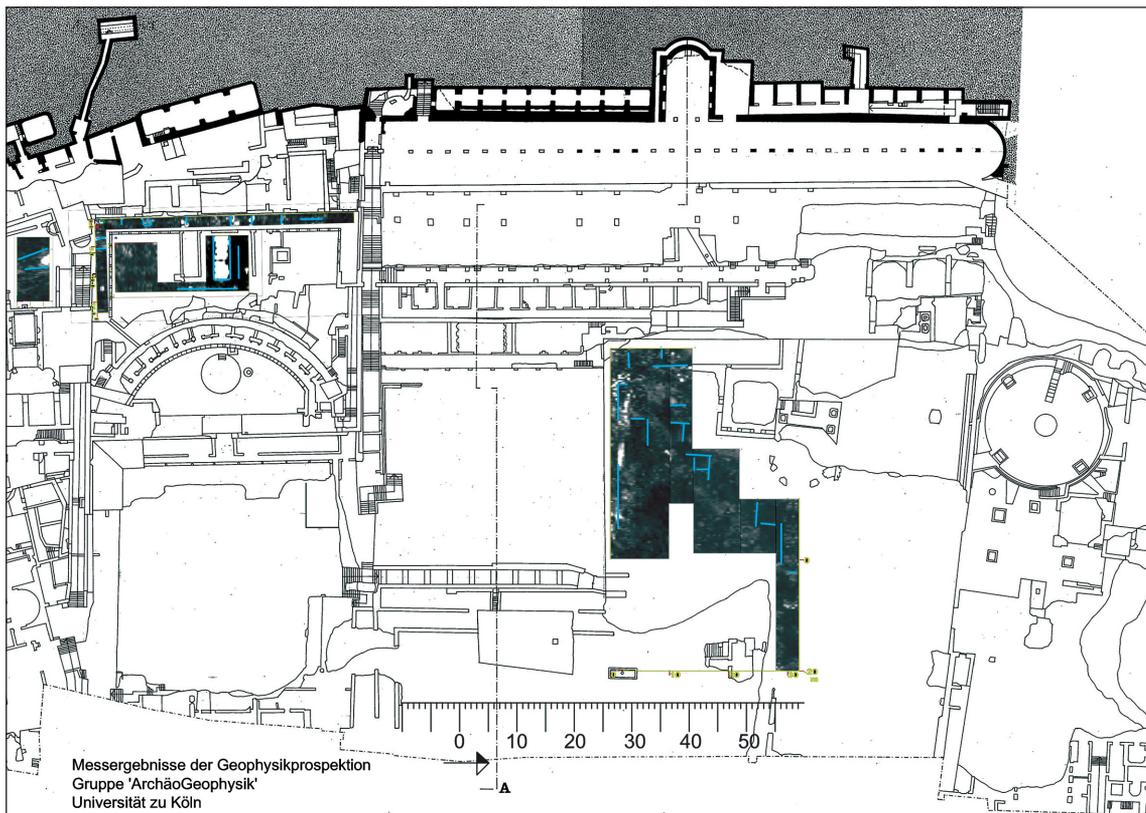


Abb. 5: Baiae, Ergebnisse der Georadarmessung 2015 mit vermuteten Mauerstrukturen (cyan) – Tiefe ca. 1,5 m.

Die Neu-Vermessung der Baustrukturen des Archäologischen Parks von Baiae

Im Jahr 2016 konnte noch keine Grabung durchgeführt werden, weshalb sich die Arbeiten auf die Vermessung konzentrierten. Damit diese möglichst rasch und bestmöglich durchgeführt werden konnte, waren neben Dipl.-Ing. Sabrina Geiermann³¹ und Dipl.-Ing. Jost Broser³², die beide den Vermessungsworkshop (s. u.) leiteten, außerdem noch Dipl.-Ing. Tobias Höller³³ und Dipl.-Ing. Erik Büttner³⁴ beteiligt.

Eingesetzte Techniken und Methoden

Folgende Techniken und Methoden kamen bei der Neuvermessung des Archäologischen Parks von Baiae zum Einsatz: GNSS-Vermessung³⁵, Tachy-

Instrument	Festpunkt/Targets	Standpunkt
GNSS	11-18 (19-20)	
Tachymeter	101-900 über Messpunkt T Vorzeichen bei temporären Targets. Messpunkte: 2100 – Gruppe 1 2200 – Gruppe 2 2300 – Gruppe 3 2400 – Gruppe 4 2500 – Gruppe 5 Bei temporärer Punkte	Ab 901 für freie Stationierung
Scanner TH	1001-1300 Targets	1001-5000
Scanner scandric	1001-1300 Targets	5001-9999

Abb. 6: Hierarchie der Messpunkte und der jeweiligen Messmethode.

- 31 Frau Geiermann ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Archäologischen Institut der Universität zu Köln. Sie ist verantwortlich für die Planung und Umsetzung der 3D-Vermessung des Archäologischen Parks.
- 32 Herr Broser ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baugeschichte und Denkmalpflege an der Fakultät für Architektur an der Technischen Hochschule Köln. Von Seiten der TH Köln ist Herr Broser zuständig für die 3D-Vermessung des Parks.
- 33 Herr Höller ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baubetrieb und Vermessung an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Umwelttechnik der Technischen Hochschule Köln. Höller war zuständig für das übergeordnete Festpunktfeld, welches mittels GNSS und Tachymetermessungen erstellt wurde. Dieses Lage- und Höhenetz bildet die Grundlage aller anschließenden Vermessungen. Auch Herr Höller arbeitet freiwillig für das Projekt, weshalb ihm an dieser Stelle erneut herzlich gedankt wird.
- 34 Herr Büttner ist Inhaber der Firma scandric I 3D SOLUTIONS, unterstützte die Vermessung mit einem zweiten, baugleichen Instrument und stand als Vermessungsingenieur für alle Fragen bezüglich 3D-Laserscantechnik zur Verfügung. Ohne den freiwilligen Einsatz von Herrn Büttner wäre die Vermessung heute nicht so weit fortgeschritten, daher auch ihm nochmals herzlichen Dank.
- 35 Zum Einsatz kamen drei GNSS-Receiver von Trimble. Diese Zweifrequenz-Empfänger registrieren sowohl die Satellitensignale der amerikanischen GPS- als auch der russischen GLONASS-Satelliten. Durch zeitgleiche Beobachtung zweier Messpunkte über einen Zeitraum von 30 Minuten werden ausreichend viele Messdaten gespeichert, um die sogenannte Basislinie im Millimeterbereich zu berechnen. Die Basislinie entspricht dem dreidimensionalen Raumvektor zwischen den beiden beobachteten Punkten im geozentrischen Koordinatensystem.
- 36 Im Rahmen des Vermessungsworkshops konnten die Studierenden u.a. die Messbildentzerrung kennenlernen. Dafür setzten wir die Software PhoToPlan der Firma Faro (früher Kubit) ein. Für die Fotoentzerrung nach Passpunkten muss eine Referenzinformation aus mindestens

metrische Polaraufnahme, Photogrammetrie³⁶, 3D-Laserscanner³⁷ und SFM – Structure from Motion³⁸.

- vier Passpunkten vorliegen. Diese müssen in einer Entzerrungsebene liegen und können tachymetrisch erhoben oder direkt aus der PW abgegriffen werden. Nachdem jedem gemessenen Punkt ein Bildpunkt zugewiesen wurde, berechnet das Programm ein entzerrungsfreies Bild. Dadurch können alle Maße, die sich auf der Entzerrungsebene befinden, maßstabsgetreu abgegriffen und weiter verarbeitet werden (vgl. Kubit GmbH 2011, 13).
- 37 Bei den eingesetzten Laserscannern handelt es sich um den Imager 5010c der Firma Zoller und Fröhlich. Bei dem Messverfahren dieses Laserscanners werden in regelmäßigen Abständen 360° um den Scanner herum Messpunkte aufgenommen. Über Winkel und Streckmessung werden dreidimensionale Koordinaten erzeugt. Die Zusammensetzung dieser Millionen Einzelmessungen nennt man Punktwolke (PW). Die Messdichte ist abhängig von der Entfernung zum Objekt und kann individuell eingestellt werden. Jeder Messpunkt weist zusätzlich zu seinen x,y,z-Koordinaten einen Reflexionswert auf, welche sich später in der Intensitätsdarstellung wiederfindet. Der Imager 5010c ist zusätzlich mit einer integrierten HDR Kamera ausgestattet. Diese nimmt im Anschluss der Vermessung ein aus 42 Einzelbildern bestehendes 360°Panoramabild auf, wodurch die Punktwolke in einem weiteren Prozess automatisiert eingefärbt wird (vgl. Fröhlich 2015, 13–30).
- 38 Bei dem Structure from Motion (SFM) Verfahren – auch Mehrbild-Photogrammetrie genannt – werden anhand übereinstimmender Charakteristika in Bildern geometrische Strukturen gebildet. Dafür können nicht-kalibrierte Kameras und Automatismen verwendet werden. Die Objektgeometrie stellt sich nach einer Abfolge an Arbeitsschritten als PW dar. Die Bearbeitungsschritte sind: Merkmalsextraktion – Korrespondenzzuordnung – Triangulation. Die Studierenden haben sich mit dem Programm Photoscan von Agisoft auseinandergesetzt. Die Punktwolke, die noch ohne definierten Maßstab vorliegt, kann durch das Setzen von Markern und der damit verbundenen Zuweisung von Koordinaten auf einen Maßstab gebracht werden (Pomaska 2016, 135 f. 146–148).

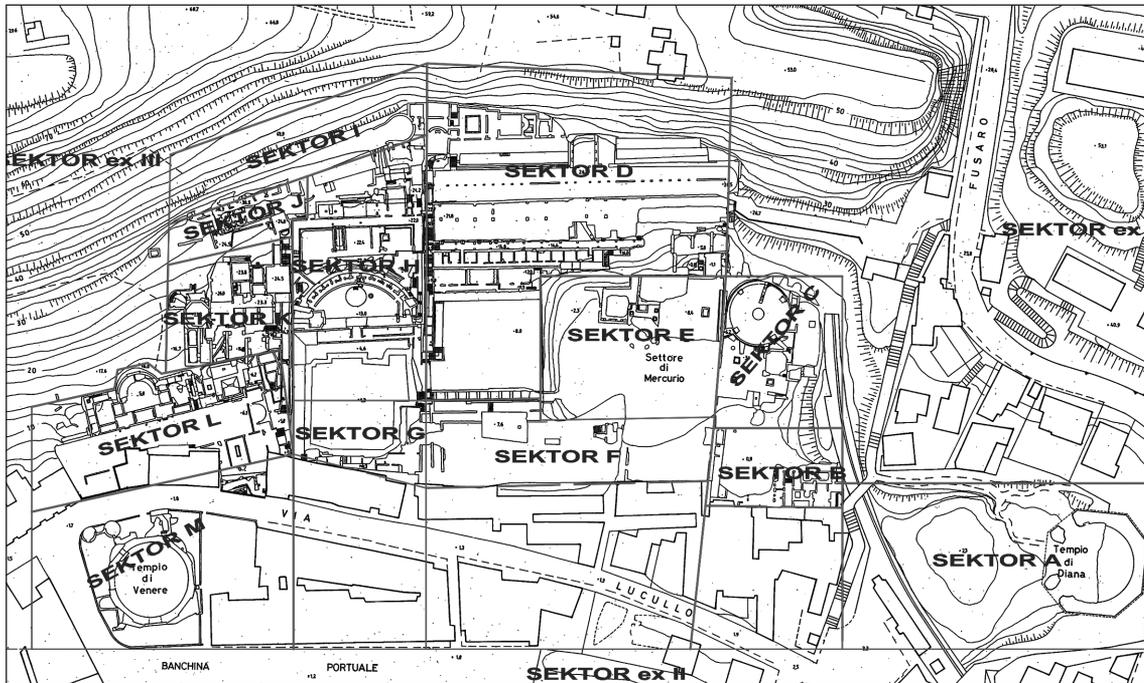


Abb. 7: Baiae, Einteilung des Parkgeländes in Sektoren.

Aufbau der Vermessungskampagne

Im Vorfeld der Vermessungskampagne wurde eine Rangfolge für die verschiedenen Vermessungsarten festgehalten. Ziel war es, eine Datenstruktur zu entwickeln, die dem Betrachter direkt aufzeigt, welche Bedeutung der jeweilige Messpunkt in der Hierarchie der Vermessung hat und welche Messmethode eingesetzt wurde (Abb. 6).

Da zeitweise mit zwei baugleichen Scannern gearbeitet wurde, empfahl es sich, das große Areal in kleinere Bereiche aufzuteilen. Dafür wurden die von Herrn Nieberle festgelegte Aufteilung in Sektoren (Abb. 7) und seine Definition der Ebenen genutzt³⁹. Daraus resultierend entstand eine Bezeichnung für die einzelnen Projektabschnitte: Sektor Ebene_Anzahl des Standpunktes. Beispiel: A_0_10, A_0_11, oder beim Ebenen-Wechsel A_1_10, A_1_11.

Grundlagenarbeiten

Vor Beginn der Vermessung mittels 3D-Laserscanner wurde vom 29.08.–02.09.2016 mittels GNSS-Messungen ein Festpunktnetz errichtet. Acht Festpunkte (Pktnr.⁴⁰ 11–18) bildeten das Grundgerüst.

(Abb. 8). Die Verdichtung des Netzes erfolgte mittels tachymetrischer Polaraufnahme (Pktnr. 100–140). Im Laufe der Vermessungsarbeiten wurde das Festpunktfeld kontinuierlich weiter verdichtet. Heute liegt für den Archäologischen Park ein ausgeglichenes UTM Festpunktnetz vor, welches für alle folgenden Dokumentationsverfahren als Grundlage dienen wird⁴¹.

Der Vermessungsworkshop

Parallel zur 3D-Vermessung wurde vom 05.09.–18.09.2016 ein Vermessungsworkshop für die Studierenden des Archäologischen Instituts der Universität zu Köln und für Studierende der Architektur der Technischen Hochschule Köln aus-

39 Die unterste begehbare Ebene entspricht dabei der Ebene 0. Die Raum- und Mauerbezeichnung von Herrn Nieberle wurde nicht berücksichtigt. Sie wurde allerdings bei der Erstellung eines Raumbuches im Rahmen des Workshops von den Studenten aufgegriffen.

40 Pktnr.: Punktnummer

41 An dieser Stelle auch einen besonderen Dank an Herrn Prof. Dr.-Ing. Sauer mann, ohne dessen freundliche Unterstützung und Bereitstellung von Vermessungsinstrumenten vieles nicht realisierbar gewesen wäre.

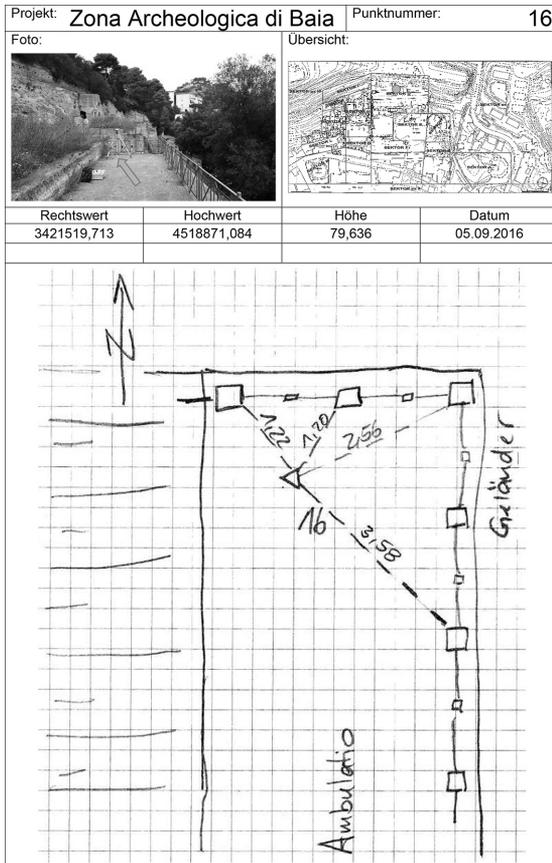


Abb. 8: Ausschnitt aus dem Feldbuch.



Abb. 9: Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Vermessungsworkshops.

gerichtet (Abb. 9)⁴². Hierfür wurde ein Bereich, Sektor B, des Archäologischen Parks ausgewählt. Dieser wurde wiederum in fünf Abschnitte aufgeteilt, denen jeweils ein Team, bestehend aus einem Studenten der Archäologie und einem Studenten der Architektur, zugewiesen wurden. Ziel war es, nicht nur den Umgang mit verschiedensten Vermessungsinstrumenten und Methoden am Objekt kennenzulernen und die Abschnitte bestmöglich zu dokumentieren, sondern auch einen verwandten Fachbereich kennen- und besser verstehen zu lernen. Darüber hinaus sollte ein gemeinsamer Grundrissplan für den gesamten Bereich entwickelt werden. Hier bestand die Herausforderung darin, dass Ebene 0 und Ebene 1 geschossübergreifend zueinander passen mussten.

Unterschiedliche Ansätze zeigten sich bereits zu Beginn bei der Herangehensweise der Studierenden. So ist in der Architektur in der Regel eine „Baufaufnahme“ in erster Linie eine Aufnahme des Bestandes, wohingegen in der Archäologie zu einer Bestandserfassung schon eine weiterreichende Analyse der Bauphasen gehört. Schnell wurde klar, dass die jeweiligen Stärken gut kombinierbar waren. So erarbeitet die Architekten primär die Zusammenstellung der Grundrisse und die Archäologen nutzen ihr Wissen über Bauphasen, um direkt erkennbare Zusammenhänge unabhängig von ihrem jeweiligen Bereich zu dokumentieren. Im Laufe des zweiwöchigen Workshops lernten sich die beiden Fachbereiche besser kennen und es entstanden interessante Diskussionen. Konkrete Ergebnisse des Workshops sind unter anderem Messbildverzerrungen (Abb. 10) oder die Erstellung eines primär für Baiae entwickelten Raumbuches (Abb. 11).

In Bezug auf den Vermessungsworkshop ist zu sagen, dass die zusammengetragenen Arbeiten von hoher Qualität sind und die Zusammenarbeit der Fachbereiche für alle Beteiligten eine Bereiche-

42 Studentische Teilnehmer am Workshop: M. Apatsidis (AI UzK), A. Badic (TH Köln), T. Dujmovic (AI UzK), D. Hahn (TH Köln), F. Hartfiel (TH Köln), C. Kost (TH Köln), J. Opreé (TH Köln), C. Schöne (AI UzK), A. Schröder (AI UzK), K. Zerzeropoulos (AI UzK). Allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern an dieser Stelle nochmals ein herzliches Dankeschön für ihren Einsatz und ihre tolle Arbeit.

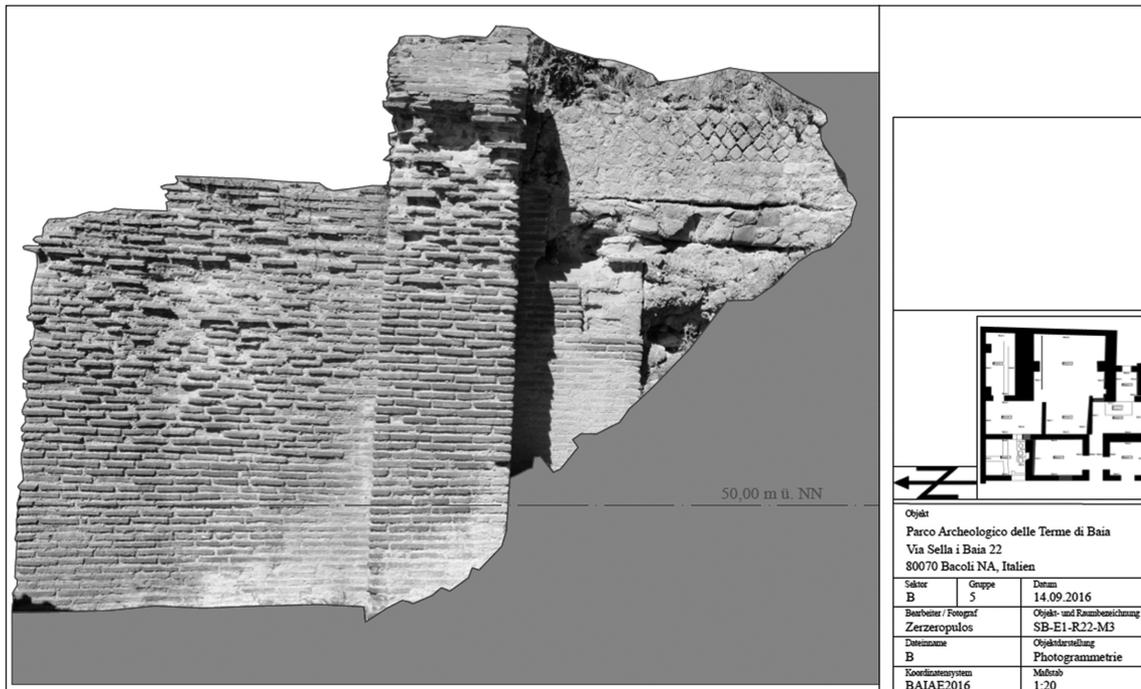


Abb. 10: Beispiel einer Messbildentzerrung im Untersuchungsareal Sektor B.

rung war⁴³. Am Ende des Workshops wurde Sektor B ebenfalls mit dem Laserscanner vermessen. Der Vergleich der Punktwolke des Laserscanners mit der Messung der Studierenden zeigt einige Unterschiede. Es wird auch in diesem Fall noch einmal deutlich, wie wichtig eine dreidimensionale Vermessung mittels Laserscanner bei heterogener und komplizierter Struktur ist (Abb. 12).

Die Vermessung mittels Laserscanner

Die komplexe Struktur der Anlage bedurfte einer genauen Vorplanung der Vermessung. Nicht nur die für die Registrierung benötigten drei Ebenen (X, Y, Z) stellten eine Herausforderung dar, sondern auch die zum Teil sehr hoch gewachsene Vegetation bereitete Probleme. So wurden zu Beginn der Messkampagne die Sektoren vermessen, die nicht oder nur in geringem Ausmaß von Überwucherung durch Gräser betroffen waren. Gleichzeitig begannen Rodungsarbeiten in den betroffenen

Bereichen⁴⁴. Diese Arbeitsaufteilung blieb bis zum Ende der vierwöchigen Vermessung bestehen.

Allgemein wurde eine weitestgehend targetlose Registrierung der einzelnen Vermessungsstandpunkte des Laserscanners angestrebt. Die schwarzweißen Zielmarken wurden nur in äußerst komplizierten Bereichen eingesetzt, in denen sich keine drei übereinstimmenden Ebenen mit einem anderen Standpunkt ergaben und die 30 %-Überlappung nicht gewährleistet war. Targets wurden darüber hinaus in jedem Sektor benötigt, um die Punktwolke mit dem übergeordneten Festpunktnetz zu verbinden. Wenn es keine Möglichkeit gab, die Vermessung in einer zusammenhängenden Messabfolge durchzuführen, empfahl es sich, die Messung mindestens an zwei Orten erneut mit dem Festpunktnetz zu verknüpfen. Zum Ende der Kampagne 2016 konnten von den insgesamt 13 Sektoren des Archäologischen Parks sechs vollständig und zwei zu großen Teilen gemessen werden (Abb. 13).

43 Das Feedback war durchweg positiv, weshalb ein ähnlicher interdisziplinärer Vermessungsworkshop zu empfehlen ist.

44 Ein großer Dank gilt den teilnehmenden Studierenden, die den größten Teil dieser Arbeiten ausführten und auch den Gärtnern von ALES – Arte Lavora e Servizi spa.

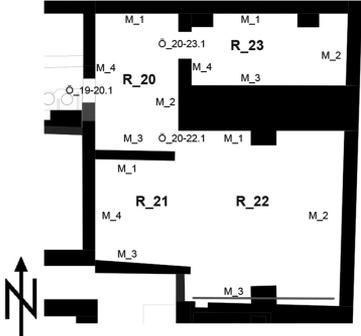
Raumbuch			
	Objekt Parco Archeologico delle Terme di Baia Via Sella di Baia 22 80070 Bacoli NA, Italien		
	Sektor B	Gruppe 5	Datum 13.09.2016
	Bearbeiter/ Fotograf Kost/ Zerzeropulos		Objekt- und Raumbezeichnung SB-E1-R22-M3
	Datei- und Bildname DSC_0433.jpg, DSC_0434.jpg		Objektdarstellung Fotografie
	SE/ USM 5008; 5009; 5010; 5011; 5012; 5013; 5014; 5015; 5016		Laufniveau nicht erfasst
			
Kurzbeschreibung des Raumes/ Boden- Deckenbeschreibung Raum grenzt im Westen zu Raum 19 durch Öffnung Ö_19-20.1 an, im Osten durch den Durchbruch Ö_20-23.1 zu Raum 23 und führt in der Ostwand im Übergangsbereich von der der Ost- zur Südwand zu Raum 22 durch Ö_20-22.1. Laufniveau nicht erfasst, Decke nicht vorhanden.			
Mauerkurzbeschreibung Mehrgliedrige Wand. Von links nach rechts bestehend aus opus quadratum, darauf aufbauend opus listatum. Nach rechts eingebundener Pfeiler (opus testiceum) bis Baufuge. Dann weiter Ziegelmauerwerk mit quadratischer Loch Aussparung in Höhe von zwei Ziegelschichten und kleiner Nische.			

Abb. 11: Beispielseite Raumbuch Bereiche I und II.

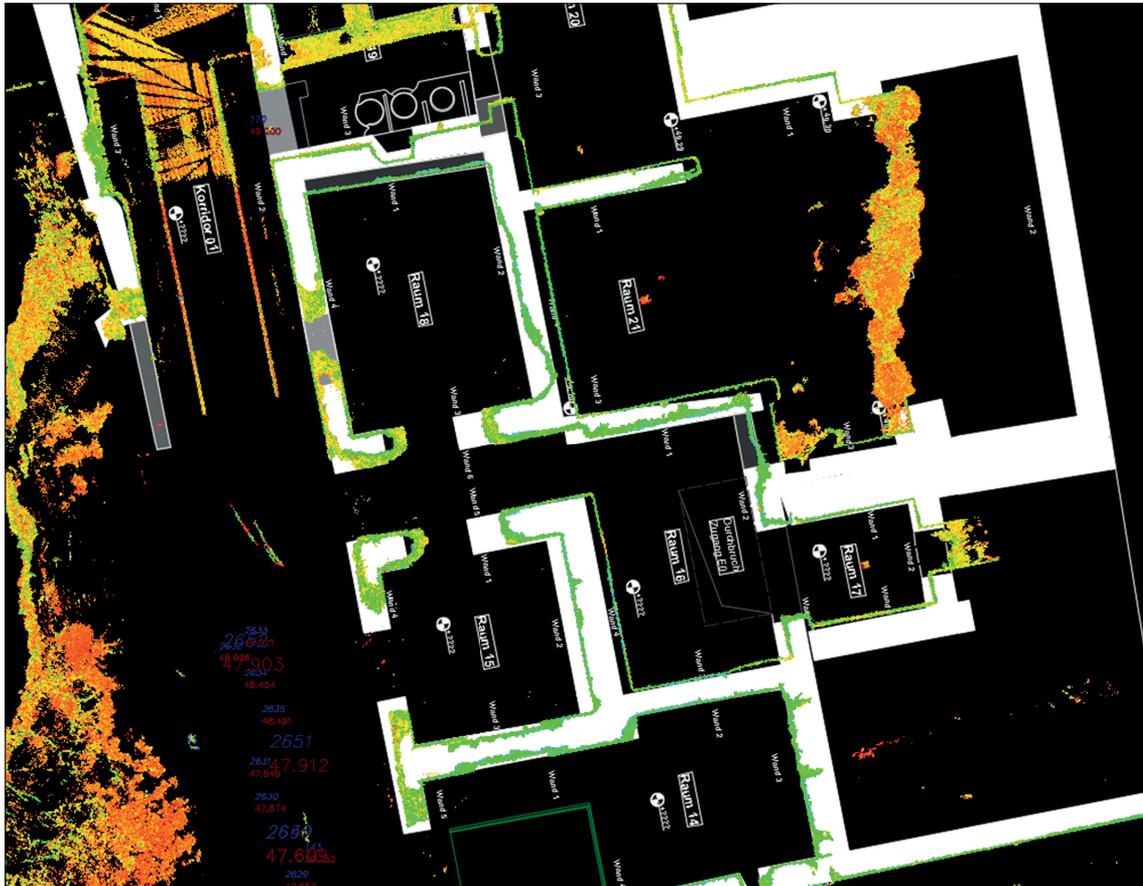


Abb. 12: Baiae, Vergleich der händisch erstellten Plangrundlage mit der Punktwolke (grün), Ausschnitt von Sektor B.

Die erste Prozessierung der Messdaten erfolgte noch vor Ort. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass alle Bereiche auch vollständig aufgenommen waren und eventuell fehlende Standpunkte noch hätten nachgemessen werden können. Zur Registrierung der Daten wurden die Programme Lasercontrol⁴⁵ und Plane2Plane⁴⁶ verwendet. Bei der endgültigen Referenzierung der gemessenen Daten wurden die einzelnen Sektoren mit Hilfe des Festpunktnetzes zu einer Punktwolke zusammengesetzt. Insgesamt wurden (inkl. der Daten aus dem Jahr 2014) knapp 800 Scanner-Standpunkte gemessen. Derzeit liegt eine kolorierte und registrierte Punktwolke in Cyclone⁴⁷ von knapp 300 GB vor. Einige Möglichkeiten und Resultate, die sich

aus dieser neuen Vermessung ergeben, sollen im Folgenden exemplarisch an einem äußerst imposanten Gebäude, nämlich dem ‚Merkur-Tempel‘ veranschaulicht werden.

S. Geiermann

Auswertungsmöglichkeiten der dreidimensionalen Vermessung am Beispiel des ‚Merkur-Tempels‘

Bei diesem ältesten bislang bekannten, monumentalen Kuppelbau aus römischer Zeit handelt es sich nicht um einen Tempel, sondern um den Bestandteil einer luxuriösen Thermenanlage. Angestrebt war auch in diesem Fall eine möglichst vollständige Bestandserfassung mittels 3D-Laserscanning.

45 Software Lasercontrol, Fa. Zöllner & Fröhlich, Wangen im Allgäu.

46 Software Scantra, Fa. technet GmbH, Berlin.

47 Software Cyclone. Leica Geosystem, München.

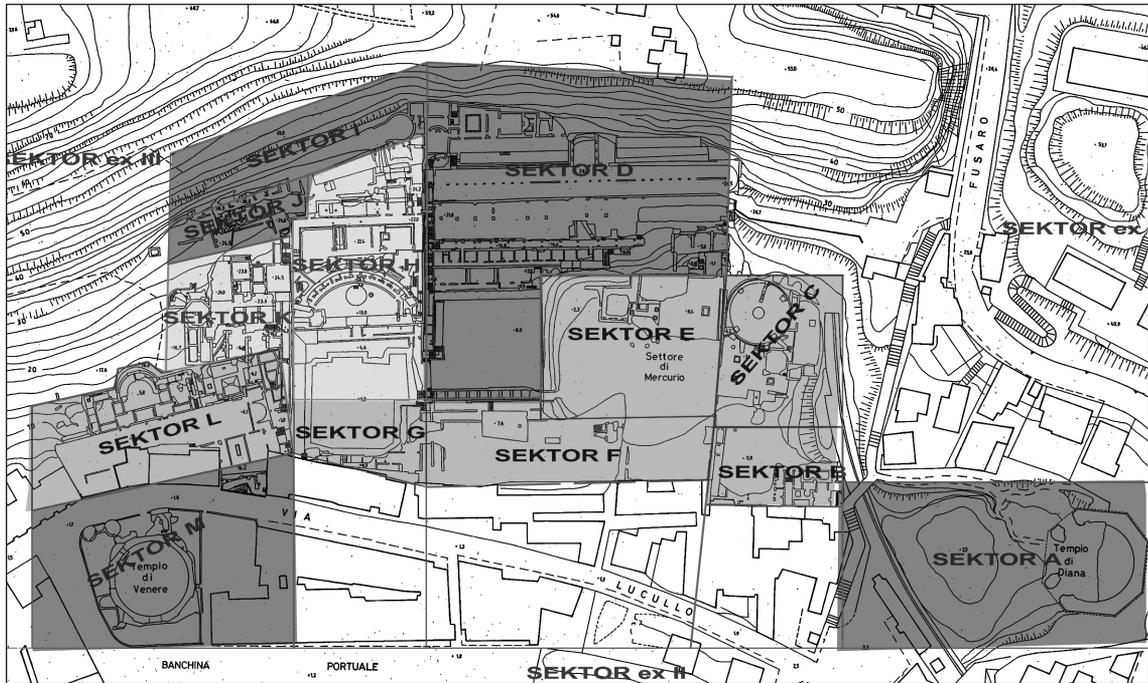


Abb. 13: Baiae, Übersicht über die Vermessung 2016. Bereits aufgenommene Sektoren sind mittelgrau unterlegt, hellgrau sind zum Teil vermessen und dunkelgrau noch nicht erfasst.

Für den Kuppelbau waren drei Scans im Innen- und fünfzehn für den Außenbereich nötig (Abb. 14).

Die geringe Zahl der Innen-Scans ergibt sich aus der erschwerten Zugänglichkeit dieses Bereiches, denn der Scanner konnte nur auf einer über einen Steg erreichbaren „Insel“ aus in früheren Zeiten angesammeltem Schutt im südlichen Bereich positioniert werden. Der restliche Teil des Innenraums steht unter Wasser (Abb. 15). Für die Verknüpfung von Innen- und Außenbereich konnten die vier originalen Fensteröffnungen und der in späterer Zeit durchgebrochene Zugang im Süden herangezogen werden.

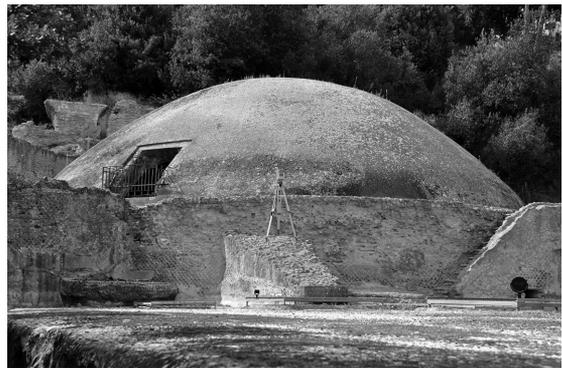


Abb. 14: Baiae, Kuppel des ‚Merkur-Tempels‘ mit Laser-scanner in Aktion, Blick von Osten.

Vergleich mit einer stereophotogrammetrischen Vermessung von 1973

Dank der neuen Vermessung können nun beispielsweise frühere, mit anderer Technik erstellte Bauaufnahmen zuverlässig auf ihre Genauigkeit überprüft werden. Entsprechend folgt ein Vergleich mit einer durch Manfred Döhler vom Institut für Photogrammetrie und Topographie der Universität Karlsruhe 1973 durchgeführten, photogrammetrischen Vermessung des Kuppelraums⁴⁸. Diese von Friedrich Rakob im Rahmen seiner Forschungen

zu den Kuppelbauten in Baiae veranlasste stereophotogrammetrische Bauaufnahme, war in ihrer Entstehungszeit eine sehr fortschrittliche Vermessungsmethode. Dafür wurden zunächst 33 Strichmarken im Abstand von ca. 2 m entlang der senkrechten Wand verteilt und durch Winkel und Strecken von einem Standpunkt auf der Insel aus eingemessen (Abb. 16). Diese Einmessung diente

48 Döhler 1988, 266–271.



Abb. 15: Baiae, Panoramabild der eingefärbten Punktwolke eines Innenraum-Scans.

der Einpassung von zehn Stereobildpaaren mit horizontaler und vier Bildpaaren mit um 30 Grad nach oben gerichteter Aufnahmeachse⁴⁹.

Für die Auswertung wurden Horizontalschnitte im Höhenabstand von 0,50 m durch die Kuppel erzeugt. Durch ihre Messungen folgerten Döhler und Rakob, dass der Kuppelbau keine exakte Kreisform besitzt und der Mittelpunkt somit graphisch bestimmt werden muss⁵⁰. Der darüber ermittelte Grundkreis hat einen Radius von 10,73 m, einschließlich des 0,07–0,10 m dicken Wandputzes, woraus sich ein Radius für den Rohbau von 10,80–10,83 m mit einer Streuung von maximal 0,10 m ergab⁵¹. Die obere Scheitelöffnung des Oculus besaß demnach eine exakte Kreisform, ihr Mittelpunkt lag jedoch um ca. 0,20 m neben dem des Grundkreises⁵².

Die damalige Auswertung soll nun mit den Ergebnissen des 3D-Laserscans verglichen werden: Zunächst wird auch beim Laserscan die Kreisform ermittelt. Dank der flächenhaften Erfassung durch den Scanner können die 3D-Koordinaten jedes Messpunktes aus der Punktwolke abgegriffen werden. Zur Bestimmung der Kreisform ist es nur noch nötig, mit den Messpunkten in einer Höhe zu bleiben. An einigen Stellen der senkrechten



Abb. 16: Stereophotogrammetrische Aufnahme 1973.

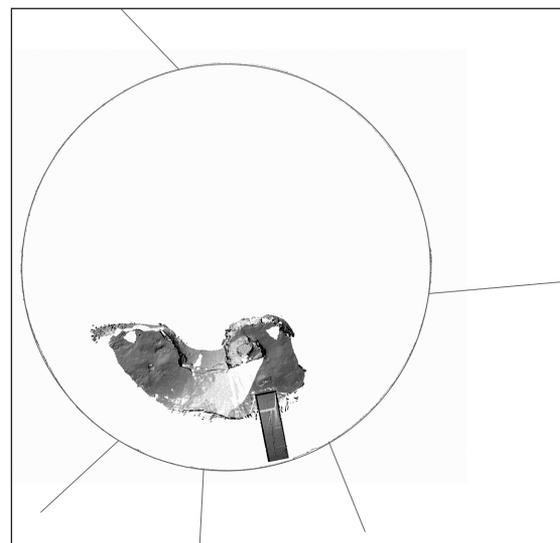


Abb. 17: Anpassung des Kreises an die fünf Messpunkte.

49 Rakob 1988, 266.

50 Rakob 1988, 266.

51 Rakob 1988, 269.

52 Vgl. Rakob 1988, Abb. 2; 267 Abb. 5.



Abb. 18: Vergleich der Horizontalschnitte: Horizontalschnitte nach der Stereophotogrammetrie (schwarz), arithmetisch gemittelte Kreise (Sollform) aus der Stereophotogrammetrie (rot) und Horizontalschnitte aus dem Laserscan (blau).

Wand ist der Rohbau aus *opus reticulatum* erkennbar. Durch die Verwitterung sind die Oberflächen der Tuffsteine meist stark angegriffen, so dass das anscheinend widerstandsfähigere Fugenmaterial zur Bestimmung herangezogen wurde⁵³. Ein erster

Kreis wurde über fünf Punkte in einer Höhe von 49,20 m ü.N.N. (ca. 0,30 m unter dem Gewölbeansatz) erzeugt. In einem CAD-Programm wurde dann der Kreis diesen fünf Punkten bestmöglich angepasst (**Abb. 17**). Dieser hat einen Radius von 10,75 m und eine maximale Abweichung zu den einzelnen Punkten von 2,4 cm. Zur Kontrolle wurde das Verfahren in zwei weiteren Höhen wie-

⁵³ Deutlich zu erkennen in **Abb. 25** und **Abb. 27**.

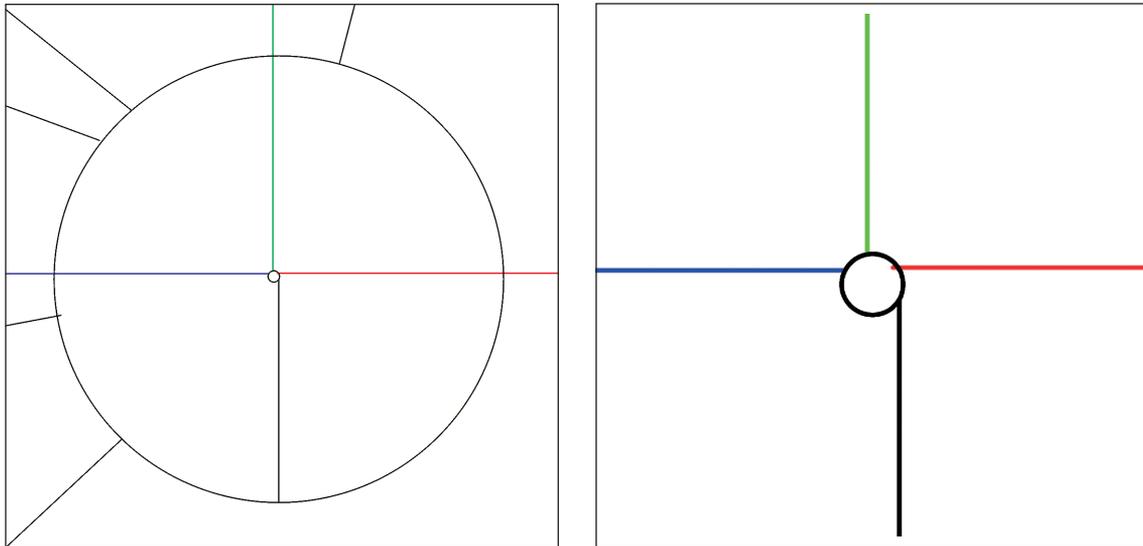


Abb. 20: Links: Ermittlung der Kreisform des Oculus. Rechts: Lage der ermittelten Kreismittelpunkte in der Höhe von 46,35 ü.N.N. (blau), in der Höhe von 48,60 m ü.N.N. (grün), in der Höhe von 49,20 ü.N.N. (rot) und am unteren Rand des Oculus (schwarz).

Auch die Position des Oculus ist dank der neuen Vermessung deutlich näher in der Mitte des Gebäudes zu verorten als zuvor vermutet. Zur Überprüfung wurden auch hier einzelne Punkte zur Bestimmung der Kreisform herangezogen, welche natürlich nicht im Bereich der eingefügten Betonplombe liegen durften. Die Lage des so ermittelten Kreismittelpunktes kann dann mit den Mittelpunkten der drei über die vertikale Wand unterhalb der Kuppel ermittelten Kreise (s. o.) verglichen werden. Zieht man einen Kreis möglichst annähernd durch diese vier Punkte, hat dieser einen Radius von 5,6 cm (**Abb. 20**).

Fazit dieses Vergleichs

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass nach der Vermessung mit dem Laserscanner die Ausführung des Kuppelbaus deutlich präziser ist, als nach der stereophotogrammetrischen Auswertung angenommen. Letztere ergab einen Versatz des Oculus um ca. 0,20 m, wobei als eine mögliche Interpretation Ausführungsfehler im Zusammenhang mit dem Aufbau des Schalungsgerüsts genannt wurden⁵⁵.

Als Radius für den Rohbau des Wandzylinders auf dem die Kuppel aufliegt, wurde von Döhler und Rakob 10,80–10,83 m mit einer Streuung von maximal 0,10 m angegeben⁵⁶. Die Messung mittels Laserscan ergibt nun einen Radius zwischen 10,75 und 10,765 m, wobei die hier festgestellte Abweichung maximal 4 cm beträgt. Vergleicht man dies, so scheint der Unterschied – bei Berücksichtigung der Streuung und der Abweichung – relativ gering zu sein. Tendenziell ergibt die Vermessung mit dem Laserscanner einen um ca. 5 cm kleineren Radius, auf den Durchmesser bezogen beträgt der Unterschied schon ca. 0,10 m. Es zeigt sich also eine Differenz von ca. 2 % des Durchmessers. Vergleicht man die Lage der Mittelpunkte der vier aus den Laserscannerdaten ermittelten Kreise, fällt auf, dass diese sich mit zunehmender Höhe von Westen nach Osten bewegen. Der Mittelpunkt des Oculus liegt also am weitesten im Osten, wobei die Differenz zwischen diesem und dem Mittelpunkt des untersten Kreises in der Höhe von 46,35 m ü.N.N. ca. 0,10 m beträgt (**Abb. 20**). Hiernach könnte auf ein Abkippen des Gebäudes in östliche Richtung geschlossen werden, was allerdings durch zusätzliche Untersuchungen noch verifiziert werden müsste.

⁵⁵ Rakob 1988, 268.

⁵⁶ Rakob 1988, 269.



Abb. 21: Orthobild aus PhotoScan mit der Fehlstelle im Kuppelbereich.

Vergleich 3D-Laserscanning und SfM (Structure from Motion)

Der Innenraum des Kuppelbaus bot sich aufgrund seiner stark strukturierten Oberfläche und der Abgeschlossenheit auch für das SfM-Verfahren an. Hierbei wird, wie beim Laserscanning, eine Punktwolke erzeugt, allerdings bei diesem Verfahren aus dem Zusammenhang einzelner Fotos⁵⁷. Der Bewegungsspielraum für die einzelnen Kamerapositionen war auf die Insel im südlichen Teil des Innenraums beschränkt, so dass die „Motion“ etwas zu kurz kam und die Entfernung zur Objektoberfläche teilweise recht groß war. Trotzdem erzielte die Auswertung mit der Software PhotoScan der Firma Agisoft ein scheinbar sehr gutes Ergebnis mit nur einer relativ kleinen Fehlstelle im Kuppelbereich (Abb. 21). Probleme gab es jedoch durch den Lichteinfall an den Fenstern und beim Oculus.

Ansonsten zeigt sich eine sehr gute Wiedergabe der Farben, die sich, wie bei früheren Projekten schon festgestellt, jener in den Laserscans als überlegen erweist⁵⁸. Dies zeigt der Vergleich mit dem Orthobild, das aus der Punktwolke des Laserscans erstellt wurde (Abb. 22)⁵⁹.

Da der Innenraum des Kuppelbaus somit „doppelt“ vermessen wurde, bietet sich ein Vergleich der beiden mit unterschiedlichen Verfahren erzeugten Punktwolken an und somit eine Genauigkeitskontrolle der SfM-Punktwolke mit den direkt gemessenen Werten aus dem 3D-Laserscan. Günter Pomaska legt dar, dass eine allgemeine Aussage zur Genauigkeit photogrammetrischer Bildverbände (hier: SfM, es existieren noch andere Verfahren) nicht zu treffen ist, da hier viele Faktoren eine Rolle spielen⁶⁰. In diesem Sinne zeigt der folgende Vergleich auch nur die an diesem Objekt unter

57 Genutzt wurde eine digitale Spiegelreflexkamera mit großem Sensor und Weitwinkelobjektiv mit einer Festbrennweite von 24 mm, um den Raum mit 84 Aufnahmen flächendeckend zu fotografieren.

58 Vgl. Broser 2014, 260–267; Broser 2013, 229–236.

59 Ein weiterer Vorteil der mittels Laserscan erzeugten Punktwolke ist die relativ einfache Weiterbearbeitung. So kann die Punktwolke mit spezieller Software bereinigt und

für eine detaillierte Auswertung in einzelne Abschnitte zerlegt werden. Mittels eines CAD-Programms und der Applikation Cloudworx können die einzelnen Abschnitte angezeigt und digitalisiert werden. Hieraus können je nach Bedarf Orthobilder und Abwicklungen erzeugt werden, welche sehr gute Darstellungen der Oberflächen bieten.

60 Pomaska 2016, 162.



Abb. 22: Orthobild der Punktwolke aus dem Laserscan.

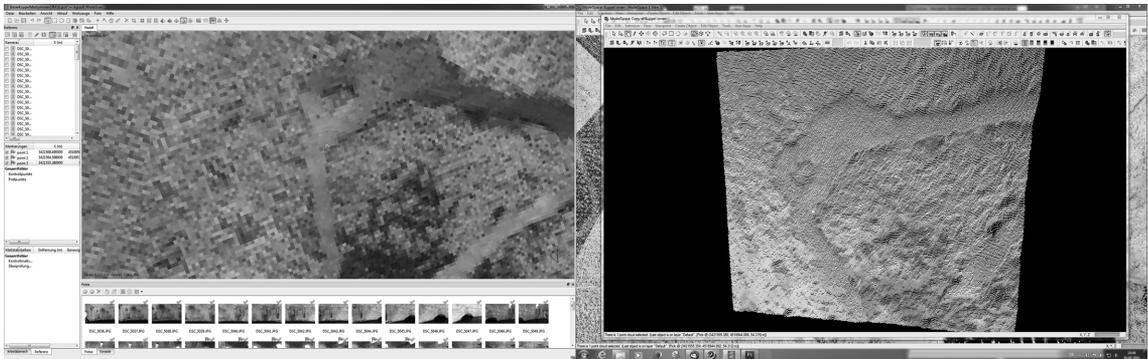


Abb. 23: Identischer Punkt in SfM-Auswertung (links) und Laserscan (rechts).

den speziellen Aufnahmebedingungen gemachten Beobachtungen. Die Georeferenzierung und somit auch die Skalierung der SfM-Punktwolke erfolgt über die bereits georeferenzierten Laserscanner-Daten, da die beiden Punktwolken sich nahezu vollständig überlagern. Es müssen also mindestens drei in beiden Datensätzen identische Punkte gefunden und die 3D-Koordinaten aus der Laserscanner-Punktwolke den entsprechenden Markierungen in PhotoScan zugewiesen werden. Hier zeigt sich die erste Fehlerquelle für die maßliche Genauigkeit von SfM-Punktwolken. Die aufgrund der Putzreste der Unterkonstruktion für die Inkrustationen (Marmorverkleidung der Wandflächen) stark strukturierte Oberfläche erleichtert zwar das Auffinden identischer Punkte zwischen Laserscan

und SfM-Auswertung, aber bei näherem Heranzoomen lässt sich bei den einzelnen Messpunkten an der Oberfläche bei den größeren Entfernungen lediglich eine Genauigkeit von 2–3 cm erzielen, wobei der Laserscan bei einer Entfernung von ca. 11 m die bessere Auflösung zeigt (Abb. 23).

Um diesen „Ablesefehler“ möglichst gering zu halten, werden mehr als die notwendigen drei Punkte herangezogen, wobei auf eine möglichst günstige Verteilung über den ganzen Bereich der Oberfläche zu achten ist. Durch die Struktur als Kuppelbau ergeben sich ja überall annähernd gleiche (und annähernd optimale!) Auftreffwinkel des Laserstrahls auf die Oberfläche, abgesehen von den Kanten der in der Tiefe leicht versetzten Flächenstücke. Es wurden mehrere Versuche mit

unterschiedlichen Punktgruppen durchgeführt, wobei der beste bei sechs Punkten (von zwölf angelegten) bei der Berechnung in PhotoScan den geringsten Gesamtfehler aufweist. Diese sechs „besten“ Punkte befinden sich allerdings alle auf dem senkrechten Wandabschnitt unterhalb der eigentlichen Kuppel.

Der Kuppelbau besteht ja aus zwei Bereichen: der Kuppel als angenähertes Kugelsegment und der zylindrischen Wand als Auflager für die Kuppel. Letzterer war wegen des anstehenden Wassers nicht in voller Höhe erfassbar, das ursprüngliche Bodenniveau liegt deutlich tiefer. Aufgrund der ehemals vorhandenen Inkrustationen sind die Mörtel-/Putzschichten teilweise noch in einer Stärke von mehreren Zentimetern vorhanden, teilweise ist auch das rautenförmige Retikulat-Mauerwerk des Rohbaus sichtbar, so dass sich eine sehr unregelmäßige Oberfläche ergibt. Der gemessene Bereich wurde in der Software LupoScan der Firma Lupos3D über die Zylinderprojektion abgewickelt, die Spotansicht (Ansicht der vermaschten Punktwolke in Graustufen, angestrahlt durch einen Lichtspot, wobei die resultierende Schattwirkung die Oberflächenstruktur besonders hervorhebt) erstellt und eine Deformationsanalyse durchgeführt, und das einmal für den Laserscan (bestehend aus drei Punktwolken) und einmal für die SfM-Punktwolke (Georeferenzierung anhand der Laserscans mit dem besten Ergebnis, s. o.). Für die Deformationsanalyse wurden 25 Schichten mit je 2 cm Stärke vorgegeben (**Abb. 24**).

Es zeigen sich teilweise relativ einheitlich erscheinende Bereiche, teilweise aber auch deutliche Unterschiede. Jeder Farbwechsel bedeutet eine Differenz von 2 cm in der Tiefe. Um dies näher zu untersuchen, wird ein Horizontalschnitt (Grundriss) durch den Abschnitt mit den augenfällig größten Differenzen gelegt und die beiden Punktwolken miteinander verglichen (**Abb. 25**).

Die Differenzen zwischen den beiden Punktwolken betragen in diesem Bereich maximal 5 cm, also mehr als nach der Georeferenzierung/Skalierung zu erwarten war. Außerdem zeigt die Laserscanner-Punktwolke eine wesentlich detailliertere Erfassung der Oberflächenstruktur.

Eine weitere Vergleichsmöglichkeit bietet die Open Source Software CloudCompare. Hier kön-

nen bereits registrierte Punktwolken miteinander verglichen, aber auch vorregistrierte Punktwolken über einen ICP-Algorithmus angeglichen werden. Diese Alternative zu der oben beschriebenen „händischen“ Registrierung sollte die Ablesefehler bei den einzelnen natürlichen Passpunkten ausgleichen können. Die Punktwolke aus den Laserscans bildet dabei die Referenz-Datei und diejenige aus dem SfM-Verfahren wird entsprechend verschoben. Doch auch hier zeigen sich deutliche Differenzen (**Abb. 26**).

Um auch hier einen direkten Vergleich zu erlangen, wird aus beiden Punktwolken der Abschnitt entsprechend **Abb. 25** segmentiert und in Cyclone dargestellt. Die maximale Differenz zwischen den beiden Punktwolken beträgt hier 3 cm, ist also gegenüber dem ersten Vergleich um 2 cm geschrumpft (**Abb. 27**).

Vergleicht man auch die Spotansichten der beiden Aufnahmen, so macht sich ein weiterer wesentlicher Unterschied bemerkbar. Der Laserscan zeigt hier, wie schon nach dem Vergleich der Grundrisse zu erwarten war, eine wesentlich höhere Detaillierung der Wandoberfläche, während diese bei der SfM-Darstellung „verwischt“ zu sein scheint. Gerade bei den vielen kleinen Öffnungen lässt sich dies leicht erklären. Wird vom Laserscanner die Oberfläche direkt „abgetastet“, so greift das auf SfM basierte Verfahren auf die Fotos zurück, in denen hier ein Loch lediglich als dunkle Fläche erscheint und keine Strukturen erkennen lässt (**Abb. 28**).

Die bei diesem Objekt vorgefundenen Bedingungen erwiesen sich für die Vermessung mit dem 3D-Laserscanner als nahezu optimal. Lediglich die Beschränkung der Gerätestandpunkte auf die sich in der südlichen Hälfte des Innenraums befindliche „Insel“ ergab unterschiedliche Entfernungen zur Objektoberfläche und somit auch unterschiedliche Auflösungen. Bei der Möglichkeit einer Stationierung im Mittelpunkt des Rundbaus wäre der Ausnahmefall einer fast gleichmäßigen Verteilung der Einzelmessungen in der Punktwolke eingetreten. Für die für das SfM-Verfahren genutzte Kamera-Objektiv-Konstellation erwiesen sich bei den meisten Bereichen die Entfernungen als zu groß, um eine an das Laserscanning heranreichende Auflösung zu bekommen. Abhilfe könnte ein Objektiv

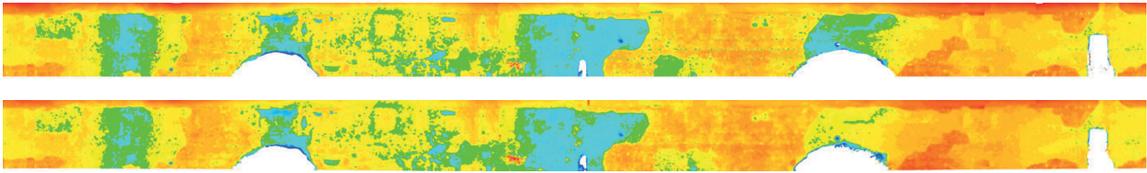


Abb. 24: Deformationsanalyse Abwicklung: Laserscan (oben) und SfM (unten).

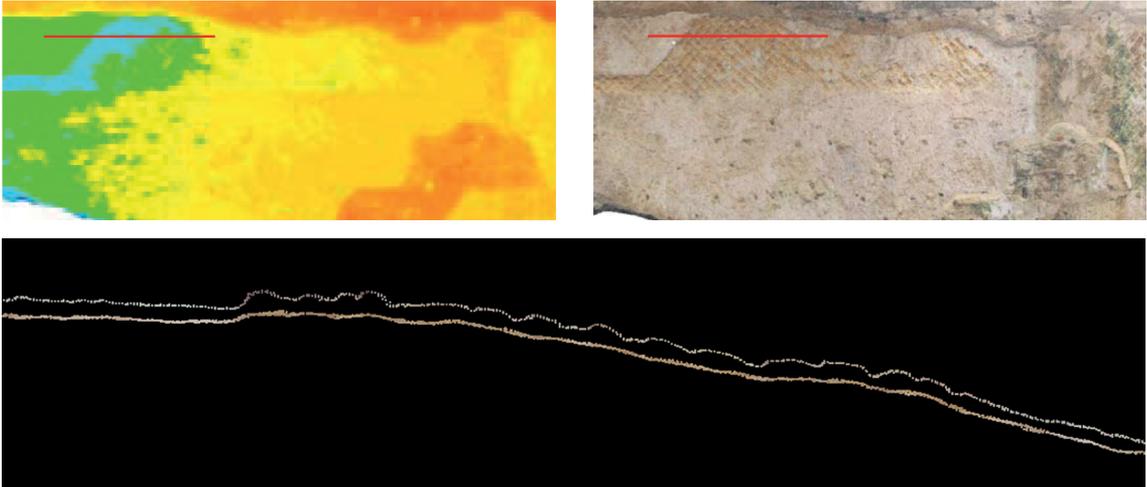


Abb. 25: Vergleich Grundriss der Punktwolken (unteres Bild), Laserscan (oben) und SfM (unten).

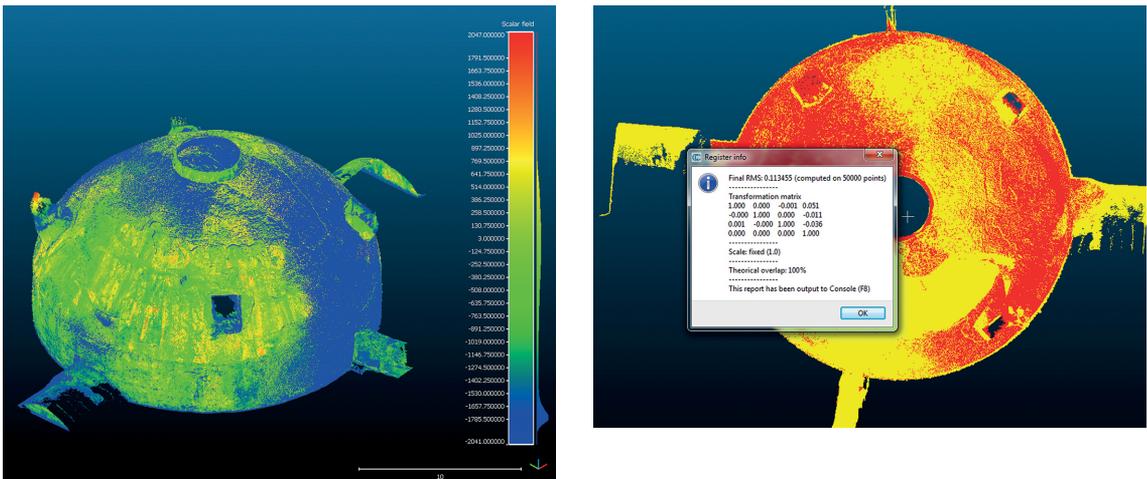


Abb. 26: Vergleich der zwei Punktwolken in CloudCompare. Rechts mit der Darstellung der Transformationsmatrix, die Referenz-Punktwolke (Laserscans) ist gelb, die verschobene Punktwolke nach SfM-Verfahren rot dargestellt.

mit größerer Brennweite und eine entsprechend höhere Anzahl von Fotos schaffen. Doch nur ein Versuch könnte zeigen, ob damit die unregelmäßige Oberfläche tatsächlich besser dargestellt würde. Bemerkenswert sind auch die maßlichen Differenzen. Auf die gesamte Kreisform bezogen zeigte die Auswertung des SfM-Verfahrens ein leichtes Oval.

Ob die 3 cm-Differenz auf den Gesamtradius von 10,76 m im Hinblick auf die Auswertung der Vermessung tatsächlich eine Rolle spielt, ist von den hierfür gegebenen Anforderungen abhängig.

Wie erwartet, zeigte sich bei dem SfM-Verfahren eine sehr gute farbliche Darstellung der Oberfläche. Für z. B. eine Veröffentlichung störend

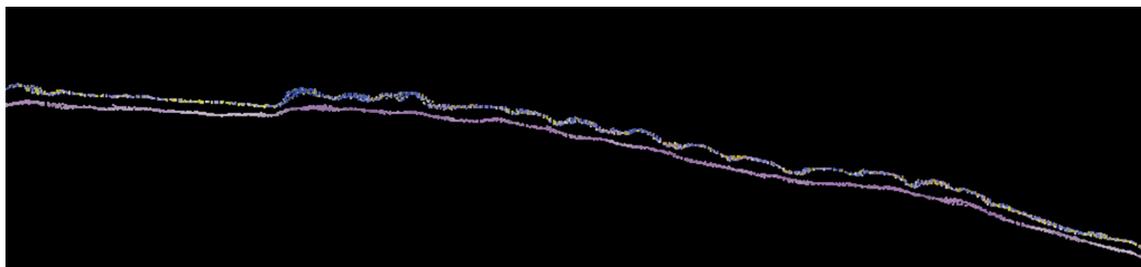


Abb. 27: Vergleich Grundriss Punktwolken nach der Bearbeitung in CloudCompare, Laserscan (oben) und SfM (unten).

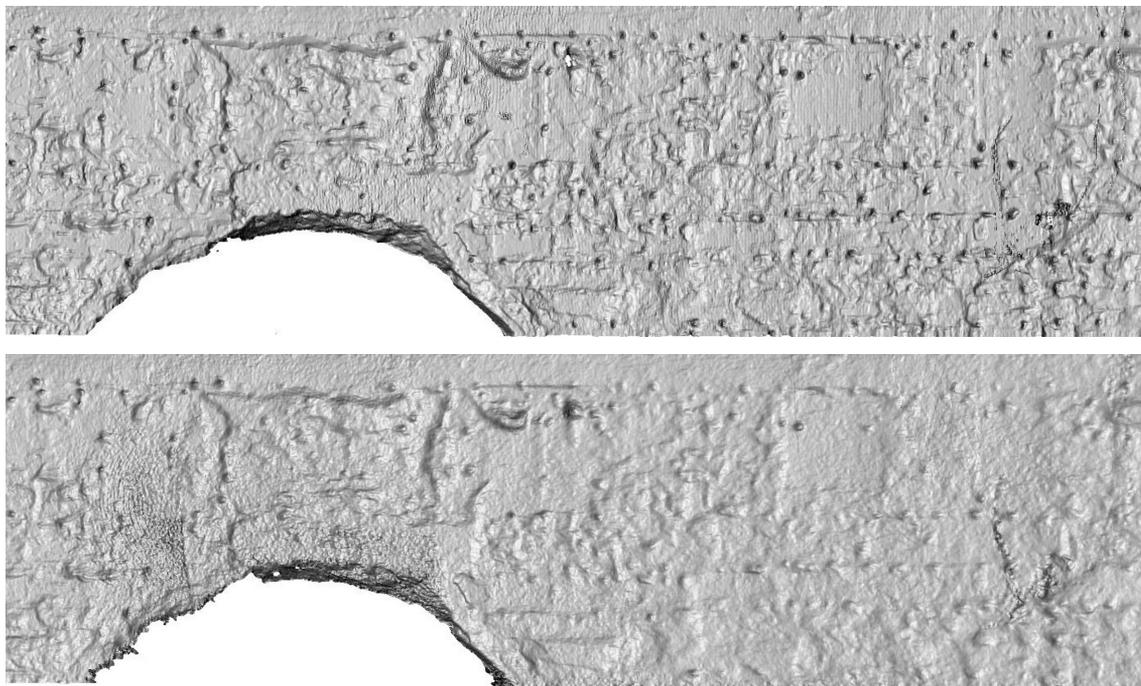


Abb. 28: Ausschnitt Spotansicht, Laserscan (oben) und SfM (unten).

erweist sich lediglich die Fehlstelle im Gewölbe. Zusätzliche Fotos könnten diese Lücke ausfüllen, eventuell ließe sich das Problem auch über die Software lösen.

Jost Broser

Abschließendes Fazit

Die in diesem Artikel beschriebenen Ergebnisse der geophysikalischen Prospektion und der neuen Vermessung mittels 3D-Laserscanner veranschaulichen das enorme Potential dieser durchgeführten Arbeiten und die großen Vorteile einer reibungslosen interdisziplinären Kooperation. Vor allem die Vermessung schafft eine äußerst präzise Grundlage für alle weiteren Forschungsarbeiten im Park

und ist derzeit wohl in diesen Dimensionen und im Hinblick auf das verhältnismäßig kleine Budget einzigartig. Das Auswertpotential der bisher gesammelten Daten ist riesig und konnte an obigen Beispielen nur ansatzweise veranschaulicht werden. Die für März 2017 geplanten Sondagen erlauben dann hoffentlich ein etwas verlässlicheres Datierungsgerüst, so dass auch in dieser Hinsicht konkretere Aussagen als bisher getroffen werden können. Bereits zum jetzigen Zeitpunkt kann jedoch gesagt werden, dass das Projekt eine völlig neue Grundlage für das Verständnis und die Bewertung der innerhalb des Archäologischen Parks von Baiæ freigelegten Strukturen schafft.

Literaturverzeichnis

- Allen 2009:
T. J. Allen, *Baiae in Africa: Attitudes to Health and Bathing in the Maghreb*, in: V. Bridoux (Hrsg.), *Contrôle et distribution de l'eau dans le Maghreb antique et médiéval. Actes du colloque organisé par l'Institut National du Patrimoine de Tunisie et l'École Française de Rome, à Tunis, du 22 au 25 mars 2002* (Rom 2009) 165–175.
- Amalfitano u. a. 1990
P. Amalfitano – G. Camodeca – M. Medri, *I Campi Flegrei. Un itinerario archeologico* (Venedig 1990).
- Avilia – Caputo 2015
F. Avilia – P. Caputo (Hrsg.), *Il ninfeo sommerso di Claudio a Baia, Grand tour 2* (Neapel 2015).
- Borriello – D'Ambrosio 1979
M. R. Borriello – A. D'Ambrosio, *Baiae-Misenum, Forma Italiae Regio I, v. 14* (Firenze 1979).
- Broser 2013
J. Broser, *Terrestrisches Laserscanning und SfM – Vergleiche an Beispielen aus der Praxis*, in: Luhmann – Müller 2013, 229–236.
- Broser 2014
J. Broser, *3D-Laserscanning und SfM-Verfahren – Beispiele aus Archäologie und Denkmalpflege*, in: Luhmann – Müller, 2014, 260–267.
- D'Arms – Zevi 2003
J. H. D'Arms – F. Zevi, *Romans on the Bay of Naples and other essays on Roman Campania, Pragmateiai 9* (Bari 2003).
- Di Fraia 1993
G. Di Fraia, *Baia sommersa. Nuove evidenze topografiche e monumentali.*: ASubacq 1, 1993, 21–48.
- Di Luca 2009
G. Di Luca, *Nullus in orbe sinus Bais praelucet amoenis. Riflessioni sull'architettura dei complessi c.d. "dell'Ambulatio" "della Sosandra" e delle "Piccole Terme" a Baia* BABesch 84, 2009, 143–162.
- Döhler 1988
M. Döhler, *Die Ergebnisse der photogrammetrischen Messungen*, in: F. Rakob, *Römische Kuppelbauten in Baiae*, RM 95, 1988, 266–271.
- Döring 2012
M. Döring, *In der wundersamsten Gegend der Welt. Die Phlegraeischen Felder am Golf von Neapel* (Adenstedt 2012).
- Fröhlich 2015
C. Fröhlich, *Laserscanning. Die Bibliothek der Technik* (München 2015).
- Hug-Fleck 2012
C. Hug-Fleck, *Vulkane Italiens. Vesuv, Campi Flegrei, Stromboli, Vulcano, Ätna*, Edition world geographic 2 (Au, Breisgau 2012).
- Kubit GmbH 2011
Kubit GmbH, *PhoToPlan. Vom Foto zum Aufmaß. Handbuch* (Dresden 2011).
- Leckebusch 2001
J. Leckebusch, *Die Anwendung des Bodenradars (GPR) in archäologischen Prospektionen, 3D—Visualisierung und Interpretation* (Rahden/Westf. 2001).
- Luhmann – Müller 2013
T. Luhmann – C. Müller (Hrsg.), *Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2013* (Berlin 2013).
- Luhmann – Müller 2014
T. Luhmann – C. Müller (Hrsg.), *Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2014* (Berlin 2014).
- Maiuri 1983
A. Maiuri, *Die Altertümer der Phlegraeischen Felder* (Rom 1983).
- Nenci – Vallet 1984
BTCGI 3 (1984) 362–388 s. v. Baiae (G. Nenci – G. Vallet)..
- Nieberle 2016
M. Nieberle, *The Archeological Park of Baiae. New Hydrological Findings and Considerations*, in: G. Wiplinger (Hrsg.), *De aquaeductu atque aqua urbium Lyciae Pamphylliae Pisidiae*, BABesch Suppl. 27, 2016, 203–214.
- Pomaska 2016
G. Pomaska, *Bildbasierte 3D-Modellierung – Vom digitalen Bild bis zum 3D-Druck* (Berlin 2016).
- Rakob 1988
F. Rakob, *Römische Kuppelbauten in Baiae*, RM 95, 1988, 257–301.
- Scognamiglio 2002
E. Scognamiglio, *Nuovi dati su Baia sommersa*, ASubacq 3, 2002, 47–55.
- von Rummel – Broisch – Schöne 2013
P. von Rummel – M. Broisch – C. Schöne, *Geophysikalische Prospektionen in Simitthus (Chimtu, Tunesien). Vorbericht zu den Kampagnen 2010–2013*, KuBA 3, 2013, 203–216.

Yegül 1996

F. Yegül, The Thermo-mineral Complex at Baiae and "De balneis Puteolanis", *ArtB* 78, 1996, 137–161.

Zarmakoupi 2014

M. Zarmakoupi, *Designing for Luxury on the Bay of Naples. Villas and Landscapes (c. 100 BCE–79 CE)* (Oxford 2014).

Abbildungsnachweis: Abb. 1: <https://de.wikipedia.org/wiki/Phlegr%C3%A4ische_Felder#/media/File:Pozzuoli_NASA_ISS004-E-5376_added_names.jpg> (am 08.03.2017). – Abb. 2: Reproduktion nach Döring 2012, 113, Abb. 3.74. – Abb. 3: Reproduktion nach Yegül 1996, 141 Abb. 5. – Abb. 4: 5: M. Broisch, Arbeitsgruppe „ArchäoGeophysik“, Universität zu Köln; Interpretation M. Nieberle, Archäologisches Institut, Universität zu Köln. – Abb. 6: S. Geiermann, Archäologisches Institut, Universität zu Köln. – Abb. 7: M. Nieberle, Archäologisches Institut, Universität zu Köln, basierend auf einem Plan des Konsortiums Pinacos, SSBA_NA RA2718 – rot. 356. – Abb. 8: T. Höller, IBV TH Köln. – Abb. 9: Fotos M. Nieberle. – Abb. 10: K. Zerzeropulos, Archäologisches Institut, Universität zu Köln. – Abb. 11: K. Zerzeropulos, Archäologisches

Institut, Universität zu Köln; C. Kost, TH Köln. – Abb. 12: S. Geiermann, Archäologisches Institut, Universität zu Köln. – Abb. 13: S. Geiermann, Archäologisches Institut, Universität zu Köln, auf Basis eines Plans des Konsortiums Pinacos, SSBA_NA RA2718 – rot. 356. – Abb. 14: 15: J. Broser, TH Köln. – Abb. 16: Reproduktion nach Rakob 1988, Abb. 8. – Abb. 17–28: J. Broser, TH Köln.

Anschriften: Matthias Nieberle, M.A., Manuela Broisch, M.A., Dipl.-Ing. Sabrina Geiermann, Archäologisches Institut der Universität zu Köln, Albertus Magnus Platz, 50923 Köln.

eMail: nieberle.matthias@uni-koeln.de

manuela.broisch@uni-koeln.de

Sabrina.Geiermann@uni-koeln.de

Dipl.-Ing. Jost Michael Broser, Institut für Baugeschichte und Denkmalpflege (IBD) der TH Köln, Betzdorfer Straße 2, 50679 Köln.

eMail: jost.broser@th-koeln.de