

Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse
und messtechnische Erfassungen

11. März 2016



Fraunhofer IRB Verlag

naturstein sanierung stuttgart 2016

Gabriele Patitz, Gabriele Grassegger, Otto Wölbart (Hrsg.)

Natursteinsanierung Stuttgart 2016

**Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen
sowie Sanierungsbeispiele**

Tagung am 11. März 2016 in Stuttgart

Herausgeber

Dr.-Ing. Gabriele Patitz

Ingenieurbüro IGP für Bauwerksdiagnostik und Schadensgutachten

Alter Brauhof 11, 76137 Karlsruhe

Telefon: (0721) 3 84 41 98

Telefax: (0721) 3 84 41 99

Email: mail@gabrielepatitz.de

www.gabrielepatitz.de

Prof. Dr. Gabriele Grassegger

Fakultät Bauingenieurwesen, Fachgebiet: Bauchemie und Baustoffkunde

Hochschule für Technik (HFT)

Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart

mit Unterstützung des

Landesamtes für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart

FB Restaurierung, Otto Wölbert

Berliner Straße 12, 73726 Esslingen am Neckar

Satz und Layout

Manuela Gantner – punkt, STRICH. – Karlsruhe

Druck und Bindung

AZ Druck und Datentechnik GmbH – Kempten

Einband

Foto: Maßwerkrose am Südquerhaus des Straßburger Münsters (©Fondation de l'Œuvre Notre-Dame)

Fotogrammetrie: Straßburger Münster, Südquerhausfassade (©Fondation de l'Œuvre Notre-Dame)

1. Auflage

2016 Fraunhofer IRB Verlag,

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

ISBN (Print): 978-3-8167-9598-8

ISBN (E-Book): 978-3-8167-9599-5

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung von Frau Prof. Dr. Grassegger und Frau Dr. Patitz unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Warenbezeichnungen, Handels- oder Gebrauchsnamen sind nicht als frei im Sinne der Markenschutz- und Warenzeichengesetze zu betrachten. Dies gilt auch dann, wenn sie nicht eigens als geschützte Bezeichnungen gekennzeichnet sind.

Für den Inhalt der Beiträge und die Rechte an den verwendeten Abbildungen sind die Autoren verantwortlich.

Liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer, liebe Leserinnen und Leser,

herzlich Willkommen zur 22. Fachtagung Natursteinsanierung an der HFT in Stuttgart. Wir wünschen Ihnen einen interessanten und abwechslungsreichen Tagungstag. Mit den zusammengestellten Beiträgen aus der Forschung und Praxis möchten wir Ihnen viele neue Anregungen und Ideen für Ihre tägliche Arbeit mitgeben.

Die Fachbeiträge und weiterführenden Informationen finden Sie in dem vorliegenden Tagungsband. In Ergänzung dazu können Sie sich in der Fachausstellung über neue und altbewährte Produkte und Arbeitsmaterialien informieren. Fachliteratur bieten Ihnen die Informationsstände des Fraunhofer IRB Verlages und der Stand des Landesdenkmalamtes Esslingen an.

Die diesjährige Exkursion führt uns zum Straßburger Münster und wurde von den Mitarbeitern der Fondation de l'Œuvre Notre-Dame organisiert und vorbereitet. Wir erhalten Einblicke in die Werkstätten der Straßburger Münsterbauhütte und werden die Baustellen an der Südquerhausfassade und an der Galerie Goetz besichtigen. Eine geführte Turmbegehung sowie eine Führung zum europäischen Steinhandwerk mit Schwerpunkt Tradition & Brauchtum – Rituale & Zeremonien – Symbole & Allegorien runden das Tagungsprogramm ab.

Die Vorträge in Stuttgart spannen einen Bogen von der Verfüguung des Natursteinmauerwerks auf der Wartburg über die Sanierung von hydrophobierten Sandsteinfiguren am Schloss Weißenstein, das Schadensbild und die Schadensentwicklung eines Marmorgrabmales in der Schweiz, die Steinrestaurierung am Hauptportal der Stiftsbasilika St. Martin in Landshut und Forschungsarbeiten zu Untersuchungen der Natursteinverwitterung mit Ultraschall-Oberflächen-Messungen.

Mit den ausgewählten Themen und Informationsständen wollen wir Ihnen zwei spannende und inspirierende Tage bieten.

Wir wünschen Ihnen einen interessanten fachlichen Austausch und viele neue Anregungen und Ideen für Ihren Alltag!

Gabriele Patitz

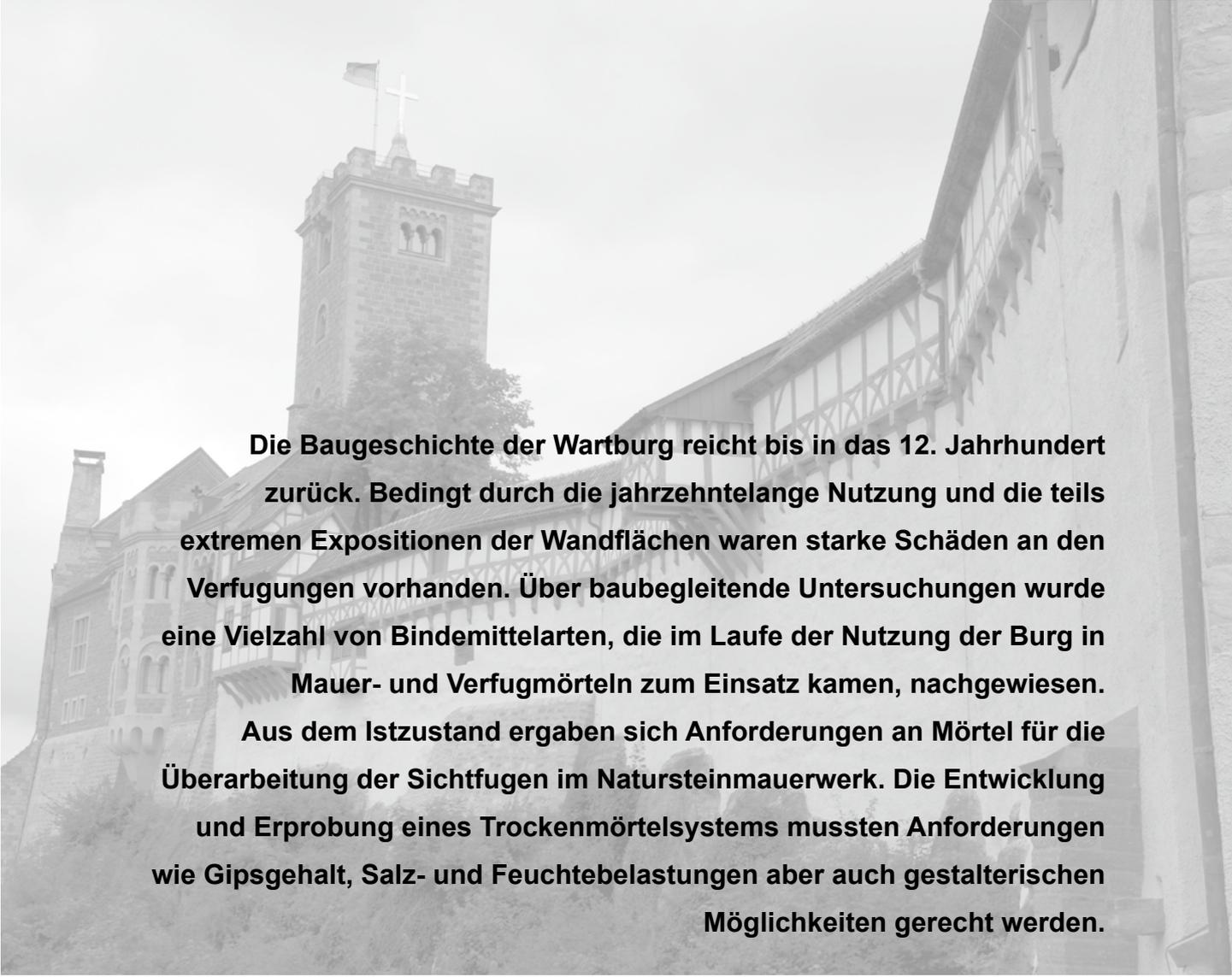
Gabriele Grassegger

Otto Wölbart

Hans-Werner Zier Heike Dreuse	Verfugung des Natursteinmauerwerks der Wartburg Vorzustand, Voruntersuchungen, Mörtelentwicklung und Realisierung	7
Heike Kirsten	Verborgenes vom Grimmenstein Die Sanierung der Zisterne unter Schloss Friedenstein in Gotha	21
Priska Rast	Praxiserfahrung und Anwendungsbeispiele mit einem selbst entwickelten Graffitienschutz der Stadt Zürich	35
Michael Hauser	Das Grabmal von Adolf Guyer-Zeller in Bauma, Zürich Schadensbild und Schadensentwicklung der Marmoroberflächen	45
T. Meier, M. Auras, M. Fehr, D. Köhn, T. Steinkraus, F. Eckel, R. Sobott, S. Sieges- mund, D. Schulte-Kortnack, E. Erkul	Untersuchung der Verwitterung von Naturstein mit Ultraschall-Oberflächen-Messungen	57
Markus Huschenbeth Susann Halbeisen Philipp Schubert	Die Steinrestaurierung am Hauptportal der Stiftsbasilika St. Martin in Landshut	73
Ute Tuch	Ein „Marienepitaph“ aus Ingolstadt Voruntersuchung und Konservierung	89
Sabine Bengel	Das Straßburger Münster und die Straßburger Münsterbauhütte (Fondation de l’Oeuvre Notre-Dame)	99
Eric Salmon	Die Arbeitsweise der Straßburger Münsterbauhütte (Fondation de l’Oeuvre Notre-Dame)	111
Deepankar Banerjee	Chemistry and Deposition of Airborne Particulates on the Taj Mahal at Agra/India Investigations on Soiling at Monuments in a Semi-Arid Zone of India.	119
	Autorenverzeichnis	131

Verfugung des Natursteinmauerwerks der Wartburg Vorzustand, Voruntersuchungen, Mörtelentwicklung und Realisierung

von Hans-Werner Zier, Heike Dreuse



Die Baugeschichte der Wartburg reicht bis in das 12. Jahrhundert zurück. Bedingt durch die jahrzehntelange Nutzung und die teils extremen Expositionen der Wandflächen waren starke Schäden an den Verfugungen vorhanden. Über baubegleitende Untersuchungen wurde eine Vielzahl von Bindemittelarten, die im Laufe der Nutzung der Burg in Mauer- und Verfugmörteln zum Einsatz kamen, nachgewiesen. Aus dem Istzustand ergaben sich Anforderungen an Mörtel für die Überarbeitung der Sichtfugen im Natursteinmauerwerk. Die Entwicklung und Erprobung eines Trockenmörtelsystems mussten Anforderungen wie Gipsgehalt, Salz- und Feuchtebelastungen aber auch gestalterischen Möglichkeiten gerecht werden.

1 Einleitung

Die Wartburg zählt zu den bekanntesten deutschen Burgen und ist seit 1999 von der UNESCO in die Liste des Welterbes der Menschheit aufgenommen.

Die Geschichte der Wartburg begann angeblich (z. B. nach [1], [2], [3]) um 1067 mit der Inbesitznahme des Geländes durch Ludwig den Springer. Das älteste noch erhaltene Bauwerk ist der Palas. Mit dessen Errichtung wurde ab 1157 [3] begonnen. Somit befinden sich auf dem Gelände der heutigen Burganlage bauliche Anlagen, die über einen Zeitraum von fast 850 Jahren geschaffen, verändert und repariert wurden. Ursachen für die baulichen Veränderungen waren Folgen von Beschuss (z. B. in den Jahren 1306/07 Belagerung und Beschießung mit Wurfgeschossen [1], [2]), von Bränden (z. B. ausgelöst durch einen Blitzeinschlag in den Hauptbergfried 1318 (z. B. [1], [2])), durch Einsturz (z. B. eines nicht näher benannten Turmes 1477 [2]) sowie durch Abriss von Gebäuden und Mauern vor allem im 18. Jahrhundert [1]. Beginnend mit dem Jahr 1838 bis etwa 1890 erfolgten umfangreiche Baumaßnahmen auf der Wartburg [1]. Diese Bauten prägen neben dem Palas, Südturm, Torhaus, Ritterhaus und der Vogtei auch aktuell das Erscheinungsbild der Burg.

Seit dem Jahr 1922 werden der Unterhalt und der Erhalt der Burg durch die Wartburgstiftung koordiniert.

Nach den umfangreichen Baumaßnahmen im 19. Jahrhundert erfolgten nur in geringerem Umfang bauliche Veränderungen. Zu diesen gehört z. B. die Entfernung einer Außentreppe zum 1. Obergeschoss des Palas in den Jahren 1953/1954 [3].

Die Arbeiten an den Fassaden hatten vor allem Ausbesserungen von Schäden und partielle Erneuerungen an Verfugungen und Putzen sowie steinrestauratorische Maßnahmen zum Inhalt. Weiterhin erfolgten im Außenbereich Erneuerungen von Anstrichen auf Putzflächen und Schutzmaßnahmen an den sichtbaren Holzkonstruktionen.

Im nachfolgenden Beitrag werden Ergebnisse von Untersuchungen der MFGPA Weimar, die seit 1995 an verschiedenen Gebäuden der Wartburg ermittelt wurden, kurz dargestellt. Weiterhin wird der Weg von den Voruntersuchungen über die Entwicklung eines Mörtelsystems für die Erneuerung von Verfugungen bis hin zu deren Anwendung aufgezeigt.

Auf Möglichkeiten der Steinrestaurierung an den Natursteinen der Wartburg soll im Folgenden nicht eingegangen werden. Hinweise finden sich in der Literatur (z. B. [4], [5]).

Parallel zur Entwicklung von Steinrestauriersystemen für die Natursteine im Sichtmauerwerk (siehe auch [4], [5]) sollten im Jahre 1995 Verfugmörtel für

das Sichtmauerwerk der Palaswestwand entwickelt werden. Als Basis wurden durch die Wartburgstiftung Ergebnisse mikroskopischer Untersuchungen an alten Verfugmörteln, die von einem Ingenieurbüro durchgeführt worden waren, übergeben. Zu diesem Zeitpunkt waren die Altmörtel an der Westfassade des Palas bereits aus den Fugen entfernt und es stand nur noch sehr wenig Material aus Rückstellproben für ergänzende Untersuchungen zur Verfügung. In den Fugenbereichen befanden sich teils noch Reste von Gipsmörteln. Daneben waren unterschiedliche Kalkmörtel und verschiedene Mörtel mit hydraulischen Bindemittelbestandteilen vorhanden. Eine Zuordnung der unterschiedlichen Mörtel zu definierten Teilflächen war nicht möglich und so musste die Forderung der rückstandsfreien Entfernung von Altverfugungen aufgestellt werden. Für die Nachstellung der Verfugung wurden Bindemittelarten (Romankalk, Sulfadur) spezieller Hersteller seitens des Auftraggebers vorgegeben. Die auf dieser Basis speziell entwickelten Mörtel für die Baustelle kamen aber nicht zum Einsatz. In der Zeit zwischen der Mörtelentwicklung und -erprobung an Musterachsen und dem Beginn der großflächigen Ausführung hatte der Kalklieferant den Romankalk aus dem Sortiment genommen. Die Mörtelrezeptur musste auf eine verfügbare Weißkalkhydratbasis (Kalkqualität CL90) umgestellt werden.

Nachfolgend wird auf den Erkenntnisgewinn im Umgang mit Verfugungen am Natursteinsichtmauerwerk aus Wartburgkonglomerat innerhalb eines Zeitraumes von ca. 20 Jahren, die daraus resultierenden Anforderungen an Verfugmörtelsysteme und Möglichkeiten der Entwicklung von Mörtelsystemen für Überarbeitungen an Sichtmauerwerk der Wartburg eingegangen.

2 Ausgangssituation Verfugung

Bereits auf dem Weg zur Wartburg fallen im Stadtgebiet von Eisenach rotbraune Natursteine mit stark wechselndem Kornbestand auf. Die dem Wartburgkonglomerat zuzuordnenden Steine wurden vor allem in Sockel- und Kellerbereichen und für die Errichtung von Stützwänden als Quadermauerwerk oder in Quaderoptik verwendet.

Das Erscheinungsbild der Wartburg wird bereits aus der Ferne durch dieses Gestein mit bestimmt. Der Bergfried und die Gebäude im mittleren Bereich der Burganlage sowie die westlichen und südlichen Bereiche der Wehrmauern werden von diesem Stein dominiert. Er ist auch unter heute verputzten Oberflächen anzutreffen. Gewonnen wurde das Gestein in unmittelbarer Nähe der Wartburg. Im Bereich des

heutigen Parkplatzes sind noch Aufschlüsse vorhanden. Das Gestein ist auch im Bereich zwischen Torhaus und Dirnitz anstehend sichtbar.

Als weitere Gesteine sind Rätsandsteine anzutreffen. Großflächige Anwendungen als Sichtmauerwerk befinden sich an der Westseite des Palas. Anwendungen der Rätsandsteine sind weiterhin Eckquaderungen, Säulen, Treppenanlagen sowie Tür- und Fenstergewände. Die Rätsandsteine stammen aus der Region um Krauthausen/Madelungen (zwischen Eisenach und Creuzburg) und dem Bereich des Seebergs (bei Gotha). In geringerem Umfang sind auch Buntsandsteine (z. B. Ostseite des Palas) und Carbonatgesteine verbaut.

An den Fassadenflächen mit Sichtmauerwerk zeigten sich Mitte der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts unterschiedliche Schadbilder.

Die Fugen der Gebäude waren teils ausgewittert und teilweise fanden sich Hinweis auf mehrfache Überarbeitungen. Dabei war bereits optisch feststellbar, dass für Ausbesserungen Mörtel unterschiedlicher Zusammensetzungen zum Einsatz kamen.

Das Sichtmauerwerk der Wehrmauern und anderer rückseitig erdberührter Mauern war im Vergleich zu den Gebäuden oft deutlich stärker geschädigt. Die Ursachen waren sichtbar rückwärtig eindringende Wässer, über offene Fugen eindringende Wässer und Schichtwässer, die durch die Hangsituation in Richtung Wehrmauern geleitet werden. Zahlreiche Strebepfeiler an den Wehrmauern deuten auf Probleme mit deren Stabilität in der Vergangenheit hin. In Teilbereichen des Mauerwerks war starker Bewuchs mit Efeu und auch Baumbewuchs vorhanden. Die Durchwurzlungen führten zu Destabilisierungen, begünstigten Feuchteinträge und/oder verzögerten Austrocknungsprozesse.

An Steinoberflächen des Wartburgkonglomerats wurden bei Südexposition häufiger Abschälungen und Ausplatzungen festgestellt. Als Ursache wurde hier eine hohe thermische Beanspruchung bei Sonneneinstrahlung aufgrund der sehr dunklen Steinoberflächen angenommen. Bei Vorhandensein sehr grober Körner im Konglomerat kommt es zu Spannungen im Steinmaterial und den genannten Schadbildern. Beispielsweise erforderten die Oberflächenschäden am Südturm in Südexposition einen Verputz zum Schutz des Mauerwerks. Steinkonservatorische Behandlungen der Steinoberflächen und Neuverfugungen wären nur von kurzem Bestand und hätten keinen ausreichenden Schutz des Mauerwerks garantiert.

3 Voruntersuchungen am Mauerwerk

Im Laufe von etwa 20 Jahren ergaben sich im Rahmen sanierungsbegleitender Untersuchungen häufig Fragen zur Auswahl geeigneter Mörtel für Ausbesserungen am Mauerwerk und zur Verfugung von Sichtmauerwerk auf der Wartburg.

In Abbildung 1 befindet sich ein schematischer Grundriss der Wartburg mit der Kennzeichnung der Lagen von Untersuchungsbereichen am Mauerwerk.

Im Jahre 1996 drohten Teile der äußeren Schale der westlichen Wehrmauer unterhalb des Kommandantengrabens abzustürzen. Die Ursachen waren Durchwurzlungen infolge starken Baumbewuchses, dadurch verstärkte Wassereinträge und Frostschäden.

Untersuchungen zum Mauerwerksaufbau ergaben, dass in der äußeren Mauerschale zementhaltige Mörtel (mit etwa 15 M.-% Zementgehalt) als Mauer- und auch als Verfugmörtel vorlagen. In der Mauerschale dahinter waren Gipsmörtel (Gipsgehalte zwischen 70 und 80 M.-%) vorhanden. Treibmineral-

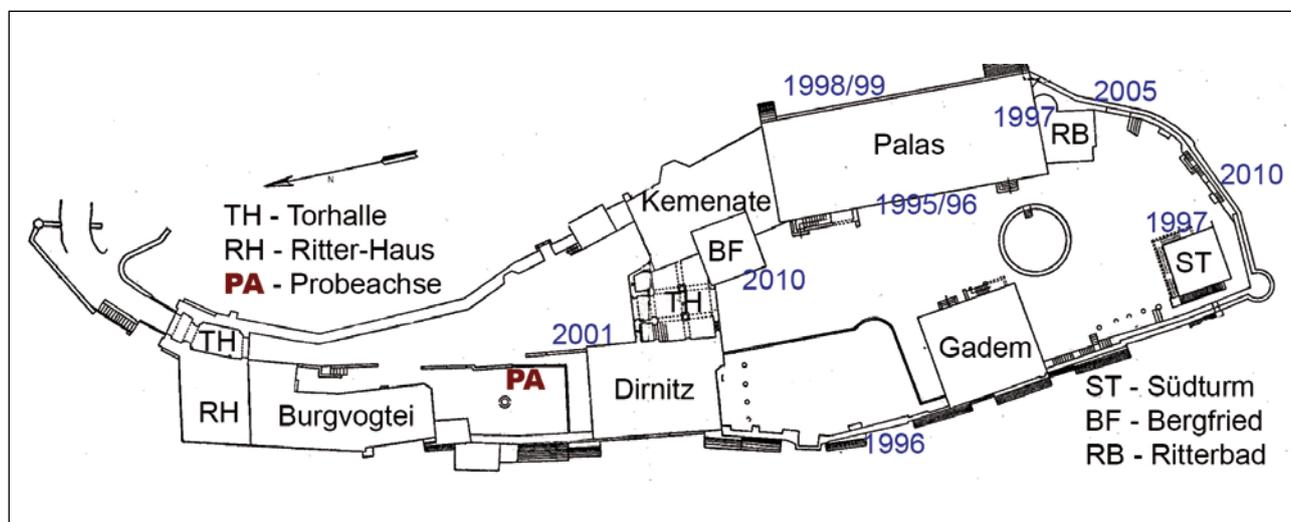


Abb. 1 Übersicht zur Lage der Untersuchungsbereiche auf der Wartburg

bildungen in den Kontaktbereichen zwischen den beiden Mauerschalen wurden in durchfeuchteten Bereichen nachgewiesen. Signifikante Belastungen mit Chloriden und Nitraten waren nicht nachweisbar.

Ebenfalls im Jahre 1996 erfolgten Untersuchungen zu umweltbedingten Veränderungen an Natursteinoberflächen auf der Westseite des Palas. Hierbei konnten Gipseinlagerungen in oberflächennahe Zonen der Sandsteine und Gipskrusten festgestellt werden. Neben den Einträgen aus Luftschadstoffen war auch von Umlagerungen aus gipshaltigen Mörteln im Mauerwerk auszugehen.

Untersuchungen am Südturm im Jahre 1997 ergaben u. a. die bereits oben erwähnten Schäden an Oberflächen des Wartburgkonglomerats bei Südexposition. In Verfugungen im Inneren des Turms (z. B. Deckenbereich) sind Gipsmörtel vorhanden. In den Sichtfugen des Außenmauerwerks waren verschiedene Mörtel nachweisbar. Es handelte sich dabei um Kalkmörtel, Kalk-Zement-Mörtel und hydraulische Kalke mit höheren Anteilen magnesiumhaltiger Bindemittelbestandteile. Letztere sind auch für partiell vorhandene höhere Anteile leicht löslicher Magnesiumsulfate verantwortlich. In Teilbereichen des Mauerwerks (z. B. an der Ostwand) waren zusätzlich hohe Belastungen mit Nitraten und Chloriden nachweisbar.

Ebenfalls im Jahre 1997 wurden am Südgiebel des Palas Untersuchungen durchgeführt. Es ergaben sich Hinweise auf unterschiedlichste Mauer- und Verfügmörtel. In Teilbereichen des Giebels, die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts überarbeitet worden waren, sind gipshaltige Mörtel als Mauermörtel vorhanden. Die Verfugungen bestanden aus verschiedensten Mörteln, die mit denen des Südturms vergleichbar waren. Auffällig waren hier gelbliche bis bräunliche Mörtel, die scheinbar keine Gesteins-

körnungen enthielten. Relevante Salzbelastungen sind nicht festgestellt worden.

An der Ostfassade des Palas wurden in den Jahren 1998 und 1999 umfangreiche Untersuchungen zur Zusammensetzung von Mauer- und Verfügmörteln sowie zu Belastungssituationen durchgeführt. Bei diesen Untersuchungen sind Mörtel mit bräunlicher Bindemittelmatrix, die unterschiedliche Anteile und Arten an Gesteinskörnungen enthielten (aus der Mitte des 19. Jahrhunderts), Kalkmörtel mit groben Gesteinskörnungen (teils noch aus der romanischen Bauzeit), Kalkmörteln mit Anteilen von Gipssteinkörnungen (ohne zeitliche Zuordnung), feine gipshaltige Mörtel (ohne zeitliche Zuordnung) und zementhaltige Mörtel (1926 und Ende der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts) nachgewiesen worden. Die Mörtelarten (z. B. Abb. 2 und 3) spiegeln die unterschiedlichsten Bau- und Reparaturphasen wider und grenzen die Möglichkeiten der Auswahl von neuen Mörteln für Reparaturen stark ein.

Die Heterogenität der Kornzusammensetzungen der Gesteinskörnungen (Abb. 4) und auch die der chemischen Zusammensetzungen (Abb. 5) der verschiedenen Mörtel an der Ostfassade des Palas widerspiegeln auch die Heterogenität der insgesamt an den Gebäuden der Wartburg anzutreffenden Situation.

Im Bereich der Dirnitz waren großflächig gelbliche Mörtel als Verfügung vorhanden. Zu großen Teilen waren sie der Bauphase in der Mitte des 19. Jahrhunderts zuzuordnen. Die Errichtung des Mauerwerks erfolgte mit Kalkmörteln. Untersuchungen im Jahre 2001 ergaben Hinweise auf die Verwendung von Romanzementen bzw. Romankalken für die Verfugungen. Diese Hinweise fanden sich auch an anderen Bauwerken der Wartburg (siehe auch [6]).



Abb. 2 Der Mörtel WPAO42.1 ist ein Gipsmörtel und der braune Mörtel enthält Romanzement als Bindemittel.



Abb. 3 Der Mörtel WPAO42.3 befindet sich direkt neben dem braunen Mörtel und enthält sehr grobe Gesteinskörnungen.

Abb. 4
Siebdurchgangslinien für Gesteinskörnungen aus Mörteln von der Ostfassade des Palas

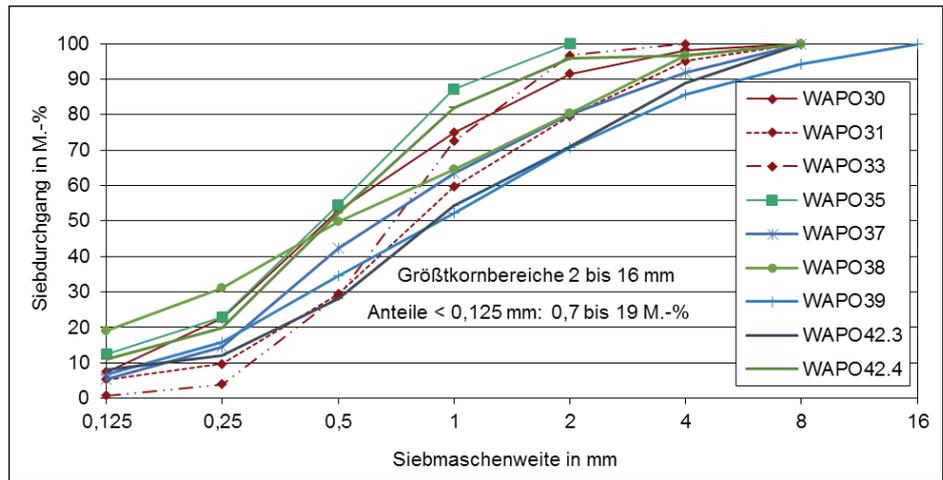


Abb. 5
Ergebnisse chemischer Analysen an Mörteln von der Ostfassade des Palas

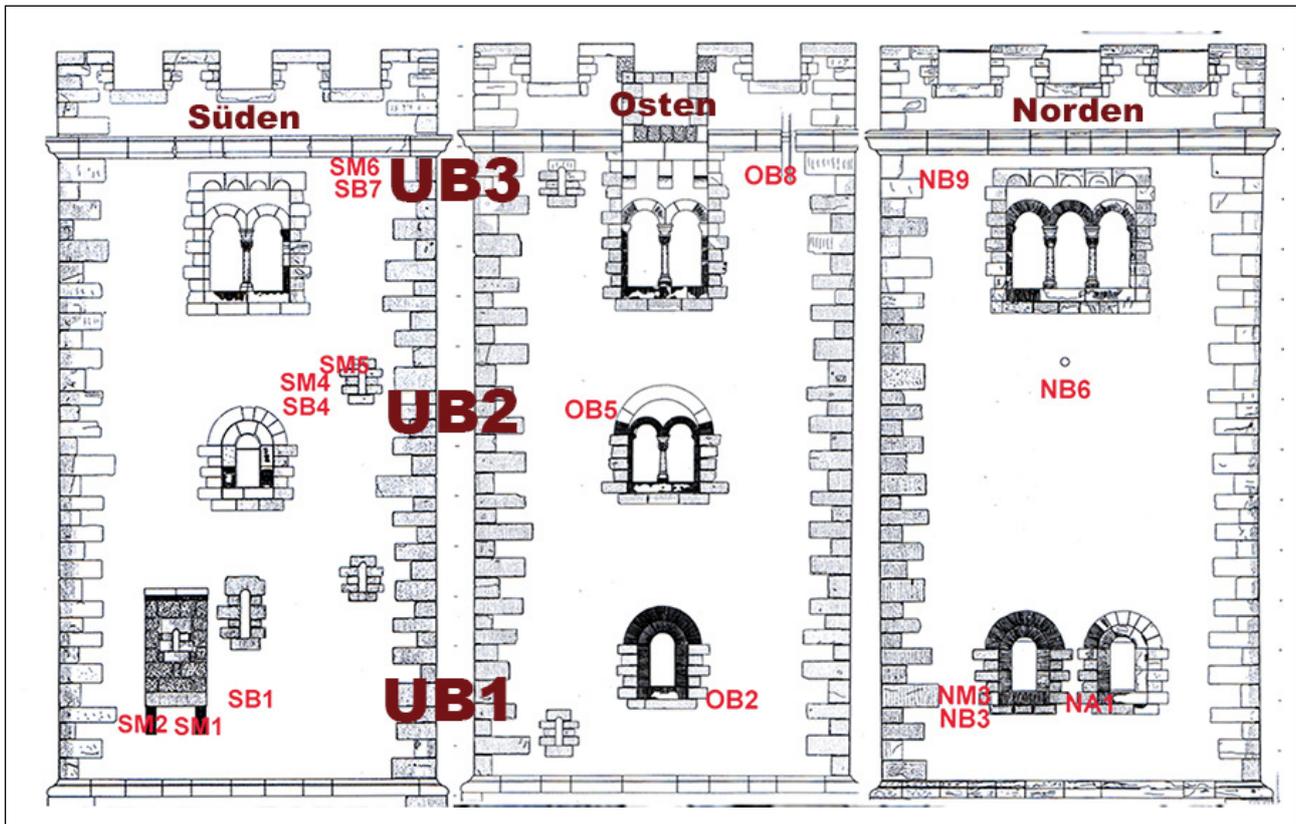
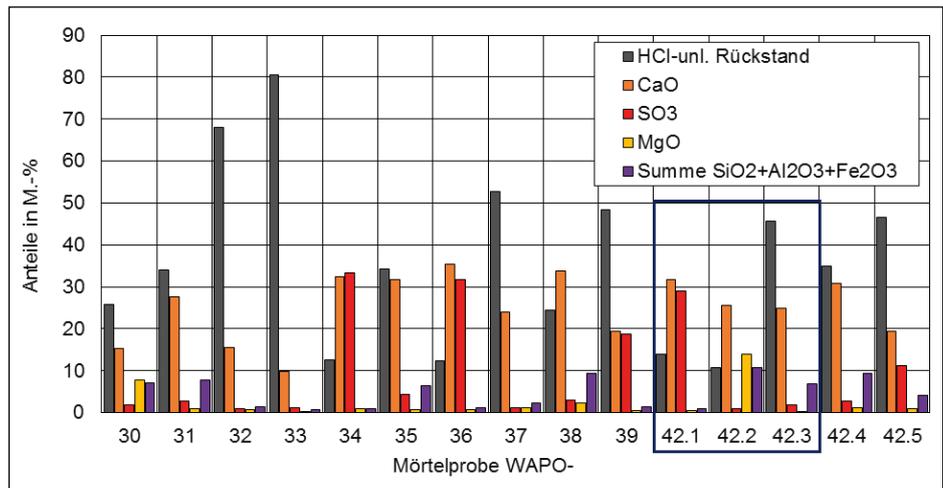


Abb. 6 Kennzeichnung der Probenahmestellen in Fugen des Bergfrieds



Abb. 7 Bereich an der Stelle NB9 in Abbildung 6

Ab 2005 erfolgten weiterhin Untersuchungen an den südlichen Wehrmauern und am Bergfried der Wartburg. Am Bergfried war die Situation mit der Dirmitz vergleichbar. Die Belastung der Oberflächen und die Rückwitterungen waren auf Grund der Exposition jedoch stärker ausgeprägt. Im Inneren fanden sich an verschiedenen Stellen Gipsmörtel als Putz und als Mauermörtel. Die Fugenbereiche der südlichen Wehrmauer waren stark ausgewittert und verschiedene Mörtel, die zuvor auch an anderen Objekten der Wartburg identifiziert worden waren, sind hier ebenfalls vorhanden. Im Mauerwerk sind partiell gipshaltige Mörtel nachgewiesen worden. Ebenso waren Nitrat- und Chloridbelastungen vorhanden. Die Chloridbelastungen in den Wehrmauern waren teilweise auf die Verwendung von salzbelasteten Werra-sanden für Reparaturen und partielle Neuaufbauten zurückzuführen.

Sehr hohe Materialfeuchten wurden in den Proben südlicher Exposition (Abb. 8, SB7) ermittelt. Bedingt durch die angrenzende Bebauung kam es zu Abweichungen der Witterungsbeaufschlagung im Vergleich zu den regional üblichen Beanspruchungen.

Mit der Gebäudehöhe nehmen an der Nordwand (Abb. 9) auch die Materialfeuchten in den Bohrprofilen und somit im Mauerwerk zu. Über eine geeignete Verfugung muss hier der Witterungsschutz wieder hergestellt werden.

Die wasserlöslichen Salze (Abb. 10 und 11) in den Mörtelproben des Bergfrieds werden durch Gips bestimmt. Neben Einflüssen aus der Umwelt ist partiell mit Umlagerungen aus dem Inneren des Bergfrieds (aus gipshaltigen Putzen) zu rechnen.

Es fällt bei den wasserlöslichen Bestandteilen häufig das Vorkommen von Magnesium auf. Mitte des 19. Jahrhunderts kamen mit den Romanzementen magnesiumhaltige Bindemittel zu Einsatz. Vergleichbare Situationen sind an nahezu allen Gebäuden auf der Wartburg anzutreffen.

Schäden an den Wehrmauern waren auch auf Wässer, die vor allem in erd- und felsberührten Mauer-teile eindringen, zurückzuführen. Zur Reduktion der Feuchtebelastungen im Bereich der Burgmauern sind ab 2010 eine Vielzahl von Drainagebohrungen angelegt worden. Das dort gewonnene Bohrmaterial wurde gesichtet, untersucht und Informationen zu den vorhandenen Baustoffen aufgenommen.

Aus dem gewonnenen Bohrkernmaterial sind Mörtel- und Betonproben nach visueller Zuordnung entnommen und Tiefenbereichen zugeordnet worden. Zur orientierenden Einordnung der Proben erfolgten Bestimmungen der „fiktiven Gipsgehalte“ (nach [7]) durch stufenweise Trocknung bei 40 und 105 °C und elektrochemische Messungen an Eluatlen aus den Baustoffen.

Aus den Untersuchungen (Abb. 13) ergaben sich Hinweise auf relevante Gipsgehalte in Baustoffen und auch auf das Vorhandensein von Baustoffen mit hydraulischen Bindemitteln. Für die hier dargestellten Bohrungen zeichnet sich ab, dass in den unteren Tei-

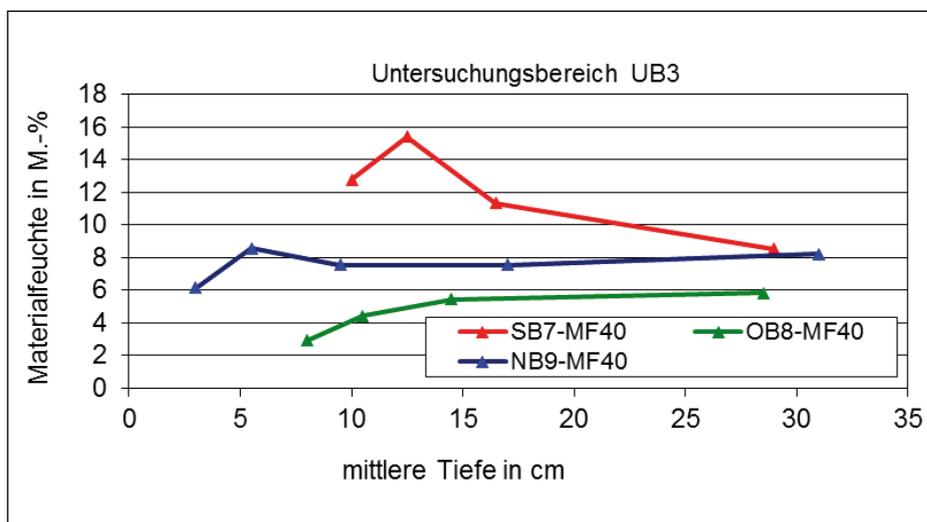


Abb. 8 Materialfeuchten in Mörteln im Untersuchungsbereich 3 (siehe auch Abb. 6)

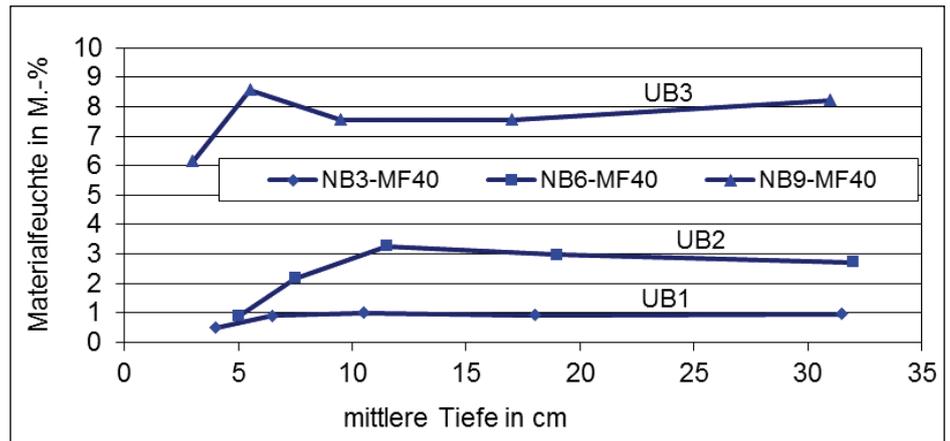


Abb. 9
Materialfeuchten in Mörteln von der Nordwand (siehe auch Abb. 6)

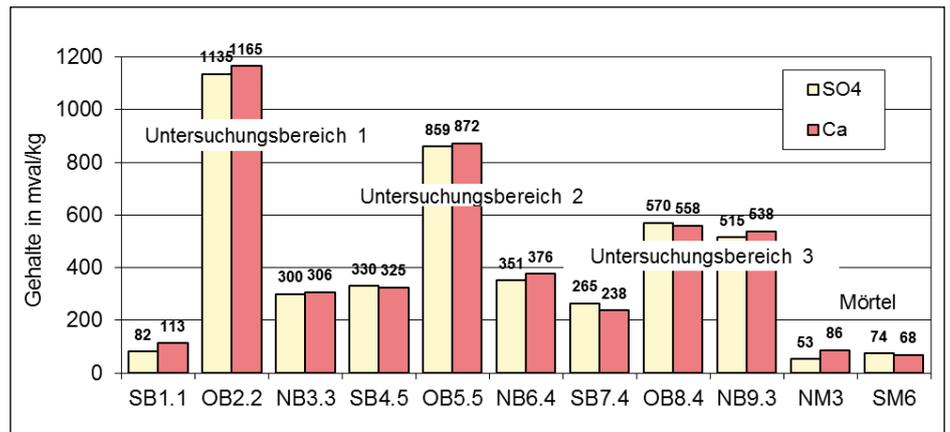


Abb. 10
Wasserlösliches Sulfat und Calcium in Mörteln vom Bergfried

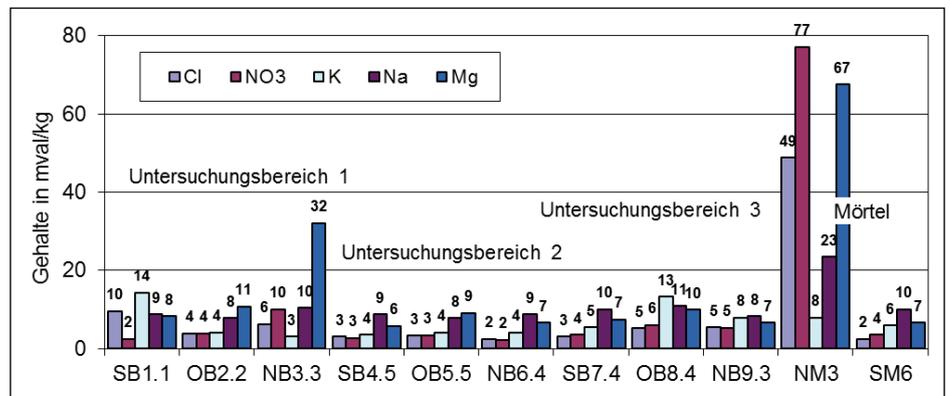


Abb. 11
Wasserlösliche Ionen in von Mörteln vom Bergfried

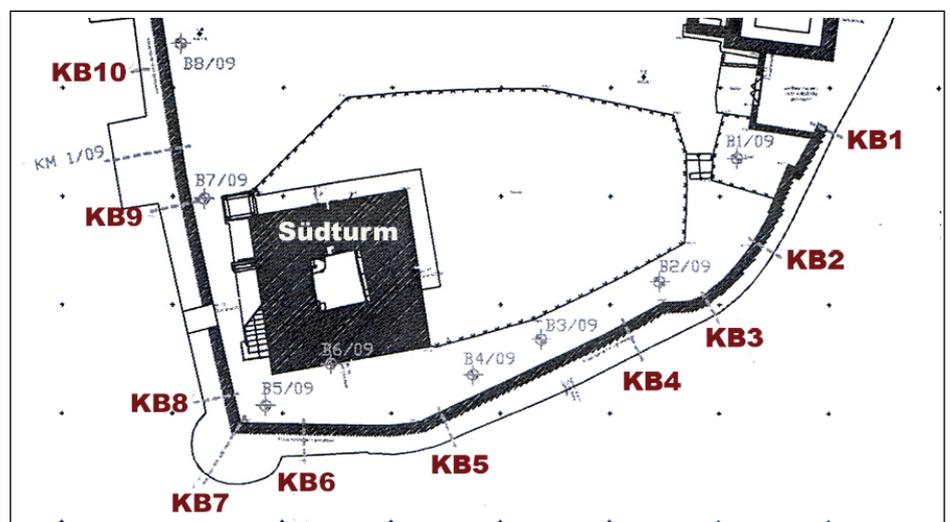


Abb. 12
Südliche Wehrmauer mit Kennzeichnung der Lagen von Drainagebohrungen