

naturstein sanierung stuttgart 2018

Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse
und messtechnische Erfassungen

16. März 2018

Fraunhofer IRB Verlag

<https://doi.org/10.51202/9783788600999> - Generiert durch IP 216.78.216.38, am 22.01.2028, 01:40:00. © Urheberrechtlich geschützter Inhalt. Ohne gesonderte Erlaubnis ist jede urheberrechtliche Nutzung untersagt, insbesondere die Nutzung des Inhalts in Zusammenhang mit, für oder in KI-Systemen, KI-Modellen oder Generativen Sprachmodellen.

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

Natursteinsanierung Stuttgart 2018

**Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen
sowie Sanierungsbeispiele**

Tagung am 16. März 2018 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
Email: gabriele.grassegger@hft-stuttgart.de
Zentrales Telefon, Labor: (0711) 8926 2646
Schwerpunkt: Sanierungstechnik, Untersuchung von Baudenkmälern, „Conservation Sciences“

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

Konrad Triltsch GmbH – Ochsenfurt-Hohstadt

Einband

Burg Landeck, Klingenmünster
Foto: Walter Simon
Fotogrammetrie: MESSBILDSTELLE GmbH, Dresden

1. Auflage
2018 Fraunhofer IRB Verlag,
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

ISBN (Print): 978-3-7388-0098-2
ISBN (E-Book): 978-3-7388-0099-9

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 an der Fachtagung Natursteinsanierung 2018
in Stuttgart, liebe Leserinnen und Leser,**

Ganz herzlich begrüßen wir Sie zur Fachtagung und wünschen Ihnen einen erfolgreichen interdisziplinären Austausch sowie viele neue Anregungen für Ihre Arbeit in der Forschung und in der Praxis.

Die Beiträge zur 24. Tagung von Denkmalpflegern, Restauratoren, Architekten und Ingenieuren, ausführenden Firmen sowie Kollegen aus Forschung und Lehre möchten Ihnen neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen vorstellen. EU gestützte Forschung zu Nano-Materialien zur Gesteinsrestaurierung, die Untersuchung an einem Dom-Pflegefall, ein Steinernes Album in anstehendem Gestein, eine vom Krieg gezeichnete und wieder reparierte Natursteinfassade in Berlin und auch der Frage, ob historische Eisenbahnbrücken „noch zu retten sind“, dem allen gehen die Vorträge nach. Diese und weiterführende Informationen finden Sie in dem vorliegenden Tagungsband. In Ergänzung dazu bietet sich im Foyer der HFT Stuttgart die Möglichkeit, sich an Firmenständen über neue sowie altbewährte Produkte und Arbeitsmaterialien zu informieren, Kontakte zu knüpfen und Erfahrungen auszutauschen. Fachliteratur steht Ihnen bereit an den Informationsständen des Fraunhofer IRB Verlages und des Landesdenkmalamtes Baden-Württemberg Esslingen.

Die diesjährige Exkursion führt uns in die Pfalz zur Burg Landeck bei Klingenmünster. Mit drei Fachvorträgen werden auf der Tagung in Stuttgart Projektmaßnahmen an diesem bedeutenden Kulturdenkmal in Rheinland-Pfalz vorgestellt und vor Ort besteht die Möglichkeit, die Instandsetzungen und den Umgang mit der Burg vor Augen zu führen und zu diskutieren. Eine kleine Kapelle des Nikolaus überrascht als Schatzkästchen in den Weinbergen in der Nähe der Burg Landeck.

Mit den ausgewählten Themenschwerpunkten und dem Material an den Informationsständen wollen wir Ihnen zwei spannende und anregende Tage bieten. Wir wünschen Ihnen einen interessanten fachlichen Austausch, viele neue Anregungen und Ideen für Ihre Arbeit.

Gabriele Patitz

Gabriele Grassegger

Otto Wölbert

Gunnar Siedler Sebastian Vetter	Qualitätskriterien bei der Ausschreibung von photogrammetrischen Leistungen	7
Andreas Bruschke	Vorschläge zur Qualitätssicherung von Bauaufnahmen am Beispiel der Porta Nigra in Trier	23
Johannes Schubert	Der Xantener Dom im Wandel der Zeit, neu aufgebaut und doch Pflegefall? Die vielfältigen Aufgaben der Xantener Dombauhütte heute	33
Jeannine Meinhardt Katja Schmeikal Benjamin Hübner	Das Steinerne Album in Großjena. Die Problematik der nachhaltigen Pflege von Objekten im anstehenden Gestein und der Umgang mit der erfolgten Altkonservierung	47
Ulrich Ellwart Heiko Krüger	Konservatorische Sicherung einer kriegsversehrten Natursteinfassade in Berlin-Mitte – Werkbericht und Rezeption	59
Elisabeth Mascha Johannes Weber Matea Ban	Forschung zu Nano-Materialien für die Gesteinsrestaurierung. Auswirkung von Festigungsmaßnahmen in Laborversuchen im Rahmen des EU-Projektes Nano-Cathedral	75
Ludolf Krontal Rüdiger Burkhardt	Historische Eisenbahnbrücken – sind diese noch zu retten?	89
Doris Stolle	Von den Befestigungen der Grafen von Leinigen bis zur Einnahme durch die Burgenfreunde. Die Nutzungen der Burg Landeck	103
Petra Egloffstein	Die Burgruine Landeck in Klingenmünster/Pfalz. Instandsetzung der Burgmauern mit besonderer Problematik der Mauerkronen	111
Rita Reich	Der Landeckverein – Hüter der Burg	121
Karin Schinken	Die Wandmalereien in der Nikolauskapelle Klingenmünster – früher, heute, zukünftig?	125
	Autorenverzeichnis	133

Qualitätskriterien bei der Ausschreibung von photogrammetrischen Leistungen

von Gunnar Siedler und Sebastian Vetter

Die rasante Entwicklung der Mess- undameratechnik, der Rechentechnik (Hardware, Betriebssysteme) und der digitalen Auswertemethoden führt zu einer immer größeren Kluft zwischen den Dokumentationen anbietenden Büros, den Nutzern der entstandenen Dokumentationen sowie den Auftraggebern dieser Leistungen. Eventuell vorhandene „Richtlinien“, „Leitfäden“ oder „Handreichungen“ für die Beschreibung dieser Leistungen sind schnell veraltet, von Bundesland zu Bundesland sehr verschieden und zum Teil auch widersprüchlich.

Daraus ergibt sich die Fragestellung:
Wie kann man Dokumentationsleistungen allgemeingültig abfragen, unabhängig von den aktuellen technologischen Entwicklungen und den verschiedenen Herangehensweisen der Dokumentationsfirmen?

Auf Grund langjähriger Erfahrung in der Dokumentation für die Denkmalpflege und in der Softwareentwicklung haben die Autoren das Hintergrundwissen, photogrammetrische Methoden für die Bildauswertung und die digitale Kartierung zu entwickeln.

Die fokus GmbH Leipzig ist ein Ingenieurbüro, das seit 1993 digitale Photogrammetrie im Bereich der Dokumentation speziell für die Restaurierung praktiziert und dabei verschiedenste Qualitätsstufen hinsichtlich der Erzeugnisqualität und der eingesetzten Methoden an einer Vielzahl von Projekten angewendet hat.

Derzeit ist eine rasante Entwicklung der Mess- und Kamertechnik, der Rechentechnik (Hardware, Betriebssysteme) und der digitalen Auswertemethoden abzusehen. Diese Tatsache führt zwangsläufig zu einer immer größeren Kluft zwischen den Dokumentationen anbietenden Büros (Vermessung, Photogrammetrie und Laser-scanning), den Nutzern der entstehenden Dokumentationen (Architekten und Restauratoren) sowie den Auftraggebern (Bauämter, Denkmalbehörden) dieser Leistungen. Eventuell vorhandene „Richtlinien“, „Leitfäden“ oder „Handreichungen“ für die Beschreibung dieser Leistungen sind schnell

veraltet, von Bundesland zu Bundesland sehr verschieden und zum Teil auch widersprüchlich.

Daraus ergibt sich die Fragestellung: Wie können Dokumentationsleistungen allgemeingültig abgefragt werden, unabhängig von den aktuellen technologischen Entwicklungen und den verschiedenen Herangehensweisen der Dokumentationsfirmen?

Wie können diese Leistungen angefordert werden, ohne die technologischen Hintergründe kennen zu müssen?

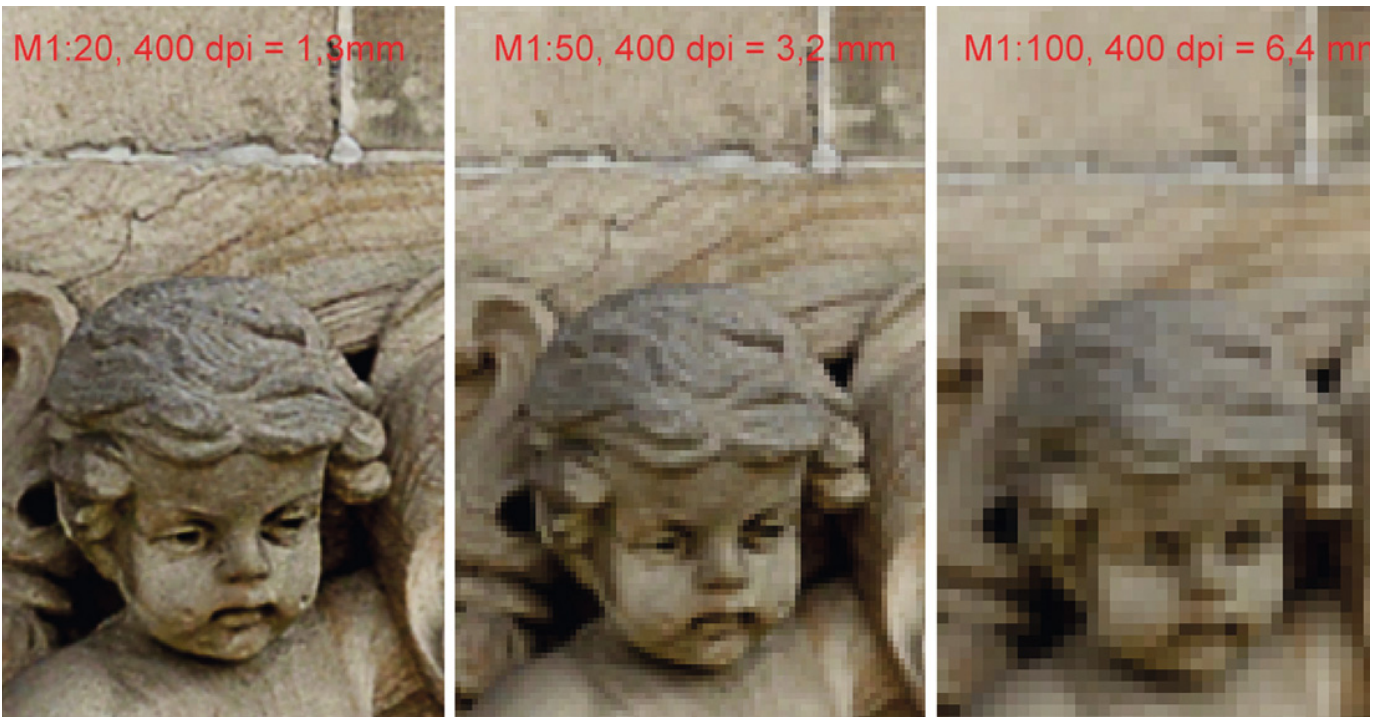
Es wird ein Überblick über allgemeingültige Qualitätsparameter sowie aktuell gültige Auswertemethoden gegeben.

1 Definition Qualitätsparameter

1.1 Bildmaßstab/Bildauflösung

Bei der Qualifizierung von graphischen Aufmaßplänen (egal ob Grundrisse, Schnitte oder Ansichten) ist je nach Objekttyp neben dem Auswertemaßstab und der damit verbundenen Genauigkeit auch immer eine Definition der erforderlichen thematischen Inhalte und deren Darstellungsgenauigkeit erforderlich.

Bild 1
Detailauflösung in Abhängigkeit
vom Bildmaßstab 1:20, 1:50,
1:100 bei 400 dpi Bildauflösung



Bei der Qualifizierung von photogrammetrischen Abbildungsverfahren ohne graphische Auswertung/Interpretation lässt sich die Aufgabenstellung wesentlich einfacher beschreiben. Letztendlich reduziert sich die Arbeit auf eine objektive Erfassung/Darstellung des Objektes (2D Bildentzerrung, 3D Orthoprojektion oder texturiertes Oberflächenmodell). Je nach Aufgabenstellung am Objekt muss die erforderliche Detailauflösung (Pixelgröße am Objekt) abhängig von Bildmaßstab/ Bildauflösung sowie die Herstellungsgenauigkeit vorgegeben werden damit der nachfolgende Anwender (Architekt, Fachplaner, Restaurator, ausführende Firma ...) seine eigene graphische/maßbliche Auswertung und inhaltliche Interpretation vornehmen kann. Dabei sollte das Arbeitsergebnis des Dokumentationsdienstleisters den Endanwender bei seiner Arbeit unterstützen und nicht durch fehlende Auflösung und maßbliche Ungenauigkeit behindern! Die erforderliche Detailauflösung wird traditionell über Bildauflösung und Bildmaßstab definiert, woraus sich die metrische Größe eines Pixels am Objekt ableiten lässt. Bei einer Bildauflösung von 400 dpi (400 Punkte pro Inch = 25,4 mm) ergibt sich eine Punktgröße von 0,06 mm. Wird nun die Punktgröße mit dem Bildmaßstab multipliziert, ergibt sich daraus die metrische Größe eines Pixels am Objekt, d.h. 0,06 mm beim Maßstab 1:1,

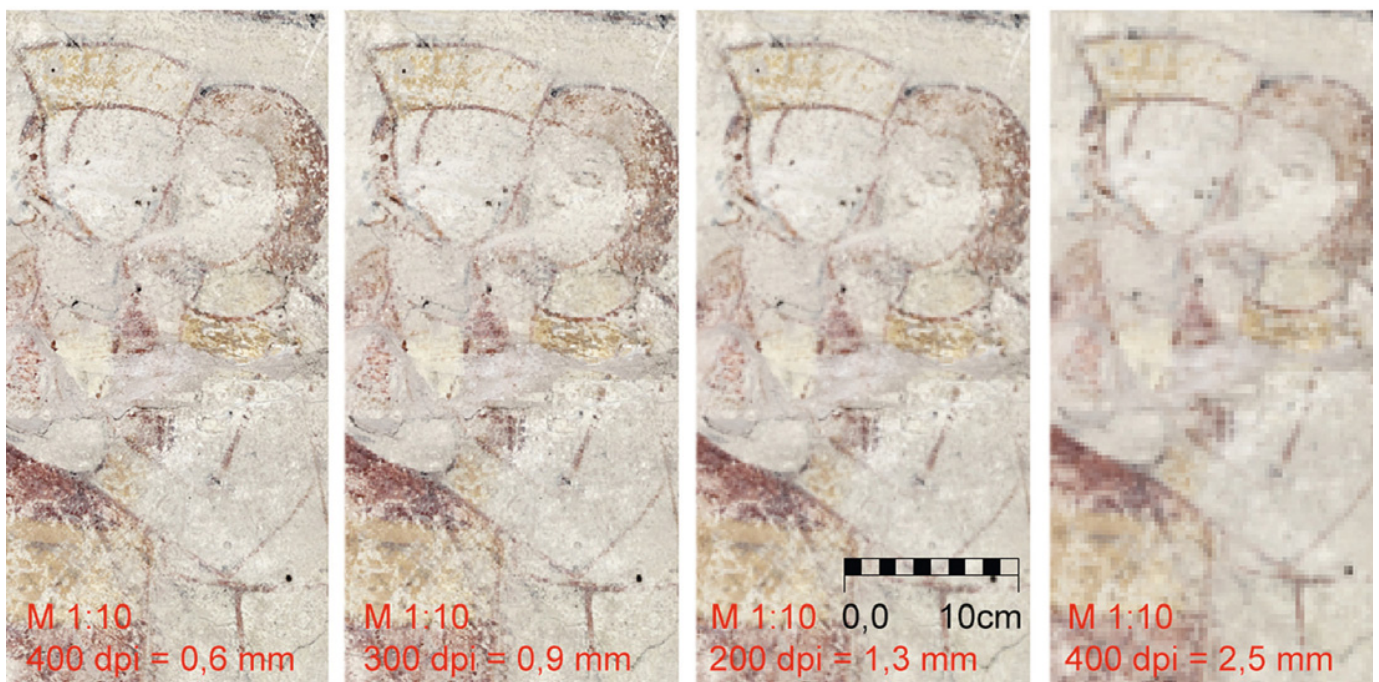
1,3 mm beim Maßstab 1:20 und 3,2 mm beim Maßstab 1:50 (Bilder 1 und 2).

Da Bildmaßstab und Bildauflösung gleichzeitig als variable Parameter in die Berechnung einfließen, müssen beide Parameter bei der Beschreibung der Detailauflösung auch gleichzeitig benannt werden, da z. B. ein Maßstab von 1:100 bei 400 dpi gleich 1:50 bei 200 dpi ist und 6,4 mm Pixelgröße am Objekt ergibt.

Um Unklarheiten bei der Verwendung von Maßstab und Bildauflösung zu vermeiden und fragwürdige Dienstleistungen mit Bildauflösungen etwa von 100 dpi und damit schlechter Qualität auszuschließen, ist es sinnvoll, die erforderliche Bildauflösung in der Aufgabenstellung auf 400 dpi für den Dokumentationsdienstleister festzuschreiben. Dann lässt sich die erforderliche Detailauflösung über den einen Parameter Bildmaßstab, wie man es bei der Anwendung traditionell gewöhnt ist, beschreiben.

Denkbar wäre, dass man bei der Anforderung an die Detailauflösung zwei Qualitätsstufen einführt, 400 dpi für den Dokumentationsdienstleister und 200 dpi für den Endanwender (Restaurator, ausführende Firma ...), wenn in Abhängigkeit der Objektanforderungen eine Beauftragung eines Dokumentationsdienstleisters nicht erforderlich oder möglich ist.

Bild 2
Detailauflösung in Abhängigkeit von Bildauflösung 100, 200, 300 und 400 dpi bei Maßstab 1:10



1.2 Genauigkeit

Die Definition von zu erbringenden Auswertegenauigkeiten findet bei vielen Ausschreibungen erstaunlicher Weise keine Beachtung mehr. Ein Grund hierfür ist der weit verbreitete Irrglaube, dass der Einsatz eines Laserscanners oder die Flugshow einer Drohne mit fragwürdigem Kamerasensor entsprechende Anforderungen nicht mehr erfordert. Der Wunsch der Optimierung von Kosten bei der Vergabe von Dokumentationsleistungen (gern auch im Paket von mehreren Objekten zum pauschalen Flächenpreis) ist keine Seltenheit mehr. Hierbei muss aber auch erwähnt werden, dass nüchtern kalkulierende Dienstleister dies im Sinne einer günstigen „wettbewerbsfähigen“ Angebotskalkulation auch nicht hinterfragen.

Prinzipiell sollte die Detailauflösung im Sinne der bildhaften Zustandsdokumentation höher sein als die Auswertegenauigkeit, d. h. Objekteigenschaften müssen im Bild mit einer höheren Bildauflösung beurteilt werden können als diese zu messen sind.

Als denkbar einfachen Richtwert kann man hier die traditionelle Faustregel von 0,5 mm im Plan für den analogen Maßabgriff auf dem Papierplan auch für digitale photogrammetrische Erzeugnisse übernehmen. Für den Maßstab 1:50 bedeutet dies z. B. $\pm 2,5\text{cm}$ auf der jeweiligen Maßstabsebene (Tabelle in Bild 3). In Abhängigkeit der Objektgröße lassen sich diese Genauigkeiten über einfache Streckenmessung, Bildentzerrung nach Koordinaten, mit Tachymetrie, TLS oder SfM ohne weiteres erreichen.

Dabei sollte es für den Dienstleister bei seriöser Projektbearbeitung kein Problem sein entsprechende Genauigkeiten verfahrensübergreifend einzuhalten. Die Erklärung hierfür ist relativ einfach. Wenn bei einer 2D Bildentzerrung bzw. einer 3D Orthogonalprojektion eine Detailauflösung im Maßstab 1:50 bei 400 dpi Auflösung (3,2 mm Pixelgröße am Objekt / 25 mm Genauigkeit) erreicht werden soll, so müssen zwangsweise bei den einzelnen Arbeitsschritten wie der Messung von Referenzkoordinaten, der Scanner- bzw. der Bildorientierung sowie der Auflösung von Scan bzw. Bild- daten, auch Mindestanforderungen an die Arbeit gestellt werden, um effizient und fehlerfrei entsprechende Bildpläne montieren/erstellen zu können.

Es geht hier sicherlich nicht darum in Ausnahmefällen an stark deformierten Objekten, bei komplizierten Aufnahmesituationen oder an ausgebrochenen Objektkanten unrealistische Genauigkeitsansprüche zu stellen. Aber der Dienstleister muß anhand seiner Technik und seiner Vorgehensweise nachweisen können, dass das Erreichen der geforderten Auswertegenauigkeit unter normalen Umständen realistisch ist.

Aus der Tabelle in Bild 3 können für verschiedene Anwendungsgebiete Bearbeitungsmaßstäbe, die zwei Qualitätsstufen an die Bildauflösung (bei 400 dpi und 200 dpi) und die aus dem Bildmaßstab resultierenden Anforderungen an die Auswertegenauigkeit entnommen werden.

1.3 Referenzmaße

Unabhängig von der eingesetzten Auswertemethode bilden Referenzmaße bzw. Referenzkoordinaten bei allen photogrammetrischen Verfahren die Grundlage für die maßstäbliche Abbildung des Objektes.

Bei kleineren Objektflächen (z. B. Wandflächen im Innenraum, Fußböden oder Gemälden) ist die Verwendung von manuell gemessenen Referenzstrecken bei der Einzelbildentzerrung eine durchaus zuverlässige Herangehensweise. Ist jedoch in Abhängigkeit von Objektgröße und Bearbeitungsqualität (Maßstab/Auflösung) die Montage einer größeren Anzahl von Bildern erforderlich, empfiehlt es sich, die Verwendung von tachymetrisch gemessenen Koordinaten als Arbeitsgrundlage vorzugeben.

Prinzipiell ist auch die Verwendung von Scanndaten (Orthoprojektion mit Intensitätseinfärbung) als Grundlage für die 2D Bildentzerrung möglich. Dabei ist jedoch in Abhängigkeit der gewünschten Bearbeitungsqualität zu berücksichtigen, dass Genauigkeit und Auflösung (Punktdichte) der Punktwolke ausreichend sein müssen (Bild 4).

Bei der Verwendung von vorhandenen CAD Zeichnungen muss deren verfahrensbedingte Auswertegenauigkeit hinterfragt werden (tachymetrisches Aufmaß, Stereophotogrammetrie, Architektenzeichnung).

Fachrichtung Pixelgröße 400dpi Pixelgröße 200dpi Genauigkeit	1:1 0,06mm 0,13mm 0,5mm	1:2 0,13mm 0,25mm 1,0mm	1:5 0,32mm 0,63mm 2,5mm	1:10 0,63mm 1,3mm 5,0mm	1:20 1,3mm 2,6mm 1,0cm	1:50 3,2mm 6,3mm 2,5cm	1:100 6,3mm 12,7mm 5,0cm
Architekten/ Gutachter					x	x	x
Bauforschung			Detail	steingerecht Detail	steingerecht	allgemeine Übersichten	
Feldarchäologie			Gräber, andere Details	Profile, Ansichten Gräber	Plane		
Restaurierung	1:1	1:2	1:5	1:10	1:20	1:50	1:100
Stein				x	x	x	
Wandmalerei / Stuck			x	x	x		
Holz / Objekte		x	x	x			
Gemälde / Textil / Papier	x	x	x				

Bild 3

Übersicht über die erforderliche Detailauflösung in Abhängigkeit der Anwendungsgebiete; Detailauflösung (Pixelgröße am Objekt) bei 400 dpi und 200 dpi Auswertegenauigkeit in Abhängigkeit des Bildmaßstabes (0,5 mm × Bildmaßstab)

Bild 4

Übersicht der Verwendbarkeit der verschiedenen Messergebnisse/Messverfahren als Referenzdaten im Bereich Bildentzerrung/Orthogonalprojektion in Abhängigkeit von Bildmaßstab /Genauigkeit

Messverfahren Pixelgröße 400 dpi Genauigkeit	1:1 0,06mm 0,5mm	1:2 0,13mm 1,0mm	1:5 0,32mm 2,5mm	1:10 0,63mm 5,0mm	1:20 1,3mm 1,0cm	1:50 3,2mm 2,5cm	1:100 6,3mm 5,0cm
Einzelbildentzerrung / Orthoprojektionen	1:1 0,5 mm	1:2 1,0 mm	1:5 2,5 mm	1:10 5 mm	1:20 1,0 cm	1:50 2,5 cm	1:100 5 cm
Geometrie (Handaufmaß)		?	?	x	x	x	x
Tachymeter mit Matching	x	x	x	x	x	x	x
Architekturscanner Nahbereichsscanner	x	x	x	?	x	x	x
CAD-Zeichnung -Tachymeter -Stereophotogrammetrie -Architektenaufmaß				?	x	x	x
Bildentzerrung und Montage zu Bildplänen/ Orthoprojektionen	1:1 0,5 mm	1:2 1,0 mm	1:5 2,5 mm	1:10 5 mm	1:20 1,0 cm	1:50 2,5 cm	1:100 5 cm
Geometrie (Handaufmaß)				?	x	x	x
Tachymeter mit Matching	x	x	x	x	x	x	x
Architekturscanner				?	x	x	x
CAD-Zeichnung -Tachymeter -Stereophotogrammetrie -Architektenaufmaß					?	x	x

Beim 3D Laserscanning erfolgt durch das Messverfahren bereits eine maßstabsgerechte Erfassung des Objektes. Tachymetrisch gemessene Referenzkoordinaten sind in diesem Fall die Grundlage, um Scandaten von mehreren Scannerstandpunkten und aus verschiedenen Objektbereichen in einem gemeinsamen Koordinatensystem zu referenzieren.

In Abhängigkeit der verwendeten Software für die Berechnung der Stationierung, der eingesetzten Zielmarken und der Konfiguration der Scannerstandpunkte sind Stationierungsgenauigkeiten von 2–5 mm praktisch möglich. Die Realität sind aber meistens deutlich schlechtere Ergebnisse.

Die Stationierungsgenauigkeit der Scannerstandpunkte lässt aber nur bedingt eine Aussage über die tatsächlich erreichte Messgenauigkeit des Laserscanners am Objekt zu. Diese ist tatsächlich von vielen Faktoren abhängig. Zu nennen sind hier das Messverfahren des Scanners (Laufzeit, Phasendifferenz), die entfernungsabhängige Streckenmessgenauigkeit, die entfernungsabhängige Bündelung des Lasers und das damit verbundene Auflösungsvermögens der Oberflächenstruktur. Die Genauigkeit wird außerdem beeinflusst vom Auftreffwinkel des Lasers am Objekt, Messfehlern an Kanten und der Reflektionseigenschaft des Objektes (Farbe, Material und Struktur). Während unter guten Gesamtbedingungen im Nahbereich eine Messgenauigkeit von 2–5 mm durchaus erreichbar ist, sind bei größeren Entfernungen (20–30 m) im Architekturbereich Fehler von 5–10 mm und größer durchaus realistisch.

Hinzu kommt, dass jeder Scanner als Individualsystem zu verstehen ist, d.h. die tatsächliche Messgenauigkeit kann durch eine Dekalibrierung noch viel schlechter sein. Hier spielen Wartung (regelmäßige Scannerkalibrierung) und Umgang mit der Technik eine wichtige Rolle. Eine fehlerhafte Prozessierung der Scandaten kann das Ergebnis dann endgültig verderben.

In diesem Zusammenhang muss noch einmal darauf verwiesen werden, dass eine Punktwolke mit einer Punktdichte von 2–3 mm, die gern vom

Dokumentationsdienstleister versprochen wird, keine Aussage über die tatsächliche Genauigkeit der Objekterfassung zulässt! Dabei ist es unerheblich, mit welchem Verfahren – TLS oder SfM – diese Punktdichte erzeugt wurde.

Beim Einsatz der digitalen Photogrammetrie (Structure from Motion – SfM) zur Erzeugung einer Punktwolke ist die Genauigkeit von ähnlichen Fehlereinflüssen wie beim 3D Laserscanning abhängig. Zu nennen wären hier die Verteilung der Aufnahmen am Objekt, die Abtastgenauigkeit (Bildauflösung), Aufnahmekonfiguration und der Aufnahmewinkel an Oberflächen und Kanten.

Die wichtigsten Parameter sind Sensorgröße und Sensorauflösung der Kamera für die Aufnahme der Ausgangsbilder. Die Auswertegenauigkeit (Matchinggenauigkeit) ist proportional zur Bildauflösung der Ausgangsbilder. Für das Matching der identischen Punkte wird je nach Aufnahmekonfiguration eine Umgebung von 7–19 Pixel im Quadrat herangezogen: d. h., bei nicht genügender Bildauflösung entstehen am Oberflächenmodell die gleichen „Abtastfehler“ wie beim Terrestrische Laserscanning (TLS) in Abhängigkeit der Bündelung des Lasers. Eine unregelmäßige Aufnahmekonfiguration (Verteilung der Aufnahmen über das Objekt) kann zu „Deformationen“ im Rahmen der Bündelausgleichung führen.

Als Referenzinformation zur absoluten Skalierung des Modells kann eine einzelne Strecke ausreichend sein. Bei Fassadenprojekten empfiehlt es sich aber, zur Kontrolle tachymetrisch gemessene Punkte als Referenzkoordinaten einzuführen.

Bei ungünstiger Objekttextur (homogene Farboberflächen, glatte und reflektierende, helle und dunkle Oberflächen) kann durch fehlerhaftes Matching ein ähnliches „Messrauschen“ an der Oberfläche wie beim TLS entstehen.

Ein großer Vorteil vom SfM ist die erreichbare hohe Detailauflösung bei kleineren Objekten. Günstige Anschaffungskosten für Kamera und Software werden zum Teil noch durch den hohen Rechenaufwand und die dazu benötigte PC-Hardware zur Prozessierung der Daten aufgehoben.

1.4 Kamerasensor

Bei der Vorgabe der erforderlichen Kameratechnik ist eine DSLR Kamera mit Vollformatsensor (24 × 36 mm) in der heutigen Zeit eine Minimalanforderung, die jeder Dokumentationsdienstleister erfüllen kann.

Die Sensorauflösung liegt bei den heutigen Kameras zwischen 24 und 50 Megapixeln. Die Anschaffungskosten bewegen sich dabei für diese Kameras zwischen 1.500 und 6.000 EUR zuzüglich der Kosten für geeignete Objektive. Der Einsatz der hochauflösenden Sensoren führt aber nur zu den gewünschten Ergebnissen, wenn neu gerechnete Objektive mit dem entsprechenden optischen Auflösungsvermögen eingesetzt werden. Außerdem ist bei der Aufnahme eine Objektbeleuchtung erforderlich, die Aufnahmen mit niedrigen ISO-Empfindlichkeiten sicherstellt. Steht eine solche Ausrüstung nicht zur Verfügung, so kann der Einsatz von Vollformatsensoren mit geringerer Auflösung bei einer größeren Zahl von Aufnahmen durchaus sinnvoll sein. Diese Entscheidung sollte man dem Dienstleister in Abhängig der ihm zur Verfügung stehenden Technik überlassen.

Bei der großmaßstäbigen Dokumentation von qualitativ hochwertigen Objekten im Bereich Raumfassung oder Wandmalerei kann man auch den Einsatz einer Kamera mit digitalem Mittelformatsensor (von etwa 45 × 30 mm bis 45 × 60 mm Fläche) vorgeben. Die Sensorauflösung liegt hier zur Zeit zwischen 37 und 100 Megapixel. Dem stehen aber Anschaffungskosten zwischen etwa 9.000 und 50.000 EUR für die Kamera zuzüglich der Kosten für die Objektive gegenüber.

Die Vorteile dieser Kamerasysteme liegen hier bei einem unter anderem aus der großen Dynamik der Mittelformat-Sensoren resultierendem geringeren Rauschen bei hohen Kontrasten am Objekt. Die aus der hohen Sensorauflösung folgende, meist geringere erforderliche Bildanzahl verringert die Fehlerinflüsse bei der Anpassung der einzelnen Bilder.

2 Auswahl der Auswertemethoden

Zuerst bedarf es hier einer Klarstellung der Begrifflichkeiten, auf die es sich beschränken sollte.

Da wäre zum einen die **2D Bildentzerrung** (projektive Bildentzerrung). Sie erlaubt die beliebige mathematische Transformation einer 2D Ebene im Strahlenbündel einer Kameraaufnahme (Zentralprojektion). Der Vorteil ist die einfache Anwendung durch eine Vielzahl von Softwarelösungen, der Nachteil ist die Beschränkung der maßstabsgerechten Auswertung auf eine Ebene. Das Ergebnis ist ein maßstabsgerechter Bildplan, der das Abgreifen von Maßen auf einer Objektebene erlaubt.

Die **3D Orthogonalprojektion** setzt immer die dreidimensionale Erfassung der Objektoberfläche voraus. Die 3D Daten (Punktwolke, texturiertes Oberflächenmodell) werden orthogonal auf eine Bezugsgeometrie (Ebene, Zylinder-, Kegelmantel und weitere) projiziert. Dabei ist die Gewinnung der 3D Daten über digitale Photogrammetrie (Structure from Motion – SfM) oder über Terrestrisches Laserscanning (TLS) möglich. Das Ergebnis ist ein maßstabsgerechter Bildplan (Orthofoto), der das Abgreifen von Maßen auf allen Ebenen erlaubt, die parallel zur Bezugsgeometrie sind.

Die **3D Objektdokumentation** basiert auf der dreidimensionalen Erfassung der Objektoberfläche mittels Punktwolke durch TLS oder SfM. Im zweiten Schritt wird hier durch eine Triangulation der Punkte (Dreiecksvermaschung) ein digitales Oberflächenmodell (DOM) generiert. Bei Bedarf erfolgt durch Verwendung von orientierten Bildern eine Texturierung des DOM. Das Ergebnis ist ein maßstabsgerechtes texturiertes DOM, das unter anderem einen dreidimensionalen Maßabgriff, die Ableitung von Schnittprofilen und Deformationsanalysen sowie die Erstellung von Orthogonalprojektionen auf beliebigen Geometrien erlaubt.

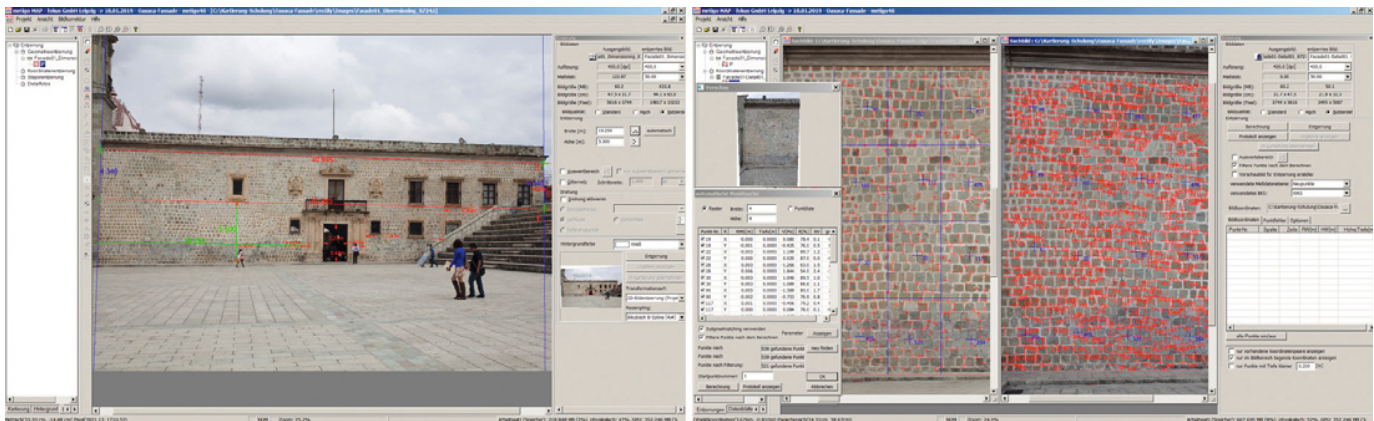


Bild 5 links: Bildentzerrung über Geometrieinformation Gesamtansicht; rechts: Bildentzerrung über Matchingfunktion einer Detailaufnahme

Die Auswahl der Methode – Laserscanning oder digitale Photogrammetrie – ist abhängig von wirtschaftlicher Effizienz, Objektgröße, Gliederung und Detailstruktur. Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile. Letztendlich sollte der Dienstleister aufgrund seiner technischen Ausrüstung und seiner eigenen Anwendungserfahrungen für sich entscheiden können wie er geforderte Qualitätsparameter erfüllen kann.

2.1 2D-Bildentzerrung

Wird die Objektoberfläche durch eine hinreichend genaue Ebene beschrieben, kann die projektive Bildtransformation angewendet werden.

Für die Bildentzerrung werden am Objekt gemessene Strecken sowie die Informationen der Objektgeometrie (Rechteck, parallele Linien) benötigt (Bild 5, links). Alternativ dazu ist die Bildentzerrung mit Koordinaten (Messung der Koordinaten in vorhandener CAD-Zeichnung bzw. skalierten Planvorlage, Messung von 3D-Koordinaten mit Tachymeter) möglich. Über die Bildmontage erfolgt das Zusammenfügen entzerrter Teilbilder zu einem Bildplan. Dies beinhaltet sowohl die farbliche Anpassung der Teilbilder als auch das Beschneiden der entsprechenden Montagekanten in einer geeigneten Bildverarbeitungssoftware.

In Abhängigkeit der verwendeten Software können Detailaufnahmen, zeitlich versetzte oder multisprektrale Aufnahmen mittels Matching von identischen Bildpunkten in Subpixelgenauigkeit passgenau entzerrt werden (Bild 5, rechts). Voraussetzung dafür ist ein bereits vorhandener Bildplan

oder ein eigenes maßstabsgerecht entzerrtes Übersichtsbild. Das entzerrte Bild wird dann als Matchingreferenz für die Entzerrung weiterer Detailbilder verwendet. Dafür muss der Anwender auf dem Referenzbild nur den ungefähren Bereich für jedes weitere Detailbild festlegen. Auf der Grundlage einer bereits vorhandenen Dokumentation (z. B. Vorzustand) können so zusätzliche Zwischenstände während der Restaurierungsmaßnahme dokumentiert und mit Hilfe von Bildmatching auf das Referenzbild transformiert werden. Damit lassen sich auch verschiedene Bildpläne vergleichend in einem Kartierungsprojekt auswerten.

2.2 Orthoprojektion von Punktwolken

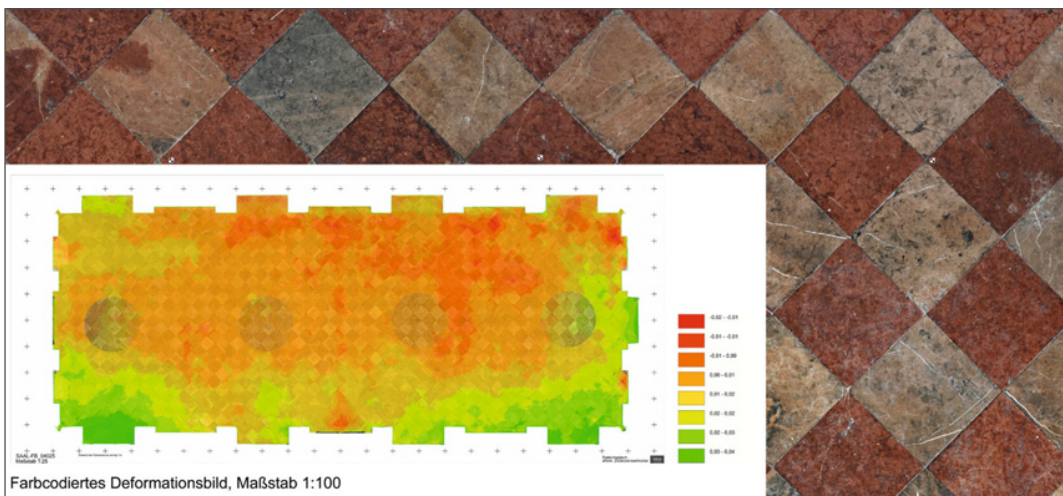
Im einfachsten Fall liegt die Punktwolke mit einer Einfärbung über die Intensitätswerte des reflektierten Laserstrahls vor. Je nach Scannersystem besteht die Möglichkeit der automatisierten Einfärbung der Punktwolke durch ein integriertes Kamerasystem.

In Abhängigkeit der eingesetzten Auswertesoftware können eine Verdichtung der Punktwolke durch Interpolation sowie die Einfärbung der Punktwolke über zusätzliche photogrammetrisch orientierte Aufnahmen erfolgen. Auf diesem Weg kann eine höhere Qualität der Texturierung der Punktwolke erreicht werden (Bild 6).

Bei der Verwendung vom SfM Verfahren erfolgt die Einfärbung der Punktwolke automatisiert über die verwendeten Bilddaten.

**Bild 6**

Orthogonalprojektion einer Punktwolke;
links: Punktwolke mit Intensitätseinfärbung – Punktabstand ca. 5 mm – 1:50 bei 300 dpi;
rechts: Punktwolke mit Verdichtung durch Interpolation und Einfärbung – Punktabstand ca. 2 mm – 1:25 bei 300 dpi

**Bild 7**

Orthogonalprojektion einer Punktwolke;
Hintergrund: 2D-Bildentzerrung Steinfussboden – 1:10 bei 400 dpi;
links unten: Überlagerung 2D-Bildentzerrung mit Deformationsanalyse durch höhenencodierte Einfärbung der Punktwolke

Mit Hilfe von Benutzerkoordinatensystemen sind auch Deformationen bezogen auf eine Ebene analysierbar. Solche Deformationsanalysen (farb-codierte Orthofotos) können auch mit Bildplänen, die durch 2D-Bildentzerrung entstanden sind, deckungsgleich überlagert werden.

Im Beispiel aus Bild 7 wird der Vorteil der höheren Bildqualität der 2D Bildentzerrung mit einer auf der 3D Punktwolke basierenden Deformationsanalyse kombiniert.

2.3 3D-Objektdokumentation als texturiertes Oberflächenmodell

Ein großer Vorteil des SfM Verfahrens ist es, dass neben der Punktwolke in der zweiten Bearbeitungsstufe auch ein texturiertes digitales Oberflächenmodell als Ergebnis vorliegen kann. Dazu wird zuerst die Punktwolke trianguliert. Dann wird die

Farbinformation der Ausgangsbilder als Textur auf das Oberflächenmodell gelegt. Dieser Vorgang erfolgt in einem automatisierten Prozess, in dem der Nutzer indirekt die Texturauflösung, die Bildauswahl und die zu verwendenden Bereiche im Bild für die Texturierung steuern kann. Die Farbanpassung der Bilder und die Zuordnung der Textur – welcher Bereich im Modell mit welchem Bild texturiert wird – erfolgen automatisiert (Bild 8).

Die Textur kann jetzt in einer höheren Auflösung auf die Dreiecksflächen zwischen den Punkten aufgetragen werden. So kann die Detailauflösung der Orthoprojektion erheblich verbessert werden, wenn die fotografische Qualität der Ausgangsbilder dies zulässt. Das triangulierte Oberflächenmodell kann dann automatisiert mit beliebigen Ebenen geschnitten werden. Im Ergebnis liegen Schnittprofile als geschlossene Polygone vor, die im CAD weiter verwendet werden können.

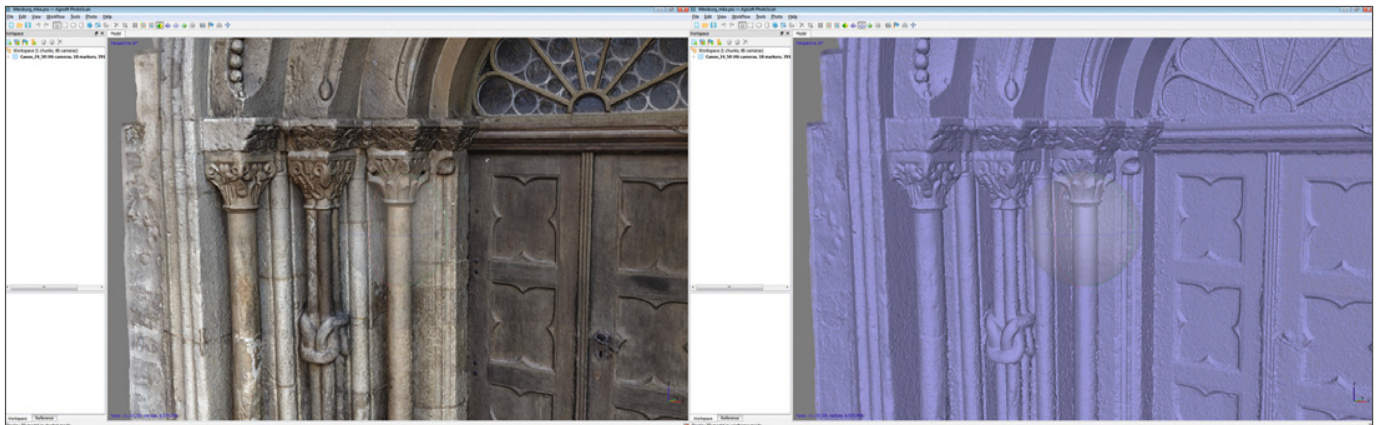


Bild 8

links: texturiertes Oberflächenmodell (SfM) – Punktdichte 2–3 mm, Texturauflösung für Maßstab 1:20;
rechts: trianguliertes Oberflächenmodell (SfM)

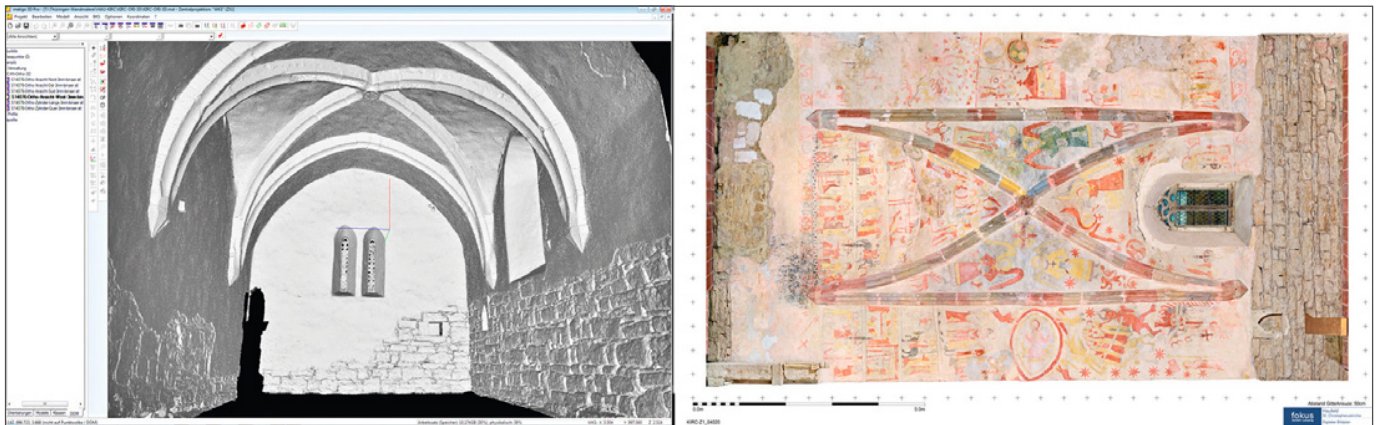


Bild 9

links: trianguliertes Oberflächenmodell (TLS);
rechts: Abwicklung mit Orthogonalprojektion im Maßstab 1:5 bei 300 dpi

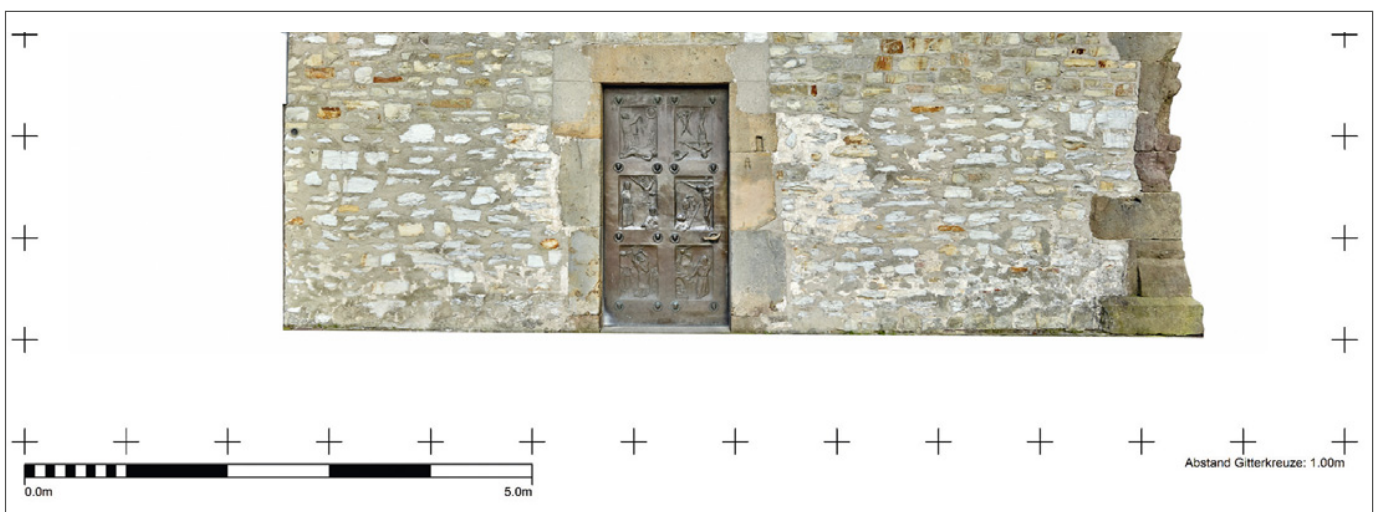


Bild 10

Beispiel für Maßstabsleiste bzw. Gitterkreuze

Einschränkend sei darauf verwiesen, dass der Speicherbedarf für das texturierte Oberflächenmodell je nach Texturqualität deutlich größer ist. Die wenigsten Endanwender verfügen zur Zeit über PC-Hardware mit geeigneten Grafikkarten um diese Daten auch weiter verarbeiten zu können. Die Anzeige der 3D Objekte erfolgt über OpenGL über die Grafikkarte. In diesem Sinne ist die Weitergabe von Orthogonalprojektionen als Bilddatei ein sinnvoller Kompromiss.

2.4 3D-Orthoprojektion von Bilddaten

Bei diesem Verfahren werden photogrammetrisch orientierte Einzelaufnahmen bei gleichzeitiger Korrektur über ein vorhandenes trianguliertes Oberflächenmodell (mit 2–3 mm Punktabstand) auf eine Objektebene oder einen Zylindermantel orthogonal projiziert.

Diese Vorgehensweise ist insbesondere für die hochauflösende Dokumentation von Wandmalerei oder Tafelbildern interessant (Bild 9). Die aufgrund der geforderten Detailauflösung im Bereich 1:5/1:10 anfallenden Bilddaten lassen sich zum heutigen Zeitpunkt nicht effektiv auf einem triangulierten Oberflächenmodell abbilden. Eingefärbte Punktwolken mit Punktabständen von 1–3 mm entsprechen nicht der geforderten Detailauflösung im Submillimeterbereich.

Dazu kommt, dass professionelle Einzelaufnahmen mit digitaler Mittelformatkamera mit entsprechender Ausleuchtung nicht durch eine Masse von Kleinbildaufnahmen für die SfM Auswertung ersetzt werden können. Die bei der SfM Auswertung stattfindende automatisierte Farbanpassung und Texturierung ist fehlerbehaftet und kann die Farbanpassung und Bildmontage z. B. im Adobe Photoshop nur schwer ersetzen.

3 Datenübergabe

Damit die erzeugten Daten nicht unbrauchbarer Datenmüll werden, sind Mindestanforderungen an Datenformat und Beschriftung für deren Übergabe zu erfüllen. Zudem sind Informationen über die Dienstleistung (Methode, Aufnahmesysteme und

Software) notwendig, um die erreichten Ergebnisse auch zu einem späteren Zeitpunkt bewerten zu können.

3.1 Maßstabsbeschriftung

Eine Maßstabsreferenz in der Bilddatei vermeidet nachträgliche Fehlinterpretationen. Die Maßstabsreferenz sollte graphisch über eine Maßstabsleiste oder über ein Koordinatengitter (Bild 10) abgebildet sein, so dass nachträglich im Bild eine Kontrollmessung vorgenommen werden kann. Den Maßstab lediglich als Zahl im Bild zu integrieren ist ungenügend, da die Auflösung der Bilddatei nachträglich geändert werden kann. Der Bildmaßstab kann bei Druckausgabe durch falsche Einstellungen (z. B. Skalieren auf Papierformat) unbeabsichtigt geändert werden.

Auch die Integration von Gitterkreuzen oder Maßstabsleiste direkt in der CAD-Datei ist nicht hilfreich, da viele Restauratoren Ihre Kartierung im Adobe Photoshop oder in anderen vergleichbaren Bildverarbeitungsprogrammen umsetzen. In solchen Fällen wird die CAD-Datei unter Umständen nicht weiter verwendet.

3.2 Ausgangsbilder und Dateiformate

Ausgangsbilder sollten immer im **RAW-Format** (keine Kompressionsverluste) abgespeichert werden. RAW-Dateien enthalten EXIF Informationen über die Kamera und die Kameraeinstellungen. Die Kenntnis des Fotografen vor Ort über die Örtlichkeit ist für die Bildentwicklung im RAW-Entwicklungsprogramm nötig. Die Dateien müssen zeitnah für die weitere Nutzung digital entwickelt (Farbanpassung, Lichtabfall, evtl. Verzeichnungskorrektur) werden und sind dann als TIFF/PNG-Datei abzulegen. Normkarten für die Belichtung und den Weißabgleich sollten für die Bildentwicklung herangezogen werden. Das RAW-Format ist ein dynamisches Format, das von den verschiedenen Kameraherstellern auch unterschiedlich interpretiert wird. Daher ist RAW als Dateiformat für die Langzeitarchivierung nicht geeignet.

Werden Bilder als Zwischen- oder Endergebnisse für deren Weiterverarbeitung abgespeichert, emp-

Bild 11

links: Ausgangsbild im
JPEG-Format;
rechts: Kompressionsverlust –
Differenzbild nach 10-maligem
Speichern der JPEG-Datei
(Kompressionsrate 10)



fehlt sich dafür das **TIFF- Format**. Dies ist ein offenes und seit 1987 etabliertes Dateiformat. Mit Hilfe der LZW- Kompression (Lempel-Ziv-Welch) können Bilddaten verlustfrei komprimiert werden, wodurch sich dieses Format für die Langzeitarchivierung eignet.

Sollen Bilder im Internet präsentiert werden, eignet sich eher das **PNG- Format**. Dieses wurde seit 1996 als Alternative zum GIF-Format entwickelt und ermöglicht ebenso die verlustfreie Kompression. Hierbei werden aber weder EXIF- Daten noch das CMYK- Farbmodell unterstützt.

Auch das **JPG- Format** kann für die Präsentation im Internet und zum Informationsaustausch verwendet werden, aber nicht für die Langzeitarchivierung. Denn bei diesem Dateiformat handelt es sich um ein verlustbehaftetes Format, bei dem mit zunehmender Kompressionsrate mehr Qualität verloren geht. Zudem führt wiederholtes Speichern zu wiederholtem Verlust an Qualität (Bild 11).

3.3 Referenzierung In CAD-Datei

In Ausschreibungen sind immer häufiger Sätze in der Art zu lesen: „Bildpläne sollen im DWG-Format geliefert werden.“ Eine solche Anforderung ist aber sinnfrei, da in diesem Format CAD-Daten vektorbasiert gespeichert werden. Bilder können in einer CAD-Datei verlinkt werden. Die CAD-Datei enthält dabei alle Informationen über den Einfügepunkt, die Ausrichtung und den zum Teil unrunder Skalierungsfaktor der Bilder. Das Dateiformat, der Maß-

stab und die Auflösung der Bilder spielen dabei keine Rolle. Bildmontage und Farbanpassung sind nicht gewährleistet. Ohne die Einbindung in die CAD-Datei sind die Bilder für den Restaurator (ohne CAD-System) mehr oder weniger nutzlos!

Die richtige Anforderung für eine weitere Auswertung im CAD wäre z. B.: „Die entzerrten Bilder/ Orthofotos müssen montiert, farblich angepasst und in einer Bilddatei (TIFF- Format) mit einem Maßstab von 1:50 und einer Auflösung von 400 dpi abgelegt werden. Die fertigen Bilddateien sollen für weitere grafische Auswertung in CAD - Datei (DWG/DXF) referenziert werden.“

3.4 Navigationskarte mit Bildübersichten

Um bei der Projektbearbeitung durch den Dokumentationsdienstleister alle benötigten Objektbereiche zu erhalten, ist es hilfreich, diese in einer Skizze auf Grundlage eines bestehenden Plans vorab festzulegen und diese im Idealfall auch bei der Ausschreibung zu verwenden. Zu diesem Zeitpunkt (vor der Beauftragung) sollte auch eine aussagekräftige Namenskonvention für die einzelnen Bildpläne festgelegt werden.

Der abgebildete Plan (Bild 12) zeigt die Gliederung eines Projektes in Teilbereiche und die Codierung der Planbezeichnung. Rechts ist für die bearbeiteten Bereiche eine Zusammenstellung der Bildpläne mit den Dateibezeichnungen exemplarisch abgebildet.

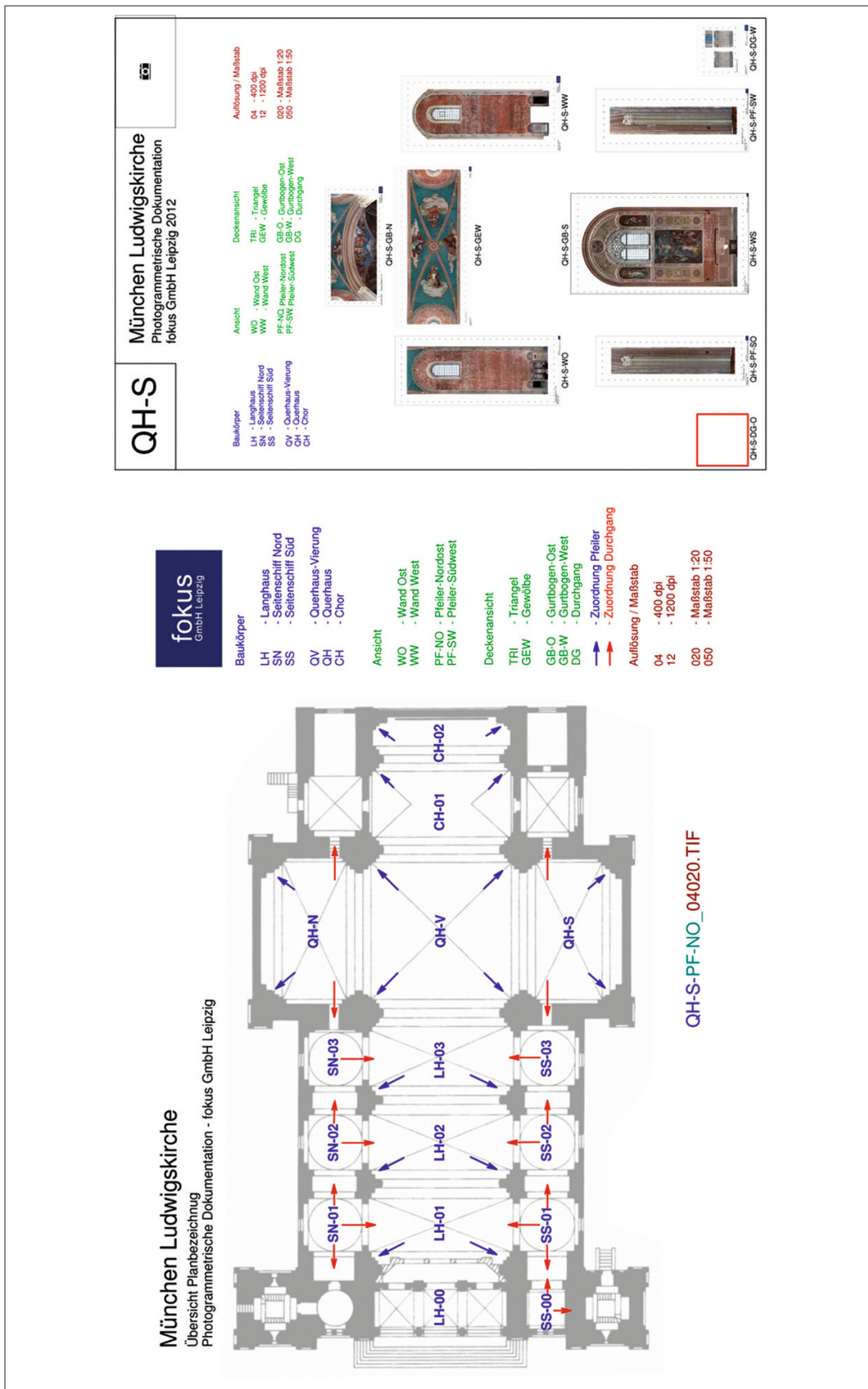




Bild 13

Dokumentationsbeispiele: Bei den oben verwendeten Abbildungen wurden exemplarisch Bildauschnitte verwendet und bewusst darauf verzichtet Projekte und Dokumentationsfirma zu nennen, da man bei der Bewertung von Dokumentationsleistungen immer auch die Hintergründe von Projekt und Vergabe kennen muss.

3.5 Technisches Protokoll von Ausrüstung und Software

Ein technisches Protokoll, das einen Überblick über Kameratechnik, Messinstrumente sowie die eingesetzte Software gibt, ist sowohl für die Angebotsabfrage als auch für die technische Dokumentation zur Ausführung der Arbeiten eine wichtige Information.

Es kann helfen, bei der späteren Verwendung der Dokumentationsdaten keine falschen Annahmen über die Qualität des Ergebnisses zu treffen. In 5 bis 10 Jahren ergeben sich bei der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Verfahren (Software, Datenmenge, Genauigkeit) erhebliche Fortschritte. Denkbar wäre dann zum Beispiel auch, vorhandene Bilddaten in besserer Qualität neu zu verarbeiten. Dies setzt natürlich voraus, dass vom Dienstleister die Ausgangsbilder der Bearbeitung mit ausgeliefert und vom Kunden auch archiviert werden.

4 Bearbeitungsbeispiel als Referenz

Aufgrund der Vielfalt der zur Verfügung stehenden Auswertemethoden und der auch sehr unterschiedlichen Ansprüche und Herangehensweisen der verschiedenen Dienstleister ist es für eine Bewertung der verschiedenen Angebote durch den Ausschreibenden immer wichtiger, dass durch den Dienstleister zum Preisangebot auch immer eine digitale Referenzdatei mit einer vergleichbaren Projektbearbeitung abgegeben wird. Erst so kann durch den Auftraggeber abgewogen werden ob Preisangebot, Arbeitsweise und Ergebnis in einem sinnvollen Verhältnis zueinander stehen.

Die Benennung von Aufnahmesystemen und Auswerteprogrammen allein sind heute leider keine Garantie für eine verwertbare Dokumentation.

Entsprechende Referenzbeispiele müssen daher als Bestandteil des Angebotes gefordert werden. Wenn Kostenangebot und Referenz gemeinsam in die Entscheidungsfindung für die Beauftragung einfließen, sollten unliebsame Überraschungen bei der Dokumentationsdienstleistung ausbleiben.

Unabhängig von der vom Dienstleister verwendeten Auswertemethode ist der Beauftragende/Endanwender sehr wohl in der Lage das vorliegende Endergebnis bezüglich maßlicher Qualität und Detailauflösung anhand der beim Angebot vorgelegten Referenzbeispiele (Bild 13) qualitativ zu bewerten.

Prinzipiell besteht das Gefühl, dass eine nachträgliche Bewertung durchgeführter Dokumentationen durch den Endanwender (Architekten und Restauratoren) bei Auftraggebern (Architekten, Bauämter und Denkmalbehörden) nicht hinterfragt wird. Dies könnte aber eine gute Entscheidungsgrundlage sein, um zu vermeiden, dass bei zukünftigen Dokumentationsaufträgen gleiche Fehler bei der Beauftragung wiederholt werden.

Alle genannten Kriterien erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie geben einen Rahmen vor, der für viele Projekte anwendbar ist und projektabhängig individuell ergänzt bzw. um ein mögliches neues technologisches Verfahren erweitert werden kann.

Mit den folgenden Parametern kann man eine zu erbringende Dokumentationsleistung sehr einfach beschreiben:

1. Bearbeitungsqualität

- Bildmaßstab und Bildauflösung (abhängig von Material und Objektwertigkeit)
 - bei Bedarf
- Qualität der Referenzmaße
- Aufnahmesystem (Vollformatsensor oder Mittelformat)

2. Auswertemethode

- 2D-Bildentzerrung oder Orthogonalprojektion oder texturiertes 3D Modell

3. Auslieferungsparameter

- Bildformate (TIFF/PNG)
- Beschriftung mit Maßstabsleiste/Gitterkreuzen
- Übersichtsplan der erstellten Bildpläne/Code für Dateibezeichnung
- Technisches Protokoll

- bei Bedarf
- Referenzierung in CAD-Datei
- Übergabe der Ausgangsbilder (TIFF/PNG)

4. Referenzbeispiel für Projektbearbeitung

- Bestandteil von Angebot und Auftrag

Bei der nachträglichen Bewertung von Dokumentationsleistungen müssen immer die Hintergründe der Vergabe gekannt und darauf verwiesen werden, dass es stets ein Zusammenspiel von Auftraggeber und Auftragnehmer gibt. Wenn bei der Vergabe ausschließlich nach Preis zweifelhafte Dokumentationsleistung nicht hinterfragt und die Dokumentationsfirma nicht zur Nachbesserung aufgefordert wird, kann auch immer der eigentliche Zweck der Beauftragung hinterfragt werden.

In diesem Zusammenhang haben die hier aufgeführten Qualitätskriterien nur dann einen Sinn, wenn diese auch als Vergabekriterien angewendet werden.

Bei der Auswahl der Kriterien ist zu berücksichtigen, welchen Stellenwert ein mögliches Fehlerpotential und Effizienzverluste bei der nachfolgenden Nutzung der Dokumentation durch verschiedene Projektbeteiligte für den gesamten Projektverlauf haben.

Weiterführende Literatur

- R. Godding, G. Sacher, G. Siedler: Einsatz von digitalen Aufnahmesystemen zur Gewinnung von Multispektralaufnahmen für die Erkundung von Bauwerkschäden ISPRS Commission V, S. 794–798, New York 1992
- Gruen, A., 1996. Least squares matching: a fundamental measurement algorithm. In: K. Atkinson (ed.), *Close Range Photogrammetry & Machine Vision*, Whittles, pp. 217–255.
- Hemmler, M., Siedler, G., Sacher, G., *Digitale Bildentzerrungen und -abwicklungen für die Anwendung in Denkmalpflege, Bauforschung und Restaurierung* (963 KB) Von Handaufmaß bis High Tech, Interdisziplinäres Kolloquium, TU Cottbus, 23.–26. Februar 2000 (S. 74–82)

Hemmler, M., Siedler, G., Sacher, G., 2001: Documentation of the basilica of maxentius in rome – methods for providing foundations for monument research, CIPA International Symposium, Potsdam

Hastedt, H., Luhmann, T., Tecklenburg, W., 2004: Modellierung hochauflösender digitaler Kameras im Hinblick auf ihre Verifizierung nach VDI/VDE 2634. Luhmann (ed.): *Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der 3. Oldenburger 3D-Tage*, Wichmann Verlag, Heidelberg.

Vetter, S., 2005: Generierung digitaler Oberflächenmodelle (DOM) im Bereich der Architekturphotogrammetrie, Diplomarbeit (unveröffentlicht), HTWK Leipzig.

Henze, F., Siedler, G., Vetter, S., 2006: Integration automatisierter Verfahren der digitalen Bildverarbeitung in einem Stereoauswertesystem, 26. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, Berlin, Band 15, S. 239–46

Heinrich, M., 2010: Markante Punkte und 3D-Objektkanten in einem Oberflächenmodell; Diplomarbeit, HTWK Leipzig

Franzen, C., 2012: New developments in IR-investigation of cultural heritage, PROCOPE-workshop: Etude par thermographie infrarouge stimulée des variations de diffusivité des biens culturels avec la profondeur, July 6th, 2012, Marseille.

Siedler, G., Vetter, S., 2013: Moderne Methoden der Dokumentation für die Restaurierung Digitale Kartierung und automatisierte 3D-Objektdokumentation mit der Software metigo®, *Natursteinsanierung Stuttgart 2013*, Stuttgart, S. 77–87.

Siedler, G., Vetter, S., 2016: Modern methods of documentation for conservation – Photogrammetric evaluation of historic images, ICOM CC Interim Meeting, 8.–10. April 2016, Potsdam.

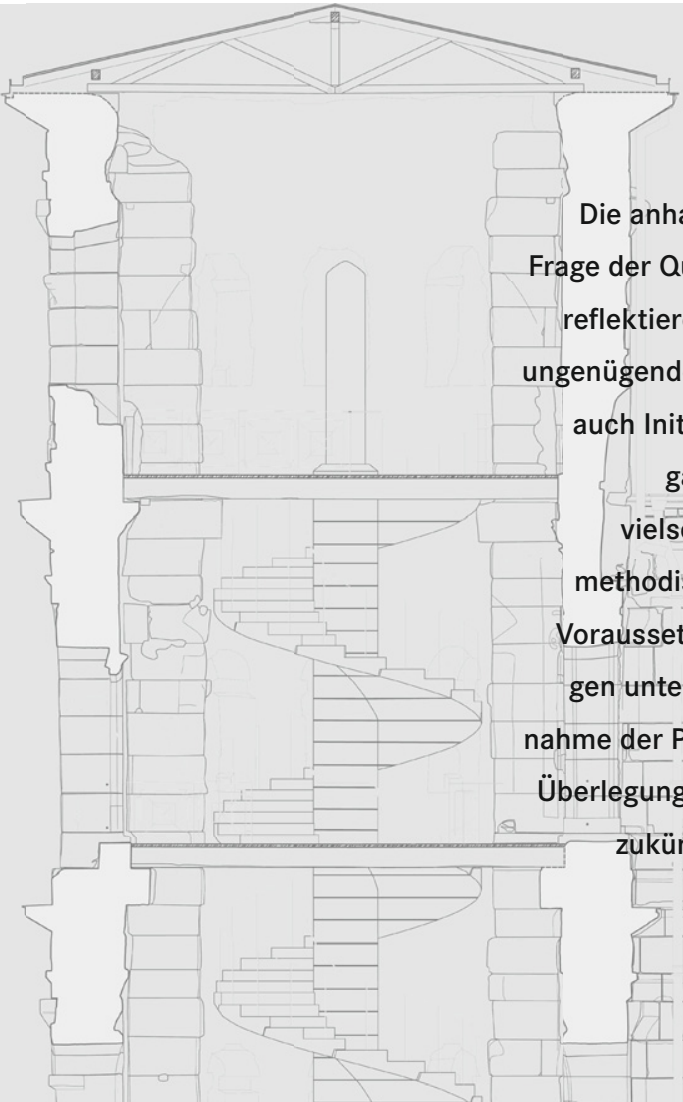
Sacher, G., Siedler, G., Vetter, S., 2017: Die hochauflösende photogrammetrische Dokumentation des Wandmalereizyklus im Mittelschiff, UNESCO-Weltkulturerbe Reichenau 22.–24. März 2017, Reichenau, S. 73–80.

Abbildungen

Bilder 1–12: fokus GmbH Leipzig

Vorschläge zur Qualitätssicherung von Bauaufnahmen am Beispiel der Porta Nigra in Trier

von Andreas Bruschke



Die anhaltenden Diskussionen zur Frage der Qualität von Bauaufnahmen reflektieren nicht nur Probleme mit ungenügenden Ergebnissen, sie haben auch Initiativen ausgelöst. Aus der ganzheitlichen Betrachtung vielschichtiger inhaltlicher und methodischer Faktoren, fachlicher Voraussetzungen und den Erfahrungen unter anderem bei der Bauaufnahme der Porta Nigra in Trier werden Überlegungen zur Qualitätssicherung zukünftiger Projekte diskutiert.

Das Konzept der sogenannten Genauigkeitsstufen nach Eckstein [1] ist jetzt 30 Jahre alt. Es setzt inhaltliche Anforderungen mit Genauigkeit und Abbildungsmaßstab gleich. Es war in der Zeit der analogen Bauaufnahmezeichnungen entwickelt worden, in denen die Darstellungsdichte, begrenzt durch Linienabstand und Strichstärken, mit einem bestimmten Maßstab korreliert. Daraus abgeleitet werden Punktdichte und Messgenauigkeit bzw. das Mehr oder Weniger an Inhalt der Bauaufnahme. Seitdem die Zeichenarbeit im Wesentlichen im CAD erledigt wird und mit digitalen Aufmaßmethoden die Frage der Genauigkeit und der Punktdichte nicht mehr das entscheidende Kriterium für den Gesamtaufwand einer Bauaufnahme sind, hat sich das Konzept der Genauigkeitsstufen überholt. Ausführlich wurde der aus heutiger Sicht begründete Mangel dieses früher bewährten Konzeptes bereits zur 20. Natursteintagung 2014 diskutiert [2]. Gleichwohl, und sicher in Ermangelung neuer Konzepte, werden weiterhin Anforderungen mit dem pauschalen Hinweis z. B. auf die Stufe III definiert.

Dass die Situation unbefriedigend ist, wurde in vielen Beiträgen und Diskussionen zur Tagung „Bauforschung in der Denkmalpflege – Qualitätsstandards und Wissensdistribution“ thematisiert, die 2015 vom Lehrstuhl für Bauforschung und Baugeschichte der Otto-Friedrich-Universität Bamberg in Kooperation mit der Bayerischen Architektenkammer ausgerichtet wurde. Leider sind die Beiträge noch nicht veröffentlicht worden. Anhand der Erfahrungsberichte waren unterschiedliche Sichtweisen, Einstellungen und Konflikte zwischen den an einem Projekt Beteiligten sehr deutlich zu erkennen. Die Beteiligten, das sind der private, staatliche oder kirchliche Eigentümer, der Denkmalpfleger, der Bauforscher, der Architekt, der Tragwerksplaner und der Restaurator, die vielen freiberuflich Tätigen mit jeweils verschiedenen Interessen und Erfahrungshintergrund und oft fehlender Einsicht in die Tätigkeit der Spezialisten. Nicht nur angesichts der dynamischen technischen Entwicklung neuer Dokumentations-, Kommunikations- und Vernetzungsmöglichkeiten bestehen Unsicherheiten. Mehrfach wurden neue Standards für digitale Bauaufnahmen gefordert.

Großes Interesse löste deshalb die Vorstellung der neuen österreichischen Norm A6250_2 „Bestands- und Bauaufnahme von denkmalgeschützten Gebäuden“ [3] aus, die die bestehende Norm „Aufnahme und Dokumentation von Bauwerken und Außenanlagen“ erweitert. Diese ÖNORM ist Bestandteil der Bestrebung des österreichischen Bundesdenkmalamtes zur Standardisierung [4]. Kernelement sind die Listen der aufzunehmenden Elemente in zwei unterschiedlichen Aufnahmedichten. Es wird in Konturdarstellung bzw. Porträtdarstellung unterschieden. Die Datenstruktur ist durch eine bereits vorhandene landesweit einheitliche Systematik geregelt. Mit der ÖNORM wird also eine Überprüfung von Bauaufnahmezeichnungen hinsichtlich Vollständigkeit und formeller Richtigkeit ermöglicht.

Im Tagungsbeitrag des Autors [5] (überarbeitet und zuerst 2017 veröffentlicht) wird ein Konzept entworfen, das als Handlungsanleitung für die Konzeption und Ausführung konkreter Bauaufnahmeprojekte verstanden werden soll. Es nimmt wesentliche Anregungen des English Heritage auf [6]. Die eindeutige Diskussion in Bamberg hat letztlich 2016 die Gründung der WTA-Arbeitsgruppe „Bauaufnahme“ veranlasst.

1 WTA-Merkblatt

Die WTA – Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V. – hat sich zum Ziel gesetzt, die Forschung und deren praktische Anwendung auf dem Gebiet der Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege zu fördern. Eine vorrangige Aufgabe ist es hierbei, praktische Erfahrungen zu verarbeiten und nutzbar zu machen, um so die Anwendung neuer Erkenntnisse und moderner Technologien zu beschleunigen. Das geschieht durch einen intensiven Dialog zwischen Wissenschaftlern und anerkannten Praktikern. In Form von Merkblättern wird der Stand der Technik in einem speziellen Gebiet zusammengefasst und Regeln für die fachgerechte Anwendung formuliert.

Die Arbeitsgruppe „Bauaufnahme“ setzt sich aus Praktikern der Denkmalpflege, Architekten, Bauforschern, Tragwerksplanern, Restauratoren und natürlich auch Geodäten und Photogrammetern zusammen. Mit dem breiten fachlichen Hintergrund ist es möglich, die vielseitigen Aspekte des Themas zu behandeln und in einen Zusammenhang zu setzen. Mit dem Merkblatt soll der Dialog zwischen verschiedenen fachlich Beteiligten und zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern unterstützt werden. Die Beschreibung der Aufgabenstellungen und Inhalte von Bauaufnahmen, der verschiedenen Erzeugnisse, des aktuellen Standes der Methoden und Regeln für deren Anwendung soll es ermöglichen, nachvollziehbare Anforderungsmerkmale für konkrete Projekte zu entwickeln.

Die verschiedensten Objekte und Restaurierungs- bzw. Sanierungsvorhaben können unmöglich pauschal verglichen werden. Die Planung einer Aufgabenstellung für Bauaufnahmen ist ausschließlich aufgabenspezifisch und objektkonkret unter Berücksichtigung der jeweiligen technologischen Rahmenbedingungen möglich. Da jedes Denkmal ein Unikat ist, entzieht es sich einer schematischen Vorgehensweise. Ein pauschaler immer gleicher Ausschreibungstext ist nicht vorstellbar.

Eine Standardspezifikation kann nicht alle Eventualitäten, Besonderheiten und örtlichen Bedingungen berücksichtigen, die für den Erfolg notwendig sind. Die Ziele und Aufgaben sind so in Projektbeschreibungen niederzulegen, dass Anbieter die Bedingungen für das konkrete Objekt klar erkennen können, letztlich soll auch eine Qualitätskontrolle und Abnahme der Leistungen entsprechend der vereinbarten Kriterien erfolgen können.

Das individuelle Pflichtenheft für Bauaufnahmen stellt eine eigene schöpferische Leistung dar und ist ein erster Baustein des denkmalpflegerischen Qualitätsmanagements (vergleiche „Beherrschte Prozesse“ in [7]). Es stellt sicher, welche Informationen alle an der Planung beteiligten Fachdisziplinen benötigen, definiert die Anforderungen an Genauigkeiten, die Erzeugnisse und die entsprechend der örtlichen Situation zu integrierenden Techniken sowie deren Einsatzbedingungen. Es soll objektiv vergleichbare, also reproduzierbare Ergeb-

nisse unter kontrollierten Bedingungen ermöglichen. „Für die Bauaufnahme ist Planung notwendig“ so Fuchsberger [8, S. 192].

Das WTA-Merkblatt soll also sowohl den Stand der Technik vermitteln, durch klare Begrifflichkeit für Eindeutigkeit sorgen als auch Anforderungen für die Erstellung von Pflichtenheften formulieren und somit die Qualität von zukünftigen Projekten sichern helfen.

2 Planung von Bauaufnahmen

Die Konzeptionierung von Bauaufnahmen ist eine komplexe Aufgabe. Verschiedene Fragen sind zu beantworten und können hier nur unvollständig angedeutet werden. Die Wirtschaftlichkeit einer Bauaufnahme bzw. die Beurteilung von entsprechenden Angeboten hinsichtlich deren Wirtschaftlichkeit ist nur dann möglich, wenn eindeutig und klar die Ziele, der Umfang, die Inhalte und technischen Eigenschaften der Erzeugnisse bestimmt und alle Umstände berücksichtigt sind.

2.1 Zielsetzungen

Allen Beteiligten und somit auch in Ausschreibungsunterlagen sollen das Objekt und der beabsichtigte Zweck der Bauaufnahme vorgestellt werden. Die gründliche Auseinandersetzung mit dem Objekt und die Formulierung der Ziele sind nicht nur notwendig, um die genaue Vorgehensweise zu planen. Sie dienen einerseits der Selbstvergewisserung, ob ausreichend bedacht ist, dass alle unmittelbaren oder zukünftigen Aufgaben mit den gewünschten Ergebnissen erfüllt werden können und ermöglichen andererseits den Ausführenden das Verständnis für die Aufgabenstellung und den Verwendungszweck der gefragten Leistungen.

Da die Bauaufnahme und Bestandserfassung die ersten Schritte denkmalpflegerischer Maßnahmen sind und jeglicher Planung vorangehen, ist schon an dieser Stelle eine Koordinierung aller am Projekt beteiligten Fachplaner und Spezialisten notwendig. Die zu erstellenden Grundrisse, Schnitte, Ansichten und Abwicklungen mit entsprechenden Darstel-

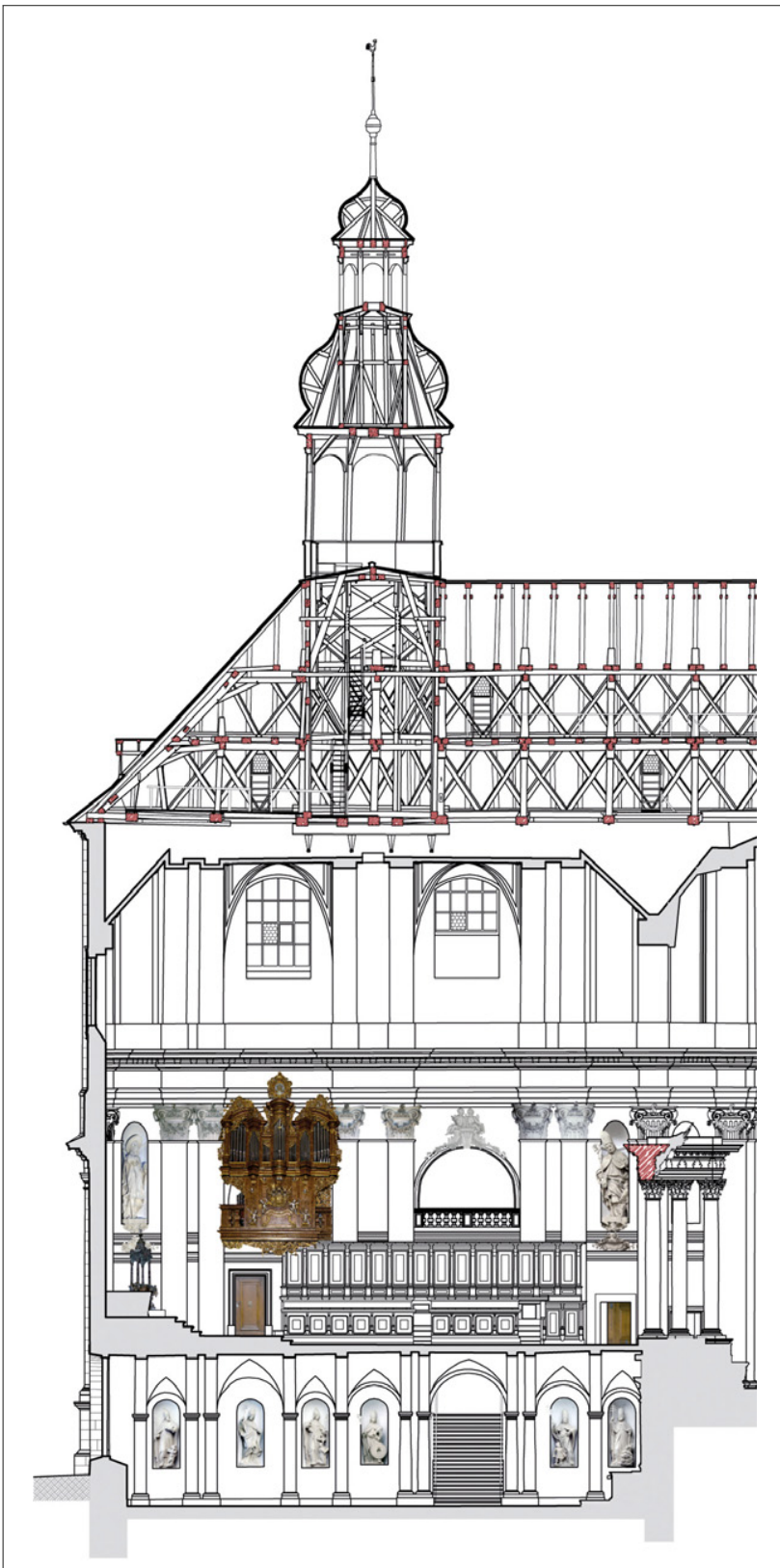


Bild 1
Hoher Dom in Fulda, Ausschnitt des Längsschnittes mit
Bonifatius-Gruft und Hochchor

lungsinhalten und -dichten müssen so konzeptioniert werden, dass die

- Bewertung des Denkmalobjektes als Ganzes bzw. in den relevanten Details und die
- Untersuchung der Bau- und Restaurierungsgeschichte ermöglicht wird,
- Baukonstruktionen und Tragwerk erfasst und
- räumliche Zusammenhänge erkannt werden können,
- die weitere Verdichtung für Befunderhebungen und Kartierungen,
- Werk- und Ausführungsplanung ausgeführt und ferner
- Aufgaben des Bauunterhalts bzw. Wartungs- und Pflegemaßnahmen unterstützt werden können.

Die ausdrückliche Vorstellung des Objektes und die Formulierung der Ziele sind der erste Schritt für die Konzeptionierung einer Bauaufnahme. Diese Voraussetzungen sind die Grundlage für das gegenseitige Verständnis und gleichzeitig Absicherung gegen das Risiko späterer Kostensteigerungen.

2.2 Inhalte und Darstellungsdichte

Es kann verschiedene Gründe geben, dass Umfang und Inhalte einer Bauaufnahme stark differieren, also letztlich nicht pauschalisiert werden können. Die Dichte der in Bauaufnahmezeichnungen oder Bildplänen zu erfassenden Informationen kann nicht nur von Objekt zu Objekt sondern auch innerhalb eines Objektes sehr unterschiedlich sein. Wenn also zum Beispiel die Sanierung der Gebäudehülle und damit die Konstruktion und Architekturoberfläche im Vordergrund stehen, kann entsprechende ortsfeste Ausstattung eventuell mit geringerer Darstellungsdichte erfasst werden. Gute Möglichkeiten ergeben sich durch die Integration von entzerrten Fotos in Bauaufnahmezeichnungen (Bild 1). Dabei geht es in erster Linie um die Zuordnung und Dimension der Ausstattungen zur Berücksichtigung bei Gesamtmaßnahmen. Für Restaurierungen der Einzelstücke wäre natürlich eine deutlich dichtere Erfassung bzw. ein größerer Maßstab erforderlich.



Bild 2
Trier, Porta Nigra,
Einsatz von Kunstlicht bei
der Aufnahme von Wand-
abwicklungen

In der Regel liegt eine Bauaufnahme nicht in einer Hand, sondern geschieht in meist sehr unterschiedlich organisierter Arbeitsteilung. Eine stufenweise Erfassung, ob hinsichtlich verschiedener Inhalte oder späterer baubegleitender Ergänzungen, erfordert eine genaue Abgrenzung. Viele Informationen z. B. bauhistorisch relevanter Befunde oder Materialbeschreibungen werden durch Sonderfachleute in Bauaufnahmezeichnungen oder Bildpläne kartiert und durch entsprechende Kartierungsschlüssel visualisiert.

Welche geometrischen und semantischen Daten in welchem Detaillierungsgrad erfasst werden müssen, ist also genau zu definieren. Checklisten können dabei helfen einen entsprechenden Anforderungskatalog zu erstellen.

2.3 Objektbedingungen

Es scheint selbstverständlich, dass bei der Arbeit an einem Denkmal äußerste Sorgfalt walten muss. Gefährdungen durch Arbeitsmittel und Beschädigungen z. B. durch Stative sind auszuschließen. Trotzdem entgehen einem aufmerksamen Beobachter nicht die Spuren, die Vermesser überall an

Denkmalen in Form von Punktmarkierungen hinterlassen. Sind Vermarkungen von Vermessungspunkten notwendig, müssen sie nach Beendigung der Arbeiten rückstandslos entfernt werden, eventuell notwendige dauerhafte Vermarkungen müssen individuell abgesprochen werden.

Verschiedene örtliche Bedingungen beeinflussen den Ablauf einer Bauaufnahme wesentlich und müssen in der Planung berücksichtigt werden. Sie können für die methodische Vorgehensweise und den zeitlichen Ablauf ausschlaggebend sein. In Abhängigkeit von der Größe des Objektes, der Gebäudehöhe oder Nachbarbebauung bzw. benachbarter Bäume ist eventuell der Einsatz von Gerüsten, Arbeitsplattformen einschließlich heute üblicher ferngesteuerter Flugkörper einzuplanen. Damit sind sofort Fragen der Sicherung des Objektes, der Gefährdung von Besuchern und des Arbeitsschutzes in einem Sicherheitskonzept zu klären. Nicht von ungefähr wurden die Bestimmungen für den Einsatz von ferngesteuerten Flugkörpern verstärkt.

Weiter sind Wetter und Lichtbedingungen in der zeitlichen Planung bzw. der Einsatz von Kunstlicht zu berücksichtigen (Bild 2).

2.4 Erzeugnisse

Neben den traditionellen Bauaufnahmezeichnungen sind heute Bildpläne ein nicht mehr wegzudenkendes eigenständiges Erzeugnis. Mit der Einführung der digitalen Bildbearbeitung, insbesondere der Verfahren der automatisierten Bilderkennung haben sich neue Möglichkeiten aber auch Fragen ergeben. Bei entsprechender Qualität stellen sie eine wichtige Interpretationshilfe dar. Sie werden in der Regel einer weiteren zeichnerischen Auswertung unterzogen, sind also meist ein Zwischenergebnis in einer arbeitsteilig stattfindenden Bauaufnahme und Dokumentation. Insofern ist auch für Bildpläne, das heißt für entzerrte Fotos, Orthofotos und Bildmontagen eine klare Definition der Anforderungen und Qualitätseigenschaften erforderlich.

Desgleichen werden Punktwolken als ein Zwischenergebnis für Auswertungen durch verschiedene Beteiligte genutzt, müssen also soweit definiert werden, dass sie die gedachten Anforderungen erfüllen können. Was eigentlich mit immer öfter geforderten 3D-Vermessungen gemeint ist, bedarf noch einer intensiven Klärung. Auf diesem neuen Gebiet herrscht wohl aus Mangel an Erfahrungen und Beispielen noch eine große Unsicherheit.

2.5 Grundlagen und Orientierungssystem

Die Definition eines objektbezogenen Koordinatensystems und die Festlegung des Höhenbezuges zu einem Nullhorizont am Gebäude erscheinen selbstverständlich und leicht möglich. Sie sind vor Beginn der Bauaufnahme notwendig. Dass nachträgliche Änderungen gravierende Folgen haben, wird im Erfahrungsbericht weiter unten aufgezeigt. Gleiches gilt für das Bezeichnungssystem für Grundrissebenen, Schnitte und Ansichten, aber auch für Räume, Wände, Öffnungen bis hin zu Laibungsflächen. Navigationspläne bzw. Piktogramme verschaffen die Übersicht in größeren Planbeständen. Dieses System schlägt sich im Planspiegel, den Navigationsplänen und in den Dateibezeichnungen nieder. Es ist nachträglich nur mit hohem Aufwand

zu ändern. Hier helfen zwar allgemeine Regeln, oft ist die Situation aber nicht trivial und erfordert individuelle Entscheidungen. Somit ist entsprechender Aufwand in der Projektvorbereitung einzuplanen.

2.6 Methoden und technologische Rahmenbedingungen

Bedingt durch die geforderten Erzeugnisse und abhängig von örtlichen Bedingungen erfolgt die Planung der geeigneten Methoden. Für eine effektive Bearbeitung bei Sicherung hoher Qualität ist häufig der Einsatz mehrerer Methoden erforderlich, die sich gegenseitig ergänzen. Die richtige Auswahl setzt natürlich die Kenntnis der Vorteile und Einsatzgrenzen voraus. Wenn fertige Bauaufnahmezeichnungen inhaltlich richtig und plausibel erscheinen (und diese Prüfung findet in der Regel ohne örtliche Kontrolle statt bzw. ist das einzige Abnahmekriterium) ist noch nicht sichergestellt, dass sie wirklich stimmen, richtig und vollständig sind.

Im Sinne einer Qualitätssicherung und Kontrolle kann es im konkreten Fall richtig und notwendig sein, den Einsatz direkter Methoden vorzugeben. Damit sind das tachymetrische und das Handaufmaß gemeint. Sie sind von Vorteil durch die direkte Beobachtung und Erkundung am Objekt und unbedingt dann notwendig, wenn andere Methoden aufgrund unmöglicher Aufstellbedingungen nicht in Frage kommen oder auch nur zur deren Ergänzung. Bei indirekten Methoden findet die Auswertung und Analyse in der Punktwolke oder dem Bildplan statt, quasi in einer virtuellen Realität. Entsprechend sind die Qualitätsanforderungen so zu definieren, dass auch wirklich alle Auswertungen möglich sind, alle Formen und Befunde zweifelsfrei erkannt werden können.

Eine nachvollziehbare Aufnahmeplanung für Tachymeterstandpunkte, Laserscans und photogrammetrische Aufnahmen sichert sowohl die Genauigkeit im Sinne der Geometrie als auch die erforderliche Darstellungsdichte der Architekturdetails in Bauaufnahmezeichnungen bzw. die fotografische Auf-

lösung in Bildplänen. Es ist leicht einzusehen, dass die entscheidenden Architekturdetails und Oberflächen weitgehend frontal aufgenommen werden, entsprechende Auftreffwinkel also eingehalten werden müssen.

Der wesentliche Vorteil photogrammetrischer Erzeugnisse besteht in der Möglichkeit der Interpretation von Befunden in hochwertigen Bildplänen und der damit verbundenen Zeiteinsparung bei der örtlichen Erfassung. Der Schwerpunkt liegt also auf der fotografischen Qualität. Bildauflösung und -schärfe, Farb-, Helligkeits- und Kontrastumfang sind Merkmale, die die Unterscheidung und die Differenzierung der kleinsten Objektmerkmale und das Erkennen von Befunden bestimmen. Im digitalen Zeitalter ist offensichtlich in Vergessenheit geraten, dass im 19. Jahrhundert Fotografieren als „Arbeiten mit Licht“ bzw. als die Fotografie als „Lichtbildkunst“ verstanden wurde. Insofern sind Regeln hilfreich und notwendig, die die fotografische Qualität von Bildplänen vorgeben und die kontrollierbar sind.

2.7 Nachhaltigkeit

Der Aufwand für eine Bauaufnahme ist dann besonders wirtschaftlich, wenn die Ergebnisse auch irgendwann später und nicht nur aus aktuellem Anlass genutzt werden. Wenn heute auf Archivpläne zurückgegriffen wird, stellt sich regelmäßig heraus, dass sie fehlerhaft und ungenau sind. Erfolgt eine Digitalisierung solcher Pläne ohne Herkunftsangabe und Qualitätsbeschreibung, werden die Nutzer über eine nicht vorhandene Genauigkeit getäuscht und Fehlplanungen provoziert. Genauso wird es zukünftigen Nutzern gehen, die ihre Planungen auf heutigen Bauaufnahmen aufbauen, wenn sie nicht auf entsprechende Qualitätsnachweise zurückgreifen können. Eine spätere Nutzung ist also nicht nur durch langlebige Datenformate und archivfähige analoge Ausgaben zu gewährleisten, sondern auch durch ein technisches Protokoll. Dieses soll die Aufgabenstellung und die qualitätssichernden Maßnahmen nachweisen und muss auf den Plänen vermerkt werden.

2.8 Projektmanagement

Für die Planung eines Bauaufnahmeprojektes ist fachlicher Hintergrund und Zeit notwendig. Erfolg muss organisiert werden. Ziel des Managements ist die Gewährleistung, dass durch die Balance zwischen gewünschter Genauigkeit, Kosten- und Zeitaufwand durch Anwendung geeigneter Methoden die erforderlichen Informationen für das Projekt im notwendigen Umfang erfasst werden und dass dies von allen Seiten von Anfang an richtig verstanden werden kann. Qualität ist die Eignung für den Verwendungszweck. Mit dem Leistungsverzeichnis werden kontrollierbare Bedingungen geschaffen. Auch für technologisch bedingte Zwischenschritte sind Kontrollen möglich.

Für die Formulierung der Aufgabenstellung sind sowohl Kenntnisse über das Objekt, der räumlichen Gliederungen und Dimensionen, von Umgebungsbedingungen, Bauzeit, Baugeschichte und Ausstattungsmerkmalen als auch ausreichende methodische Kenntnisse notwendig. Das Konzept ist die geistige Vorwegnahme des Endergebnisses, des Weges dahin und des Aufwandes der dafür notwendig ist. Das WTA-Merkblatt soll für diese Aufgabe als Hilfestellung verstanden werden, kann aber das konkrete Konzept nicht ersetzen. Sind die fachliche Voraussetzung und die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit dafür nicht gegeben, empfiehlt es sich, einen Fachplaner heranzuziehen.

Das Ergebnis muss einer Vor-Ort-Kontrolle unterzogen werden und kann nur so ausreichend kontrolliert werden. Bei größeren Projekten kann eine Vorabarbeitung von Musterflächen helfen, notwendige Abstimmungen zwischen verschiedenen Projektbeteiligten herbeizuführen und gegebenenfalls Korrekturen rechtzeitig einzuleiten.

3 Die geodätisch-photogrammetrische Bestandserfassung der Porta Nigra in Trier

Die Arbeiten an der Porta Nigra wurden nach einem Bewerbungsverfahren und Ausschreibung der umfangreichen Arbeiten 2012 begonnen, konnten aber erst 2017 abgeschlossen werden. An die Bestandserfassung dieses hochrangigen Denkmals wurden natürlich höchste Anforderungen gestellt. Wie aktuell bekannt geworden, ist die Porta Nigra ca. 1.850 Jahre alt. Die Geschichte dieses Bauwerks ist durch seinen einmaligen Erhaltungszustand mit seinen verschiedenen wechselnden Funktionen ablesbar – ursprüngliche Wehr- und Repräsentationsfunktion, die Funktion als sakrales Bauwerk in unterschiedlichen Epochen und die durch die heutige touristische Nutzung bedingte Funktionsanpassung.

Die Bestandserfassung wurde als Grundlage für die notwendig gewordene Restaurierung des gesamten Bauwerks in allen Teilen geplant. Sowohl Bildpläne aller Oberflächen als auch ein identisches zeichnerisches Planwerk werden als Kartierungsgrundlage für die restauratorische Befunderhebung, Dokumentation und Maßnahmeplanung genutzt. Das Vorhaben ist aber gleichzeitig eine einmalige Gelegenheit für eine detaillierte und umfassende bauhistorische Forschung durch das Deutsche Archäologische Institut.

Sowohl Umfang und Qualität der Ergebnisse als auch notwendige technologisch bedingte Rahmenmerkmale wurden durch einen externen Fachplaner präzise und erschöpfend in der Leistungsbeschreibung formuliert. Damit lagen kontrollierbare Anforderungen vor. Aufgrund des hohen Detaillierungsgrades wurde als Basismaßstab 1:20 festgelegt. Zusätzlich wurden zusammenfassende Pläne in den Maßstäben 1:50 und 1:100 benötigt sowie bestimmte Details im Maßstab 1:5. Insgesamt wurden durch die MESSBILDSTELLE GmbH 42 Grundrisse, Vertikalschnitte, Fassadenansichten bzw. -abwicklungen, 152 Wand- und Gewölbeabwicklungen, 155 Wandöffnungen mit Darstellungen von Tür- oder Fensterlaibung, Sturz und Brüstungen bearbeitet, zusätzlich etwa 50 Ornamentdetails, wie Kapitelle und Frieze. Insgesamt sind

Bild 3

Trier, Porta Nigra, Ausschnitt mit photogrammetrischer Auswertung

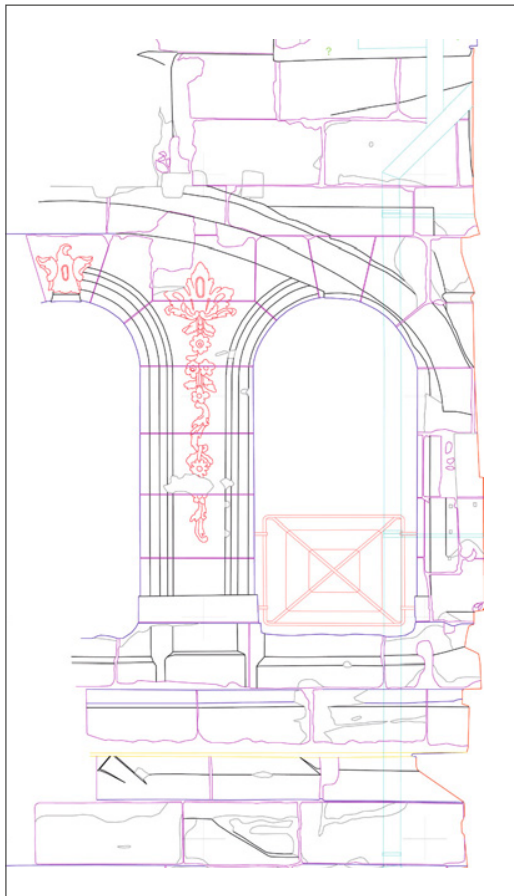
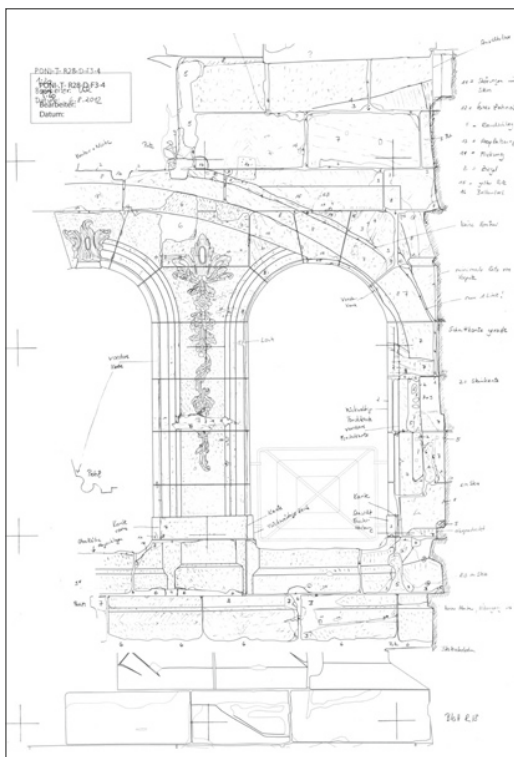


Bild 4

Trier, Porta Nigra, ergänzende händische porträtierende Bauaufnahme



ca. 800 Einzelblätter entstanden (Bild 3). Vorgegeben war u. a. der Einsatz der Methode der Stereoauswertung für die Fassaden unter definierten fotografischen Bedingungen. Auf die Vorteile des räumlichen Sehens, Interpretierens und Messens wurde in [2] bereits näher eingegangen. Die Ornamentdetails im Maßstab waren durch Streifen-scanner zu erfassen und wurden durch die Firma ARCTRON GmbH bearbeitet. Dazu war eine umfangreiche Einrüstung der Apsis erforderlich. Zu berücksichtigen waren der intensive Besucher-verkehr in und an der Porta Nigra, das daraus bedingte teilweise Arbeiten in den Nachtstunden und die Sicherungsmaßnahmen beim Einsatz der Arbeitsbühnen. Diese Vorgaben und die Bearbeitung von drei Musterflächen, die zur Klärung von Darstellungsfragen mit den beteiligten Restauratoren und Bauforschern genutzt wurden, versprachen einen guten Start.

Jedoch musste anfangs noch das Bezeichnungs- und Orientierungssystem sowie die Benennung der Pläne und Dateibezeichnungen ausgearbeitet und in vielen Runden abgestimmt werden. Dass in diesem Bauwerk die Zuordnung der Wände und Öffnungen zu Räumen nicht unbedingt trivial ist, wurde bereits oben vermerkt. Die Nutzung der Bauaufnahmezeichnungen für die umfassende ergänzende händische Befundkartierung durch das DAL sollte der Vorortkontrolle der photogrammetrischen Auswertungen dienen (Bild 4).

Dass die Unterbrechung ca. 9 Monate gedauert hat, war nicht angekündigt, verursachte nach dieser Pause jedoch quasi eine neue Einarbeitung und damit einen weiteren unnötigen Aufwand. Nach Vorlage der nun vermeintlich fertigen Ergebnisse sollten aber noch das Höhensystem und entscheidende Planbezeichnungen geändert werden. Das war zwar nicht verständlich zu erklären, verursachte aber die Überarbeitung von 800 Plänen und hatte weiteren Stillstand, Verhandlungen und Mehrkosten zur Folge. Da spielten letztlich die mehrfache monatelange Prüfung von Ergebnissen und der Zeitverzug von drei Jahren keine Rolle mehr.

Die positiven Erfahrungen und die Probleme an diesem Projekt haben zwar eine besondere Dimension, sind jedoch ohne Zweifel auch in anderen

Projekten zu finden. Sie machen deutlich, welche entscheidende Rolle die Planung und das Projektmanagement auch bei Bauaufnahmen spielen und welche Wege noch zu beschreiten sind. Sie setzen ein fachlich geeignetes und leistungsfähiges Projektmanagement voraus, das für diese spezielle Aufgabe durch Handlungsanleitungen unterstützt werden muss.

Literatur

- [1] Eckstein, G.: Empfehlungen für Baudokumentationen, Arbeitsheft 7, Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Konrad Theiss Verlag Stuttgart, aktuelle Auflage 2003
- [2] Bruschke, A.: Hoher Dom zu Fulda und Porta Nigra in Trier: Was können heutige Bauaufnahmefethoden leisten und sind die „Genauigkeitsstufen“ noch zeitgemäß? In: Tagungsband Natursteinsanierung Stuttgart, Patitz, Grassegger, Wölbert (Hrsg.), Stuttgart 2014, S. 21–32.
- [3] ÖNORM_A6250_2: Aufnahme und Dokumentation von Bauwerken und Außenanlagen, Teil 2: Bestands- und Bauaufnahme von denkmalgeschützten Gebäuden, 15. März 2015
- [4] ABC-Standards der Baudenkmalpflege, Bundesdenkmalamt Wien (Hrsg.), 2014
- [5] Bruschke, A.: Denkmale erkunden – vermessen – verstehen. Ein Pflichtenheft für Bauaufnahmen, In: Denkmal, Zeitschrift für Denkmalpflege Schleswig-Holstein, Jahrgang 24, 2017
- [6] Measured and Drawn – Techniques and practice for the metric survey of historic buildings, Published by English Heritage, 2. Ausgabe 2009
- [7] DIN ISO 9001: Anforderungen an Qualitätsmanagementsysteme, 2015
- [8] Fuchsberger, H.: Qualitätssicherung in der Bestandsaufnahme – das Beispiel Schöndorfer Platz in Hallein, In: Bauaufnahme in der Denkmalpflege, Hrsg.: A. Bruschke, Fraunhofer IRB-Verlag, 2005

Abbildungen

Bild 4: Deutsches Archäologisches Institut
Alle anderen Abbildungen vom Verfasser

Der Xantener Dom im Wandel der Zeit, neu aufgebaut und doch Pflegefall? Die vielfältigen Aufgaben der Xantener Dombauhütte heute

von Johannes Schubert

Das Team der einzigen Dombauhütte des Bistums Münster betreut die nach dem Krieg wieder hergestellte ehemalige Stiftskirche St. Viktor in Xanten. In den letzten Jahrzehnten wandelte sich die einstige Steinmetz- und Bildhauerwerkstatt der Wiederaufbauphase zum modernen Restaurierungsbetrieb. Hier arbeiten Fachleute aus den Bereichen der Stein-, Glas- und Holzkonservierung mit breitem Aufgabenspektrum an der Erhaltung dieses herausragenden Baudenkmals.

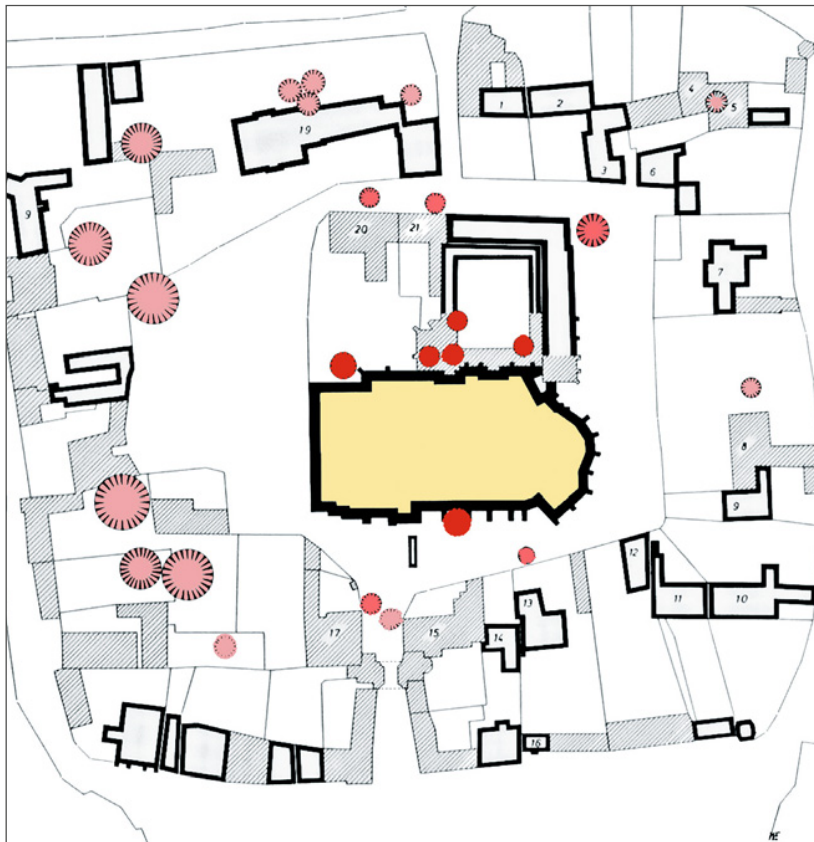
Mit einer Länge und Höhe von ca. 70m sowie einer Breite von ca. 40m gehört der Xantener Dom zu den größten Sakralbauwerken Nordrhein-Westfalens. Als querhauslose Basilika mit doppeltürmiger Westfront ist er weithin in der niederrheinischen Ebene sichtbar und prägt eindrücklich die Silhouette der heute etwa 21.000 Einwohner großen Stadt Xanten.

**Bild 1**

Blick über den Lettner zum
Hochchor

Bild 2

Einschlagkrater, vollständig
zerstörte Gebäude (schraffiert)
und stark beschädigte Objekte
(schwarz umrandet) im Umfeld
des Domes Frühjahr 1945



1 Baugeschichte

Der Ursprung des Dombaues geht zurück auf ein besonders verehrtes Doppelgrab, das mit der Legende des Hl. Viktor in Verbindung gebracht wurde. Bereits um 450 entstand eine Cella Memoriae als ein erster Steinbau. Mitte des 8. Jahrhunderts wurde das Viktorstift gegründet. Direkter Vorgängerbau der heutigen Kirche war eine dreischiffige ottonische Basilika, die bereits die Länge des heutigen Domes in etwa erreichte. 1213 wurde die staufische Westchorhalle fertig gestellt. 1263 begann man im Osten mit dem fünfschiffigen gotischen Neubau. Nach 256 Jahren Bauzeit wurde mit dem Einbau des achtbahnigen Westfensters der Innenraum des Domes vollendet und der romanische Westchor an das gotische Langhaus angebunden. Diese gestalterisch wie auch konstruktiv ungemein anspruchsvolle Aufgabe ist vom spätmittelalterlichen Baumeister hervorragend umgesetzt worden. In den Folgejahren wurde der Kreuzgang spätgotisch überformt und das Bauensemble um die südlich gelegene Sakristei und eine nördliche Sakramentskapelle erweitert. Die mittelalterliche Bautätigkeit an der Xantener Stiftskirche fand um 1550 ihren Abschluss.

2 Restaurierungsarbeiten vor 1945

Unter Napoleon wurde das über 1000-jährige Stift im Zuge der Säkularisation 1802 aufgelöst. Die katholische Kirchengemeinde übernahm die Verantwortung für den Kirchenbau, dessen baulicher Zustand sich rapide verschlechterte. 1857–1868 erfolgt eine umfassende Sicherung und Restaurierung durch Kreisbaumeister Carl Cuno. Im Gegensatz zum Geist der Neugotik ordnete er sich dem Vorgefundenen einfühlend unter. Mit dieser Vorgehensweise war er seiner Zeit weit voraus, so dass seine restauratorische Leistung modernen Ansichten zur Konservierung und Restaurierung standhalten kann. Begleitet wurden die Instandsetzungsarbeiten vom 1849 gegründeten ersten Dombauverein, der 1868 nach Beendigung der Restaurationsarbeiten zunächst aufgelöst und 1923 als „Verein zur Erhaltung des Xantener

Domes e. V.“ neu gegründet wurde und bis heute existiert. Die in seiner Trägerschaft befindliche Dombauhütte führte in den 1930er Jahren steinmetzmäßige Reparaturen aus und bereitete die Rekonstruktion des durch Umwelteinflüsse mittlerweile stark geschädigten Südportals vor. Aufgrund der herannahenden Front konnten diese Arbeiten allerdings nicht mehr abgeschlossen werden. Wertvolle Ausstattungsstücke und große Teile der mittelalterlichen Glasmalereien wurden in den letzten Kriegswochen rechtzeitig ausgelagert, um sie vor Zerstörung und Raub zu schützen.

3 Zerstörung und Wiederaufbau

Eine ernsthafte Bedrohung für die Existenz des Domes stellten die Luftangriffe am 10. und 21. Februar 1945 dar, mit der die Alliierten den Rheinübergang vorbereiteten und die der Stadt und dem Dom schwerste Schäden zufügten. Während der südliche Teil der Kreuzgangbebauung durch Bombenexplosionen zerstört wurde, blieb der Dom von direkten Einschlägen verschont (Bild 2). Allerdings kam es durch die Schwingungen des Bauwerkes zu schwerwiegenden Beschädigungen.

42 der 90 Gewölbe des Domes und seiner Anbauten stürzten vollständig ab, die restlichen wurden durch Risse in ihrem Bestand gefährdet. Dach und Dachstuhl waren fast komplett zerstört, viele Maßwerke und große Teile des Strebesystems gingen verloren (Bild 3). Durch Artilleriebeschuss eines militärischen Beobachtungspostens auf dem Nordturm kamen Helm und obere Geschosse zum Einsturz. Dombaumeister Johannes Schüller fand während eines alliierten Tagangriffs den Tod. Er wurde unter den Trümmern des Nordturms an seinem Arbeitsplatz in der Dombauhütte verschüttet.

Ernsthaft ist an eine Einebnung der Kirchenruine gedacht worden. Dem unermüdlichen Einsatz des in Xanten wohnhaften Landesdenkmalpflegers Walter Bader ist es zu verdanken, dass die ehemalige Stiftskirche ab 1947 in den ursprünglichen Formen wieder aufgebaut wurde.

Die erste Phase des Wiederaufbaus umfasste anfangs Entschuttungs- und Sicherungsarbeiten an und in der Ruine. Man begann mit der Bergung



Bild 3
Blick in das zerstörte nördliche Seitenschiff 1946

wiederverwendbarer Stücke und Überresten der Ausstattung. Im Anschluss erfolgten erste Maurerarbeiten zur Stabilisierung der Substanz und zum Wetterschutz der Mauerkrone. Verwendet wurde hierfür aufbereitetes Altmaterial. Oftmals wurden die reparierten Bereiche so sorgfältig in den Bestand eingefügt, dass diese nur anhand historischer Fotos vom Originalbestand abgegrenzt werden können. Begleitend wurden Notdächer zur Optimierung der Wasserableitung montiert. Im westlichen Teil des Mittelschiffes konnte eine Notkirche eingerichtet werden (Bild 4).

Geprägt war diese Zeit durch Fachkräfte- und Materialmangel. Außerdem standen die Bauverantwortlichen unter enormen Erfolgsdruck, zügig positive Entwicklungen inmitten des Ruinenumfelds vorweisen zu können. Die sehr begrenzten Geldmittel sollten schnell Wirkung entfalten und somit Hoffnung in der traumatisierten Bevölkerung wecken. Dies begründet die teilweise sehr mangelhafte Bauausführung, die zu aufwendigen Reparaturen in der Folgezeit führte.

Während der zweiten Aufbauphase wurde massiv in den Bestand eingegriffen. Die kriegsgeschädigte,

Bild 4

Einrichtung einer Notkirche im westlichen Mittelschiff 1949

**Bild 5**

Versetzarbeiten des in Londerfer Basaltlava rekonstruierten Kranzgesims



ursprünglich aus Römertuff bestehende und im 19. und 20. Jahrhundert mit Weiberner Tuff reparierte Fassade wurde großflächig zurückgestemmt und unter partiell starker Veränderung des Fugenschnitts mittels Ettringer Tuff erneuert. Hierbei kamen teils nur wenige Zentimeter starke Verblender zum Einsatz, die über mehrere Quadratmeter ohne Mörtelanbindung und Bindersteinen vor das Ursprungsmauerwerk gesetzt wurde. Verwendet wurde ein zu stark nachhärtender Trasskalkmörtel, der als Baustellenmischung hergestellt wurde.

Alle außenliegenden, ursprünglich aus Drachenfelsstracht und Tuff bestehenden Brüstungen wurden komplett zurückgebaut. Der umlaufende Blattfries am Traufgesims des Mittelschiffes und die zum Teil blattwerkgeschmückten Profile des Seitenschiffgesimses wurden herausgebrochen, der überwiegende Teil des Strebewerkes und ein großer Anteil der Wasserspeier entfernt und in Londerfer Basaltlava unter weitgehender Rekonstruktion des ursprünglichen Zustandes neu gefertigt (Bild 5). Insgesamt reduzierte sich der Anteil der originalen Steinsubstanz der Außenhülle durch Krieg und Wiederaufbau enorm.

Ungenügende Einbindetiefen, nicht erfolgte Verankerungen nach mittelalterlichem Vorbild, unvollständige Schließung von Mauerwerkshohlräumen und fehlende Mörtelverfüllung der Verblenderückseiten und Stoßfugen kennzeichnen die von einem beeindruckend zügigen Baufortschritt geprägte Maßnahme.

Im Inneren bedeutete die Wiedereinwölbung eine große Herausforderung, die überzeugend gelöst werden konnte. Randbereiche, Zwickel und noch im Zusammenhang stehende Kappenfragmente wurden in die Gewölberekonstruktion mit einbezogen und statisch ertüchtigt. Zahlreiche Pfeilerskulpturen und deren aufwändig gestaltete Baldachine, Altäre und der Lettner mussten vervollständigt oder rekonstruiert werden (Bild 1).

Nach Einbau der teils ergänzten, teils vollständig erneuerten Maßwerke und dem Verschließen der Fensterflächen konnte der Neuperputz aufgebracht werden, der eine gegenüber der Vorkriegssituation leicht reduzierte Farbfassung erhielt. Stück für Stück wurden die ausgelagerten mittelalterlichen Glasmalereien wieder an ihre historischen Orte eingefügt und durch hochwertige Neuanfertigungen im Chor, der Südseite und im Westbau ergänzt. Bereits 1966 konnte die Wiederherstellung der Stiftskirche beendet werden. Wesentliche Teile der Innenausstattung wurden an ihren originalen Ort zurückgebracht, anderes wie die Kanzel, einige Altäre und Reliquienschreine sowie die Schwalbennestorgel waren unwiederbringlich zerstört oder blieben eingelagert in den Archiven des Bistums.

In den 1970er Jahren wurden die oberen Geschosse des Nordturmes als tuffverblender Betonbau errichtet und mit dem rekonstruierten Spitzhelm bekrönt. Damit fand der Wiederaufbau seinen Abschluss.

4 Entwicklung von der Steinmetzwerkstatt zum modernen Restaurierungsbetrieb

In den nächsten Jahren erfolgten durch die personell reduzierte Dombauhütte kleinere Reparaturen am gesamten Baukörper und grundlegende Instandsetzungsarbeiten am Südturm sowie am achtbahnigen Westfenster. Konnte mit der überwiegend in Oberkirchener Sandstein ausgeführten Rekonstruktion des Südportals in den 1990ern das handwerkliche Geschick der Steinmetzen noch einmal eindrucksvoll unter Beweis gestellt werden, geriet nun die Erhaltung der verbliebenden originalen Substanz mehr und mehr in den Fokus.

So wurde der Arbeitsbereich der Steinkonservierung geschaffen und in den Folgejahren kontinuierlich ausgebaut. Es entstand ein umfassendes Mörtel- und Probenarchiv, um abgeschlossene Maßnahmen in Hinsicht ihrer Nachhaltigkeit auswerten zu können. Bilddokumentationen und in Fotoausdrucken eingetragene Kartierungen erfassen Vor-, Arbeits- und Nachzustand. Zur digitalen Darstellung von Schadensverläufen, Bauspuren, Materialien und Maßnahmen wurden Messbilder erstellt. Zunächst wurden die Eintragungen mittels kommerzieller Bildbearbeitungssoftware vorgenommen. Schon 2002 kam das damals in Entwicklung befindliche Kartierungsprogramm METIGO-Map der Fa. Fokus zum Einsatz (Bild 6). Dessen Optimierung und praxisnahe Gestaltung wurde von der Dombauhütte seither aktiv begleitet. 2002 folgten die Einstellung eines Steinrestaurators und die Einrichtung des Labors.

In den Folgejahren nahm der Anteil an Rekonstruktionen am Jahresprogramm kontinuierlich ab. Die überlieferte Jahresteilung in Baustellenarbeit im Sommer und Steinmetzarbeit im Winter war nicht mehr zukunftsfähig. Mit der Aufstellung des ersten Abschnitts der Kopie des Xantener Hochkreuzes 2004 endete die letzte große Rekonstruktionsmaßnahme, an der die gesamte Belegschaft beteiligt war. Konsequenterweise erfolgten eine räumliche Verkleinerung und Umstrukturierung der Werkstatträume. Da für handwerklich anspruchsvolle Kopien mittelalterlicher Skulpturen regelmäßige Übung nötig ist, war in diesem Arbeits-

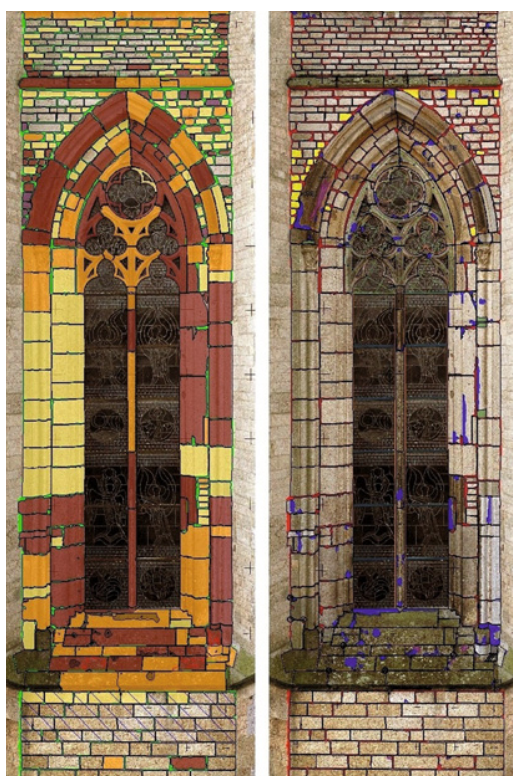


Bild 6

In METIGO-Map digitalisierte Kartierung. Die Farbintensität links zeigt den Restaurierungszeitbedarf des einzelnen Steins an, rechts sind die Maßnahmen eingetragen (z.B. gelb: Steinaustausch, grün: Vierungen, blau: Steineränzungen).



Bild 7

unter Wiederverwendung der Originalsubstanz erfolgende bildhauerische Rekonstruktion einer Figur der Ölbergstation

bereich eine personelle Spezialisierung innerhalb des Teams der Dombauhütte sinnvoll, so dass ein Bildhauermeister für hochwertige Repliken weiterhin zur Verfügung steht. Mit der Fertigstellung des Hochkreuzes, der archäologischen Rekonstruktion zweier Epitaphien und der im Rahmen des Peter-Parler-Preises belobigten Figurengruppe der Ölbergstation konnte das hohe Niveau der in der Dombauhütte gefertigten Bildhauerarbeiten aufgezeigt werden (Bild 7).

Zur neuen Winterarbeit wurde die Tätigkeit im Dom. Beim Wiederaufbau zurückgestellte Reparaturen in den Turmgeschossen und im Gewölbenbereich oberhalb der Joche konnten abgearbeitet werden. Hierbei wurde eine Vielzahl der durch Kriegseinwirkung entstandenen Rissysteme injiziert und Mauerwerksausbrüche geschlossen. Der in den 1960er Jahren eingebrachte Blausteinbodenbelag des Domes zeigte fortschreitende Schäden durch Salzsprengung, die eine zunehmende Stolpergefahr für Besucher darstellten. Auslösend für dieses Schadensbild waren eindringende Nitratverbindungen aus dem kapillar nicht getrennten Bodenunterbau. Die Sanierung konnte bereits zu einem Drittel abgeschlossen werden.

Sukzessive wird der Altbelag entfernt und der komplette Mörtel- und Betonunterbau beseitigt. Auf einer das Erdreich bedeckenden Fließschicht wird kapillARBrechender Drainbeton eingebracht, auf dem der Blausteinbelag unter Einbeziehung wiederverwertbarer Platten des Altbelages neu verlegt wird. Zeitgleich erfolgen Putzreparaturen und Rissbehandlungen im salzbelasteten Sockelbereich sowie im Wand- und Gewölbenbereich. Die stark mit Ruß und Schmutz belastete Farbfassung wird gereinigt und bei Bedarf neu aufgebracht.

Hierfür ist eine staubdichte Abtrennung des Arbeitsbereiches vom Dominnenraum nötig. Nicht entfernbare Ausstattungstücke wie Altäre und größere Skulpturen werden eingehaust und unter begleitender messtechnischer Überwachung klimatisiert.

Die Arbeiten im Außenbereich umfassen einerseits beim Wiederaufbau zurückgestellte Maßnahmen als auch Reparaturen an der Wiederaufbausubstanz (Bild 8).

Der Verfall des noch vorhandenen mittelalterlichen Materials schreitet fort. Tuffmauersteine, nicht selten in Zweitverwendung aus der römischen Colonia Ulpia Trajana, die vor zwei Generationen noch statisch belastbar waren, sind heute durch Schuppen- und Schalenbildung oder Zerrüttung nicht mehr zu halten. Zu einer Beschleunigung der natürlichen Zerfallsprozesse führte der Einsatz von zu stark erhärtendem Fugmörtel der Wiederaufbauphase.

Der sich bei Feuchtigkeit erheblich dehnende Tuff ist umschlossen von einem hygrysch kaum

reagierenden Umfeld. Dieses führt zur Ausbildung einer Mürbzone in der Tiefe des eingebrachten Fugmörtels und zur Aufwölbung des oberflächen-nahen Bereiches mit anschließendem mosaiksteinartigen Zerfall. Größere zusammenhängende Bereiche platzen ab.

Abhilfe schafft hier allein das präventive Ersetzen des hydraulischen Fugmaterials durch Luftkalkmörtel. Hierfür entwickelte die Dombauhütte innerhalb eines von ihr initiierten Projektes gemeinsam mit der Firma „Rheinkalk“ und der Firma MTM Münster eine Mörtel und Farbe umfassende Produktfamilie auf Luftkalkbasis ohne hydraulische Bestandteile, Polymere oder Acrylate. Der gebrauchsfertig angelieferte Feuchtmörtel ist abgedeckt problemlos mehrere Monate lagerfähig. Der selben Produktfamilie entstammt die eingesetzte Tuffergänzungsmasse für Anstrichungen, die es ermöglicht, weitere originale Substanz zu erhalten bzw. maßvoll wenn nötig zu ergänzen (Bilder 10 und 11).

Vorausgegangen war eine Studie über die beim Dombau verwendeten Zuschläge und eine umfassende Marktanalyse von Kalkprodukten. Zur besseren Vergleichbarkeit der Materialien und Einsatzzwecke wurde von der Dombauhütte ein Datenblatt entworfen und den Herstellern zum Ausfüllen zugesendet, Mörtelproben in Form von Prismen und Petrischälchen erstellt und archiviert (Bild 9).

Eine Herausforderung stellte die Art der Verwitterung von Drachenfelstrachyt dar. Hier konnten gemeinsam mit der Dombauhütte Köln in Partnerschaft mit der FH Köln und den Universitäten Erlangen und München innerhalb eines von der Deutschen Stiftung Umwelt betreuten Projektes verschiedene Konservierungsmöglichkeiten entwickelt und ein geeignetes Ersatzmaterial gefunden werden.

Einen großen Teil der heutigen Baustellentätigkeit der Dombauhütte umfasst die Instandsetzung der beim Wiederaufbau erneuerten Bereiche. Mauerwerksverblendungen aus in weiten Teilen unangeordneten und zu schmalen Verblendern aus Ettlinger Tuff zeigen mittlerweile bedrohliche Auswölbungen und müssen durch Verdübelungen, Mörtelhinterfüllungen und den Einbau von Bindersteinen gesichert werden.



Bild 8
flächiges Abscheren von mittelalterlichem Tuffmauerwerk durch Verwendung ungeeigneten Mörtels während früherer Maßnahmen

Bild 9
Mörtelarchiv der Dombauhütte, Vergleichsmuster in Petrischälchen



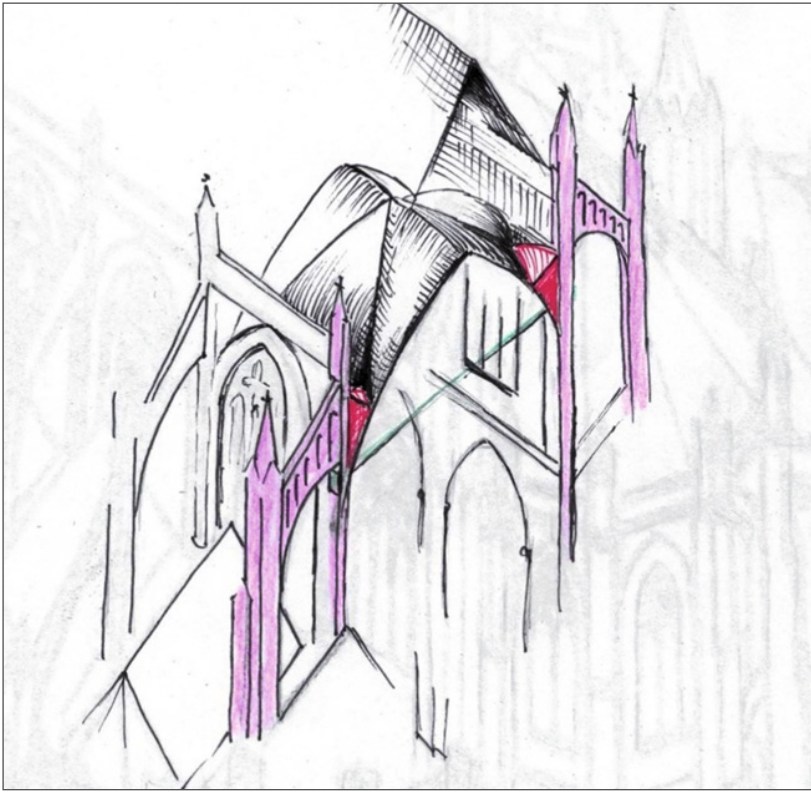
Bild 10
Blattfries am nördlichen Seitenchor, Vorzustand

Bild 11
Zustand nach frisch aufgetragener Ergänzung mit Steinersatzmasse auf Luftkalkbasis



Bild 12
Zerrüttung von Drachenfels-tracht an einem Chormauwerkstück

Bild 13
nach Entnahme eines unverklammerten Verblenders sichtbare Verfüllung des nördlichen Chorstrebepeilers

**Bild 14**

Schema des Ankerseilverlaufs während der Maßnahme am südlichen Chorstrebe-
werk

**Bild 15**

Abbau der Auflastfiale am
südlichen Chorstrebe-
werk unter
Nutzung von Schwerlastdübeln

Stärkere Eingriffe sind im Strebe-
werk nötig. In den
Pfeilern wurden beim Wiederaufbau schmale
Basaltsteine entgegen der mittelalterlichen Aus-
führung unverankert übereinandergesetzt und der
Zwischenraum oft inhomogen mit Mörtel- und
Steinstücken und z. T. unter Bauschuttzugabe
verfüllt (Bild 13).

Besonders die beiden polygonalen chorflankieren-
den Strebepfeiler bildeten durch den auf die Fugen

wirkenden Setzungsdruck des Pfeilerinneren
umfassende Rissysteme aus, in denen Expan-
sionsprozesse durch gefrierendes Wasser und
nachgewiesene Ettringitbildung vonstatten gingen.
Gleichzeitig kam es zu einer dauerhaften Durch-
feuchtung des Pfeilerkerns, da Basaltlava aufgrund
seiner bauphysikalischen Beschaffenheit im Prinzip
keine Feuchtigkeit kapillar ableiten kann. Die
Stärke der Schädigung des südlichen Chorstrebe-
pfeilers bedingte einen Rückbau bis auf Höhe des
Seitenschiffdaches (Bild 15). Hierfür musste der
östliche Dombereich mit Seilen zusammengehalten
werden. Diese wurden durch zwei Maßwerkfelder
der benachbarten Fenster geführt und an außen-
liegende, auf Druckverteilungsplatten ruhenden
Stahltraversen befestigt (Bild 14).

Über neuartige Sensoren wurden Lage und Bewe-
gungen kontinuierlich in Echtzeit überwacht. Aus
den erfassten Daten konnten über die Baumaß-
nahme hinaus Kenntnisse über das Verhalten der
Mittelschiffwand bei unterschiedlichen Wind-
verhältnissen gewonnen werden. So betrug die
maximale Differenz der Abweichung der in etwa
20 m befindlichen Mauerkrone vom Lot bei einem
Wechsel von Süd- auf Nordwind mehr als 10 cm.
Der Wiederaufbau des Pfeilers erfolgte unter voll-
ständiger Verwendung der vorhandenen Basalt-
lavastücke und unter Einsatz von Klammern und
Verdübelungen aus Edelstahl. Um das Eindringen
von Wasser zu erschweren, wurden die Fugen der
Verdachungen mit MS-Polymer abgedichtet.

Auch im nördlichen Strebe-
werk waren und sind
nachträgliche Verdübelungen bzw. Rück- und Neu-
aufbau einzelner Pfeilerauflastfialen nötig, so wird
die Instandhaltung der Strebe-
werke noch einige
Jahre dauern.

5 Die Einrichtung der Glas- restaurierungswerkstatt

Die zunehmende Verschlechterung des Zustandes
der mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Glas-
malereien bedingte eine erneute Anpassung des
Arbeitsfeldes der Dombauhütte. Von den 63 Glas-
fenstern des Innenraumes enthalten 24 noch
Anteile mittelalterlicher bzw. frühneuzeitlicher



Bild 16
Fenster nVII, Feld 3b, unterer Bereich (um 1300),
Mikroskopiedetail Lochfraß

Bild 17
abschließende Retuscharbeiten auf dem Leuchttisch

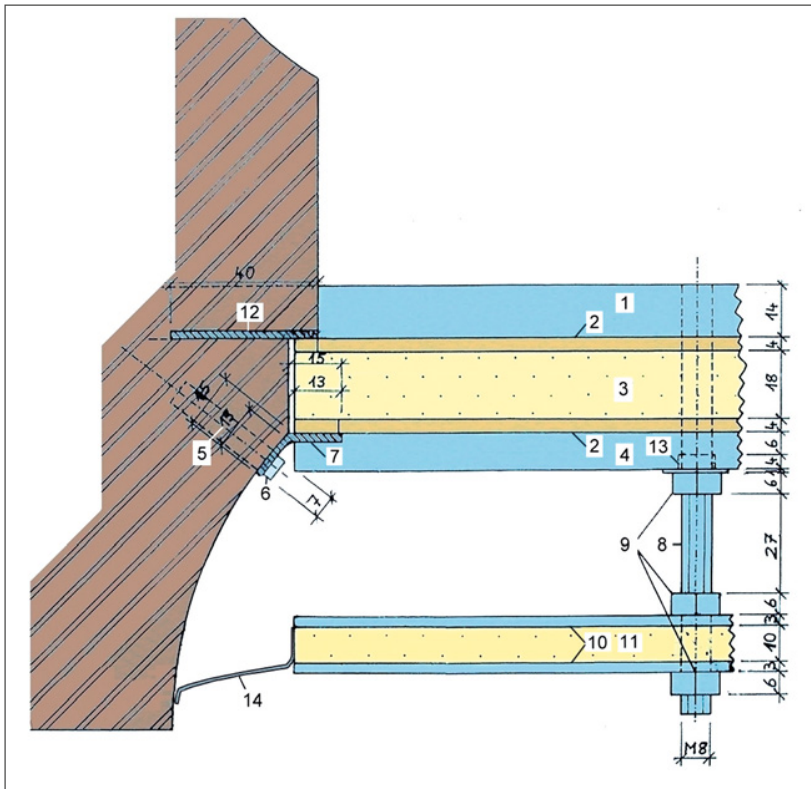


Bild 18
beeinträchtigende Sprungbleiverwendung an einem Detail
des Passionsfensters (1535)

Bild 19
Endzustand nach Sprungbleientfernung, Verklebung
und Retusche

Malerei. Die ältesten davon sind Ende des 13. Jahrhunderts entstanden und haben Kriege, Raubzüge und Witterungseinflüsse überstanden. Mehrfach wurden diese Kunstwerke zum Schutz oder zur Restaurierung demontiert. Beim Wiedereinbau wurden teilweise Scheiben vertauscht, seitenverkehrt eingesetzt oder nicht dem ursprünglichen Fenster zugeordnet. Lochfraß und unter die Malschicht reichende Korrosion gefährden den

Bestand ebenso wie Krustenaufgaben, der sogenannte „Wetterstein“ (Bilder 16 und 17). Ruß- und Schmutzschichten lagerten sich im Innenbereich an. Einige schlecht eingebrannte Partien der Malschicht wurden durch Kondenswasser im Laufe der Jahrhunderte abgespült. In früheren Reparaturen wurden Risse mit Sprungbleien geschlossen, die die Wahrnehmung der Malereien stark beeinträchtigen (Bilder 18 und 19). Durch die Verwendung von

**Bild 20**

Schematischer Aufbau der Schutzverglasung am Xantener Dom: 1 Fenstereisen, 2 Tecoband, 3 ISO-Verglasung, 4 Deckschienen, 5 Gewindehülsen, 6 Schrauben, 7 Anpresswinkel, 8 Gewindestangen, 9 Muttern, 10 Edelstahlschienen zur Befestigung der Glasmalerei, 11 in U-Profil gerahmte Glasmalerei, 12 Edelstahlschienen zur Stabilisierung der Natursteinfalz (bei Bedarf), 13 Huthülsen zur thermischen Trennung, 14 Sichtblende aus angelötetem Bleiblech

Bild 21

Montage der ISO-Verglasung für einen Vierpass



Doublierungen, bei denen das historische Glas zwischen zwei Klargläser gebettet wird, kam es zu Schädigungen durch sich ansammelndes Wasser mit den damit verbundenen Ablagerungen, Löseprozessen und biologischen Filmen. Weiterhin waren teils starke Verwerfungen des alternden Bleinetzes zu verzeichnen. Maßnahmen wurden dringend nötig, um den Substanzverlust zu bremsen.

2006 wurde die Glasrestaurierungswerkstatt eingerichtet. Die wertvollen Glasfelder können nun objekt-nah konserviert und restauriert werden. Um eine langfristige Verbesserung der Einbausituation zu erreichen, wird an Stelle der originalen Verglasung eine aus Isolierglas bestehende Schutzverglasung in die dafür aufzubereitenden Fensterfalze eingebaut (Bilder 20 und 22). Die hierfür nötigen steinmetzmäßigen Ausarbeitungen und Restaurierungen am Gewändeprofil erfolgen zeitgleich jochweise mit den Boden- und Wandinstandsetzungsarbeiten. Somit wird ein hohes Maß an Effektivität der eingesetzten Gelder sichergestellt.

Die vor und nach Abschluss der Maßnahme dokumentierten Glasmalereien werden gerahmt und an einer Metallkonstruktion in das Innere des Domes montiert (Bilder 21 und 23). So sind sie nun geschützt vor dem die Malschicht gefährdenden Kondenswasser, vor Vandalismus und starken Temperaturschwankungen. Die Wirksamkeit des neuartigen Schutzglasaufbaus unter Verwendung von ISO-Glas wurde in einem Projekt der Deutschen Stiftung Umwelt über ein Jahr messtechnisch kontrolliert, die erhofften Werte wurden bestätigt. Aktuell konnten auf diese Art bereits 20 der 24 Fenster mit mittelalterlichem bzw. frühneuzeitlichen Bestand für die Nachwelt gesichert werden.

6 Instandhaltung von Dach- und Holzwerk

Ein stetig mehr Zeitaufwand forderndes Arbeitsfeld ist die Sicherstellung der Wasserableitung über die Dachflächen und die als Wartungszuwegung begehbaren Rinnen, deren Gesamtlänge am Mittelschiff etwa 125 m und an den Seitenschiffen etwa 350 m beträgt.

Bei der Dacheindeckung mit Schieferplatten wurde zum Teil in unzureichend abgetrocknetes Holz genagelt, so dass durch Schwindungsprozesse die Schiefelnägel ihren Halt verlieren. Immer wieder lösen sich Platten und stürzen in die Rinnen. Auch brechen vom alternden Schiefermaterial bei Bewegungen durch Starkwinde Teile ab. Eindringendes Wasser führte zu Holzschäden an Verbretterung, Dachstuhl und Balkenwerk. Diese erforderten wie-



Bild 22

Einbau der Schutzverglasung am Maßwerk eines Seitenschiffensters

Bild 23

Montage der gerahmten historischen Glasmalerei am Viktorfenster

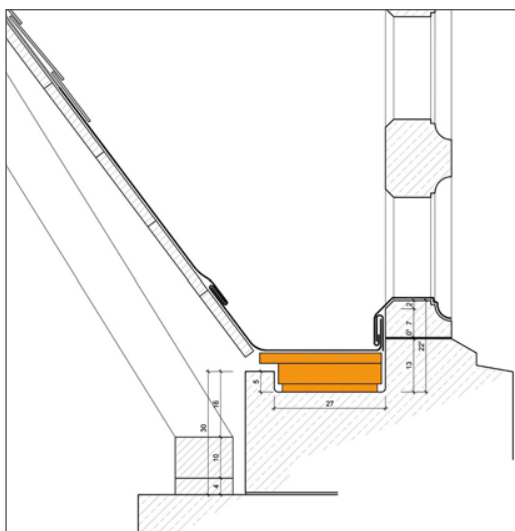


Bild 24a+b

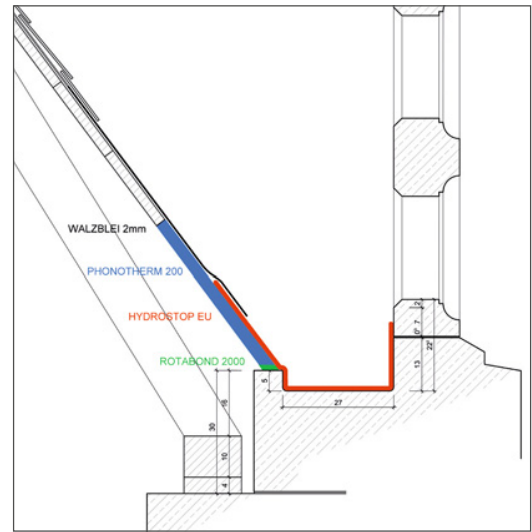
Durch Fäulnis zerstörter Unterbau des Rinnenbelages aus Walzblei, Sakristeianbau

derkehrende Einsätze eines Bautischlers. Daher wird ab Frühjahr 2018 ein Holzfachmann das Team der Dombauhütte dauerhaft unterstützen.

In den 1970er Jahren wurden die ursprünglichen Steinrinnen mit einer walzbleitragenden Holzkonstruktion überbaut. Verlegebedingt kam es zu Materialschwächung an den Blechfalzungen im Dachanschluss. Durch Temperaturschwankungen und Begehung erfolgten Dehnungen des Falzbereiches, die zu feinsten Rissen führten. Herabrutschende Schieferplatten durchschlugen an den bereits vorgeschädigten Stellen das Bleiblech, Regenwasser konnte einsickern. Im Winterhalbjahr bildete sich Kondenswasser an den Bleiblechunterseiten durch aus dem Dominnenraum in die Gewölberäume eindringende beheizte, mit Feuchtigkeit

angereicherte Luft. So wurde die das Blei tragende Holzkonstruktion nachhaltig geschädigt. Fäulnis führte zu Materialschwächung, erneutes Begehen ließ das Bleiblech in die nicht mehr intakte Bretterunterlage einsinken, die Dehnungen der Falzbereiche verstärkten sich (Bild 24a+b).

Es wurde entschieden, die ursprüngliche Steinrinne wieder freizulegen und mit einem Dichtstoff zu beschichten. An den anbindenden Dachbereichen wurde zeitgleich die Holzverbretterung durch kunststoffgebundene, feuchtigkeitsresistente Platten ersetzt. Ein günstiger Nebeneffekt ist die mit dieser Maßnahme einhergehende Vergrößerung der Wasserspeieröffnungen auf das historische Maß. Dadurch wird die nicht zu unterschätzende Verstopfungsgefahr durch Nistmaterial und Laub



schranken ergeben sich sehr unterschiedliche Temperaturzonen im Dom. Durch den fortschreitenden Einsatz von Schutzverglasungen erfolgt eine zunehmende Abdichtung der Gebäudehülle. Diese ist zur Optimierung des Heizenergieeinsatzes gesellschaftlich und damit als Beitrag zur Wahrung der Schöpfung vom Bistum Münster gewünscht. Jedoch ergibt sich durch diese Maßnahme eine verringerte Luftwechselrate, so dass ein intelligent geregeltes Belüftungskonzept entwickelt werden muss (Bild 26).

7 Herausforderung Dominantenklima

Durch Konzerte und Festveranstaltungen sowie die zunehmende Zahl von Besuchergruppen während der touristischen Saison kommt es zusätzlich zu Klimaveränderungen im Innenbereich. Hierzu zählen sehr starke Schwankungen von Luftfeuchtigkeit und Temperatur, zeitlich punktuelle hohe Staub- und Schmutzeinträge und die daraus abgeleitete erhöhte Feinstaubbelastung.

Daraus resultiert eine zunehmende Belastung von Holzkonstruktionen, Malschichten und Vergoldungen der Altäre. Vermehrte Ablösungen und Rissbildungen sind die Folge. Eine Zunahme von Schimmelpilzbefall an den Altären, Orgeln und Schmuckteppichen im Xantener Dom wurde festgestellt.

Um diese Situation zu verbessern, muss zum einen der Nährboden für organischen Befall möglichst gering gehalten werden. Der Holzrestaurator wird daher den Zustand des Bestandes regelmäßig



messtechnisch kontrollieren und die Oberflächen der Ausstattung zyklisch reinigen. Zum anderen muss das Innenklima weitestgehend unabhängig vom Außenklima auf einem für Besucher und Ausstattung unbedenklichen Niveau eingestellt werden. Hierfür startet 2018 ein Projekt im Rahmen der DIGIPRO, in dem grenzübergreifend deutsche und niederländische Fachleute aus Wissenschaft und Denkmalpflege zusammenarbeiten.

In einer ersten Phase werden mittels eigens für diesen Zweck angepasster Messsensorik Temperatur, CO₂-Konzentration und Luftfeuchtigkeitswerte an verschiedensten Stellen des Innenraumes erfasst und mit Außenklimadaten abgeglichen. Ergänzt werden die Messreihen durch Daten, die Rückschlüsse auf Luftmassenverteilung, Luftwechselrate und Luftströmung ermöglichen. Nach Entwicklung und Verfeinerung von Strömungsmodellen zu Zeiten mit und ohne Beheizung des Innenraumes können verschiedene Lastenfälle simuliert und Belastungsspitzen in ihrer Stärke und Lokalität bestimmt werden. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse hoffen wir, in einer zweiten Phase praktisch umsetzbare Maßnahmen wie ein Lüftungskonzept oder eine intelligente Heizungssteuerung ableiten zu können, um gezielt das Dominnenklima zu beeinflussen. Den Schwerpunkt stellt hierbei die Schimmelpilzverminderung dar, aber auch eine Optimierung des Energieeinsatzes wird aus ökologischen und finanziellen Gründen angestrebt.

8 Ausblick

Die Wiederherstellung des Domes konnte 1966 weitgehend abgeschlossen werden.

Doch Geschichte geht weiter, kennt keinen Endpunkt. Viele Dinge, die zum Zeitpunkt des Wiederaufbaus zurückgestellt wurden, benötigen nun nach über 50 Jahren Reparaturen und Pflege, weitere Schadensbilder kommen hinzu.

Sicher erscheint eine Bauwerksbegleitung aus Phasen längerer Ruhe gefolgt von gebündelten, aber kostenintensiven Maßnahmen haushalts-technisch verlockend. Langfristig bleibt aber die kontinuierliche Begleitung substanz- und ressourcenschonender.

Für die Dombauhütte in Trägerschaft des aus engagierten Mitgliedern bestehenden Dombauvereins ist es nicht nur das Ziel, den Dom für zukünftige Generationen zu bewahren. Er muss auch für die sich stetig verändernden Anforderungen unter Beachtung des Denkmalschutzes ausgerüstet werden. So entwickelt sich ständig Neues und Zukunftsweisendes wie der Einbau von Schutzverglasungen.

Es stehen in naher Zeit weitere Herausforderungen an. Die Beleuchtungsanlage ist funktionell und energetisch nicht optimal, die Elektroleitungsführung überaltert und überholungsbedürftig. Eine wachsende Zahl von Besuchern wünscht sich eine

Bild 26

Wärmeverluste an den Fenstern des südlichen Seitenchores – links bei eingebauter Schutzverglasung, rechts im Ursprungszustand

umfassende und gleichwertige barrierefreie Zuweisung sowie eine Verbesserung der akustischen Situation. Mit den steigenden Kosten für sich häufende Reparaturen und Wartungsarbeiten an der in die Jahre gekommenen Domorgel wächst die Anzahl derer, die sich für einen Orgelneubau an alter Stelle im Obergaden einsetzen.

Das sind nur einige Beispiele, bei denen die Propsteigemeinde auf die Fertigkeiten und den über Jahrzehnte gewachsenen Erfahrungsschatz der Dombauhütte zurückgreifen kann. Und diesen möchte das Dombauteam noch lange zum Wohle des Xantener Domes zur Verfügung stellen.

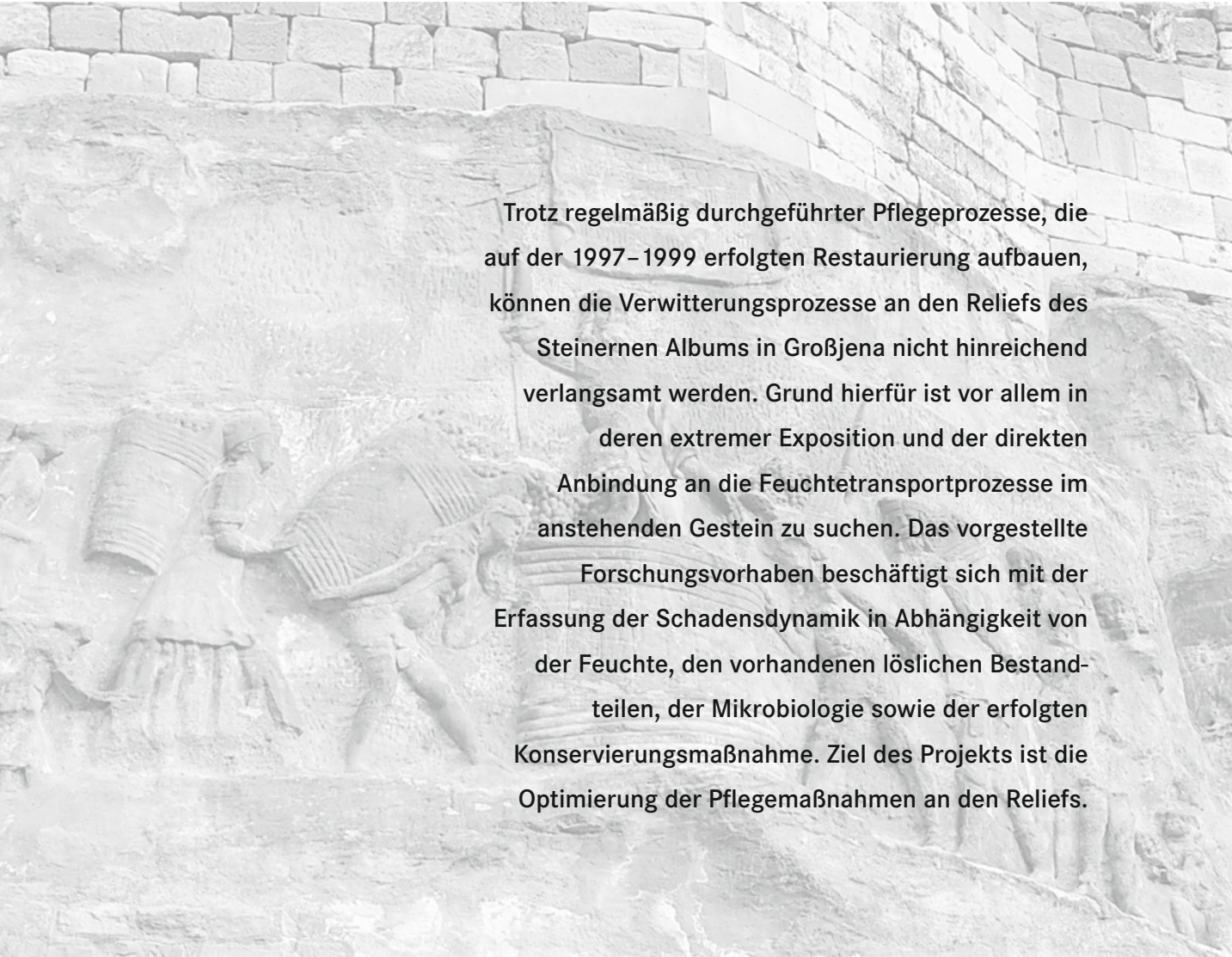
Abbildungen

Bild 2: Drese, Xanten 1946
Bild 3: Nachlass Bader, Xanten
Bilder 4, 5: Rheinisches Bildarchiv
sonstige: Dombauhütte Xanten

Das Steinerne Album in Großjena

Die Problematik der nachhaltigen Pflege von Objekten im anstehenden Gestein und der Umgang mit der erfolgten Altkonservierung

von Jeannine Meinhardt, Katja Schmeikal und Benjamin Hübner



Trotz regelmäßig durchgeführter Pflegeprozesse, die auf der 1997–1999 erfolgten Restaurierung aufbauen, können die Verwitterungsprozesse an den Reliefs des Steinernen Albums in Großjena nicht hinreichend verlangsamt werden. Grund hierfür ist vor allem in deren extremer Exposition und der direkten Anbindung an die Feuchtetransportprozesse im anstehenden Gestein zu suchen. Das vorgestellte Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit der Erfassung der Schadensdynamik in Abhängigkeit von der Feuchte, den vorhandenen löslichen Bestandteilen, der Mikrobiologie sowie der erfolgten Konservierungsmaßnahme. Ziel des Projekts ist die Optimierung der Pflegemaßnahmen an den Reliefs.

Bei der Erhaltung von Baudenkmalen sehen sich die Verantwortlichen und Ausführenden immer wieder Objekten gegenüber, an denen etablierte Restaurierungs- und Konservierungsstrategien nicht funktionieren. Insbesondere Natursteinobjekte, die in das anstehende Gestein gehauen wurden oder fest mit dem Mauerwerk verbunden sind, gehören zu diesen Sorgenkindern. Trotz regelmäßiger durchgeführter Pflegeprozesse, die auf einer erfolgreichen Restaurierung aufbauen, kann der Verwitterungsprozess nicht aufgehalten bzw. hinreichend verlangsamt werden. Grund hierfür ist häufig die direkte Anbindung dieser Objekte an die Feuchte-transportprozesse im Gestein (bzw. Mauerwerk), die nicht effektiv unterbunden werden können, ohne einen unverantwortlichen Eingriff in die Wertigkeit der Denkmalsubstanz zu riskieren. Mit der Feuchte (auch Luftfeuchte) verbindet sich zumeist auch der Transport von löslichen Bestandteilen bzw. Kristallisationsvorgänge, die mit dem Risiko einer Schädigung der Oberflächen einhergehen. Weiterhin sind derartige Objekte auch in besonderem Maß von biogenem Bewuchs betroffen, der neben dem Schadenspotential vor allem auch negativen Einfluss auf die Erkennbarkeit der Oberflächen nimmt.

Die barocken Felsenreliefs des Steinernen Albums in Großjena sind in diesem Spannungsfeld angesiedelt, weshalb die Erarbeitung eines nachhaltigen Pflege- und Präsentationskonzept sehr komplex und schwierig ist. Im Rahmen des Forschungsvorhabens, welches auf Erkenntnissen aus dem Restaurierungsprojekt von 1997–1999 und dem Forschungsvorhaben zum Natursteinmonitoring aus den Jahren 2008–2010 aufbaut, geht es darum, das Verständnis der Substanz weiter zu spezifizieren, insbesondere über eine Langzeiterfassung der Feuchte, Impedanz und Temperatur im Tiefenprofil.

Direkt nach Abschluss der Restaurierungskampagne 1999 wurde am Steinernen Album ein Monitoring- und Pflegekonzept etabliert. Dieses sieht u. a. eine Nachfestigung erneut sandender Bereiche vor. Über die Zeit ist trotz der Pflegeprozesse eine Beschleunigung der Verwitterung zu beobachten. Ein akribisches Festhalten an dem einmal gefassten Pflegekonzept mit den sich wiederholenden Nachfestigungen gefährdet die Oberflächen vermutlich noch zusätzlich. Eine Modifikation der Pflegeprozesse, auch unter Berücksichtigung weiterer Maßnahmen, ist erforderlich und Gegenstand des hier dargestellten Vorhabens.



Bild 1
Ausschnitt der Buntsandsteinstufe mit einigen Reliefs des Steinernen Albums

1 Entstehungsgeschichte

Das Steinerne Album bzw. Festbuch wurde zwischen 1722 und 1726 anlässlich des 10-jährigen Regentendaseins von Herzog Christian von Sachsen-Weißenfels durch verschiedene Steinmetzen im Auftrag des herzoglichen Kammerherrn und Hofjuweliers Johann Christian Steinauer auf seinem Weinberg geschaffen. Dieser erhebt sich über einem mehrere Meter hohen Sandstein-Felsmassiv, in das die Reliefs gehauen worden sind, jeweils gestiftet von Freunden Steinauers [1]. Das Album besteht aus zwölf Reliefs mit biblischen Motiven, die im Zusammenhang mit dem Weinbau, der Jagd sowie Herzog Christian stehen (Bild 1). Die Figuren des Albums sind teilweise deutlich größer als lebensgroß. Die großformatigen Felsreliefs sind im gesamten mitteldeutschen Raum und weit darüber hinaus einzigartig. In ihrer Gesamtheit stellen die Reliefs wohl auch die größte zusammenhängende Bildhauerarbeit im anstehenden Gestein im europäischen Kulturraum dar.

Das aufgeschlossene Gestein repräsentiert verschiedene Varietäten eines Triassischen Sandsteins (Mittlerer Buntsandstein), die vornehmlich silikatisch bzw. silikatisch-tonig gebunden sind. Weiterhin gibt es karbonatisch gebundene Bereiche. Bei dem Karbonat handelt es sich um Dolomit (Ca/Mg Karbonat).

Nachdem die Reliefs nach ihrer Fertigstellung 1777 zunächst sehr bekannt waren, fielen sie im Laufe der Zeit in Vergessenheit und waren nur noch unter Experten bekannt. Zum Teil sind sie bei der Erweckung aus dem Dornröschenschlaf zu Beginn der 1990er Jahre mit Pflanzen überwachsen gewesen. Dieser Zustand hat die Reliefs jedoch nicht davor bewahrt, massiv unter den Einfluss der nur ca. 25 km in nordwestlicher Richtung gelegenen Chemiestandorte Buna/Leuna zu geraten. Insbesondere zu DDR-Zeiten waren sie einer massiven Belastung durch SO₂-Emissionen ausgesetzt und in Interaktion mit den dolomithaltigen Bindemittelanteilen des Albums kam es zur Bildung des extrem bauschädlichen Magnesiumsulfats, welches neben Nitratsalzen und Gips als Effloreszenz zu detektieren ist.

Der historische Weinberg wurde vor wenigen Jahren wieder neu aufgerebt. In diesem Zusammenhang sind die an die Reliefs angrenzenden Weinbergmauern instandgesetzt worden, was sich optisch sehr positiv auf die Erscheinung der Reliefs ausgewirkt hat. Aber auch die Überspülung mit Erde und die Gefährdung durch herabfallende Steine der Weinbergmauern ist somit eingedämmt.

2 Restaurierungsgeschichte

Die stark in Mitleidenschaft gezogenen Felsreliefs wurden zwischen 1997–1999 in einem Modellprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt restauriert. Der Schwerpunkt lag dabei in der Sicherung und dem Erhalt der Substanz. Die zwölf Reliefs wurden weitestgehend flächendeckend mit Kieselsäureester u. a. über die Infusionsmethode gefestigt. Mit speziell entwickelten Steinerzungs-mörteln (SEM) konnten anschließend Sicherungen an absturzgefährdeten Teilen des Reliefs vorgenommen werden. Sofort nach Beendigung der Restaurierungsarbeiten ist in vorbildlicher Weise eine Monitoring-Pflegeplan erstellt worden. Hauptaufgaben sind die Eindämmung der angrenzenden Vegetation, Reinigung der Reliefs, Kontrolle und Reparatur der Mörtelantragungen, Prüfen der Festigkeit und gegebenenfalls Nachfestigungen.

Schon bald nach der Restaurierung konnten trotz des etablierten Pflegeplans starkes Sanden und Abschuppen in Kombination mit z. T. massiven Effloreszenzen beobachtet werden. Die möglicher-



Bild 2
dünne, spannungsreiche Kruste mit aufgeplatzten Pusteln, dahinter entfestigter Sandstein

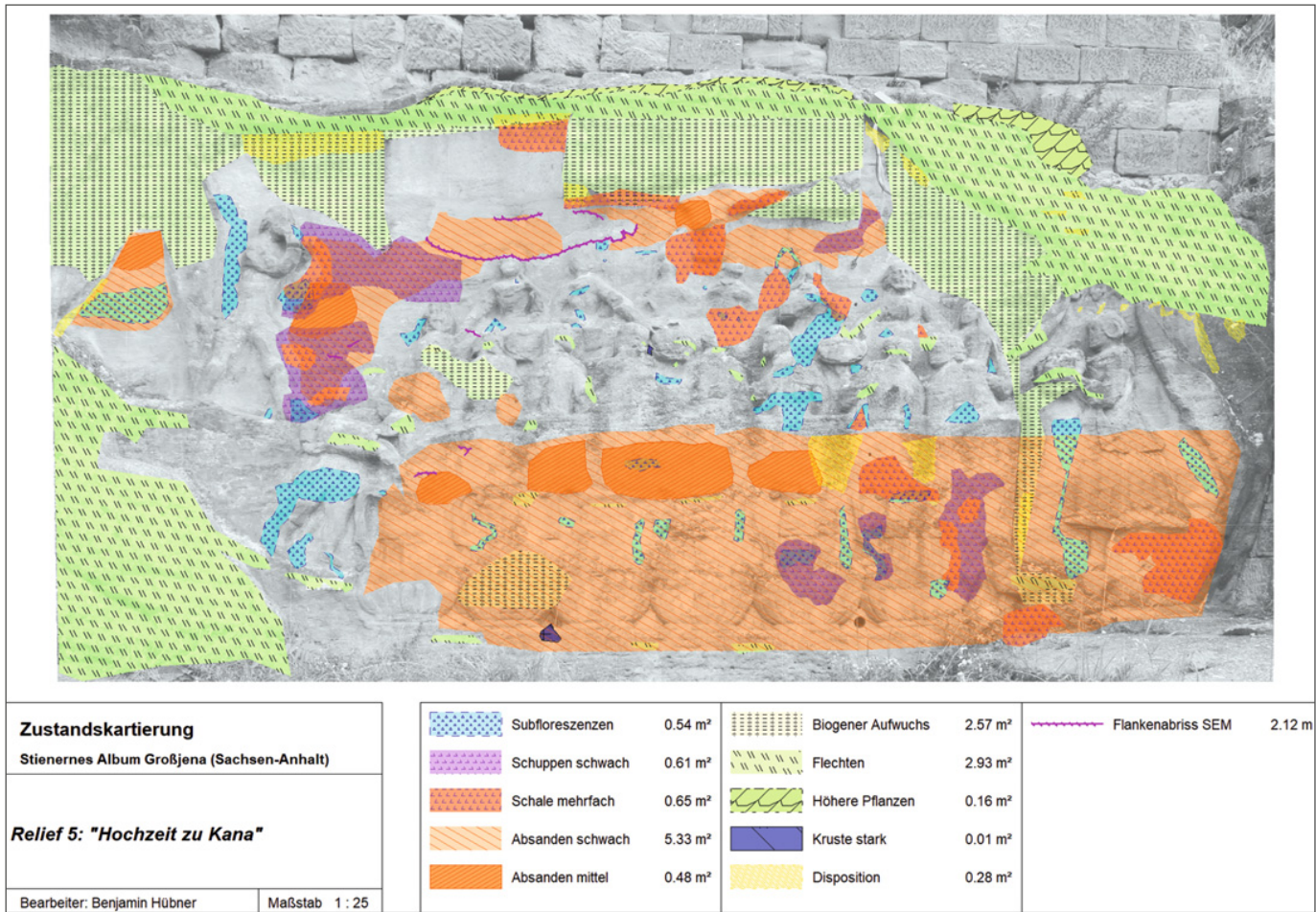


Bild 3
Zustandskartierung Relief
„Hochzeit zu Kana“
(Bearbeiter B. Hübner [2])

weise überfestigten Bereiche zeigen sich sehr spannungsreich, Pusteln stehen auf (Bild 2). Die Verwitterung schreitet relativ schnell voran, was u. a. an der Lage der Reliefs im anstehenden Gestein liegt. Es wird jedoch auch der Frage nachgegangen, inwieweit die aufgrund des postulierten Nachtransports nicht erfolgte Salzreduktion in Interaktion mit der Altkonservierung und auch die massive Mikrobiologie dafür verantwortlich sind. Es wird für dringend notwendig erachtet, das Pflegekonzept an die aktuellen Gegebenheiten und neuen Erkenntnisse anzupassen.

3 Aktueller Zustand

Das Steinerne Album ist stark durch verschiedene Verwitterungsprozesse und –phänomene geprägt

(Bild 3). So äußert sich die starke Rückwitterung der Reliefdarstellungen durch das zugerundete Erscheinungsbild der plastisch ausgestalteten Bildzitate. Für das gesamte Steinerne Album lassen sich folgende Phänomene in verschiedenen Ausprägungen festhalten: Neben sehr stabilen Oberflächen finden sich immer wieder Bereiche, in denen ein starkes Absanden der Oberfläche zu verzeichnen ist. Je nach Klimabedingungen sind Salzeffloreszenzen sichtbar. Gehäuft treten diese in Regenschattenbereichen auf. An abgeplatzten Bereichen und Vertiefungen sind Subfloreszenzen zu sehen. In den Randzonen der Subfloreszenzen tritt verstärkt die Bildung von kleinen Schalen auf. Diese sind oft kleinteilig und schuppenartig über die Oberfläche verteilt. Diese Schuppenbildung variiert in ihrem Aussehen etwas, je nach Korngröße der betroffenen Varietät. An den Horizontalflächen, welche aufgrund ihrer Lage einem große

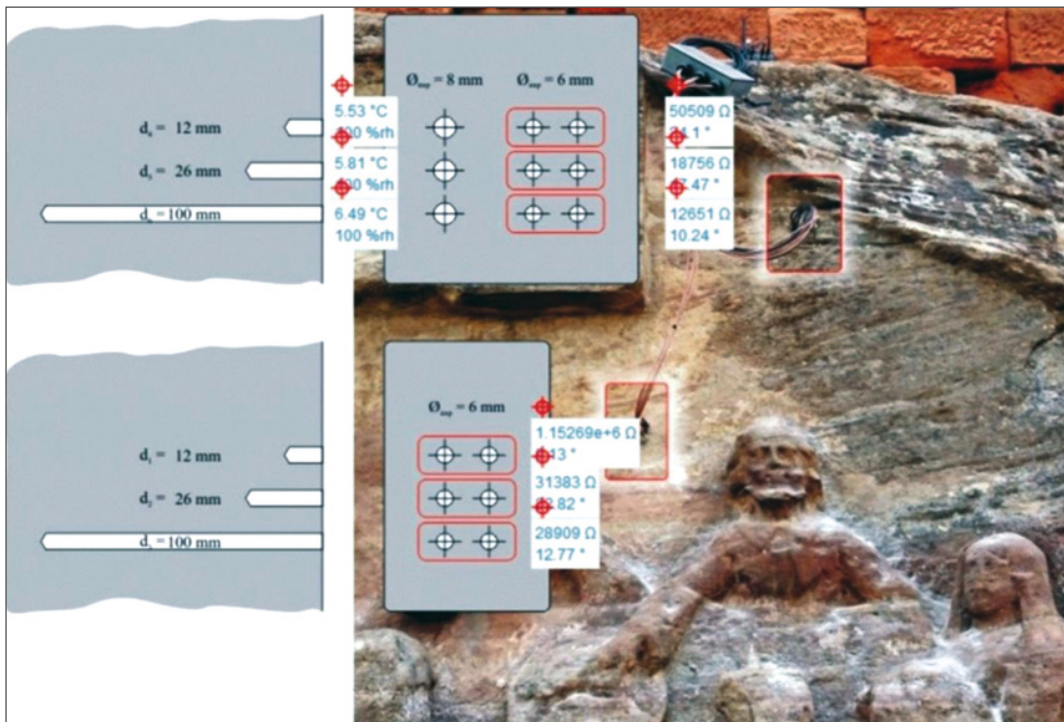


Bild 4
Installation der Messsensorik
der MPA Stuttgart im Bereich
des Reliefs „Hochzeit zu Kana“

ren Feuchteinfluss unterliegen, haben sich dicht Flechten und Moose angesiedelt. Der Zustand der in der Kampagne 1997–1999 angetragenen Steingergänzungsmörtel ist von unterschiedlicher Qualität. Einige zeigen – trotz erfolgter zwischenzeitlicher Ausbesserungen – starke Flankenabrisse und auch Hohlstellen. Teilweise sandet die Oberfläche der großflächigen Ergänzungen ab. Durch später hinzugefügte, kleinere Reparaturen an den großflächigen Auskofferungen der Salzspeichermörtel wirkt die Oberfläche inhomogen und fleckig. Generell liegt der Eindruck nah, dass die Salzspeichermörtel in weiten Bereichen ihre Aufnahmekapazität erreicht haben.

4 Langzeiterfassung physikalischer Kenndaten

Bereits im November 2015 wurden durch die MPA Stuttgart am Steinernen Album verschiedene Messsonden zur Überwachung der klimatischen Verhältnisse installiert. Mithilfe der Sonden kann die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebung und im Inneren des Gesteins dokumen-

tiert werden. Zusätzlich ermöglicht die Messung des elektrischen Widerstands in Form von Impedanz einen Blick in das anstehende Gestein. Auf Grundlage der so gewonnenen Messdaten sind genauere Aussagen zum Feuchteverlauf und dem Einfluss von Salzen möglich. Die Sensoren wurden im Relief „Hochzeit zu Kana“ in einer Höhe von ca. 2,5 m bzw. 3 m installiert (Bild 4). Neben den eingebrachten Sensoren werden die Klimaparameter Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit an der Messstation unter direkter Sonneneinstrahlung sowie an der im Schatten liegenden Basisstation erfasst. Für die innenliegenden Feuchte- und Temperatursensoren wurden 8 mm große Löcher bis in eine Tiefe von 15 mm, 25 mm und 100 mm gebohrt. Die Löcher für die Impedanzmessung sind 12 mm, 26 mm und 100 mm tief. Die in den verschiedenen Tiefen liegenden Sensoren sind mit einem Verteiler verbunden, welcher die Daten per Funk an eine Basisstation überträgt. Die Basisstation verfügt über eine drahtlose Internetverbindung und sendet die Daten an einen entsprechenden Server weiter. Mittels der webbasierten Smartmote®-Benutzeroberfläche können die Daten über das Internet von jedem Arbeitsplatz aus eingesehen und ausgewertet werden.

4.1 Relative Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit liegt im anstehenden Gestein zum überwiegenden Teil bereits ab einer Tiefe von 15 mm über 95 % r.F. In einer Tiefe von 100 mm steigt die relative Feuchte mit wenigen Ausnahmen auf nahezu konstant 100 % r.F. an. Der im Schatten liegende Außensensor misst in den Wintermonaten relative Luftfeuchten von 60–95 % r.F., im Sommer liegen die Schwankungen im Bereich von 20–85 % r.F. An der direkten Oberfläche schwanken die Werte aufgrund möglicher Wechsel von Regenereignissen und direkter Sonnenbestrahlung zwischen 10–100 % r.F. [2].

4.2 Temperatur

Die Messdaten der Temperatursensoren zeigen, dass die größte Spannbreite der gemessenen Temperaturunterschiede an den außenliegenden Sensoren auftritt. Das Temperaturmaximum liegt in den Sommermonaten im Schatten bei 37 °C. Unter direkter Sonneneinstrahlung klettern die ermittelten Temperaturen bis zu 53 °C. In den Wintermonaten ist das Temperaturminimum im Schatten bei –2 °C. Die Messdaten aus dem Inneren des anstehenden Gesteins zeigen in den Sommermonaten, dass noch bis in eine Tiefe von 25 mm mit Schwankungen zwischen 40 und 50 °C zu rechnen ist. Selbst bis in eine Tiefe von 100 mm sind im Sommer einzelne Spitzenwerte von über 40 °C messbar. Die starke thermische Belastung der Oberfläche konnte während der Untersuchungen im Juli 2017, bei sehr sommerlichen Temperaturen von über 30 °C, bestätigt werden [2]. Die Gesteinsoberfläche war noch am späten Nachmittag fühlbar aufgeheizt. Neben dem Effekt der Insolation trat an einem Tag ein kurzes, aber heftiges Starkregenereignis ein. Infolge eines solchen Gewitterereignisses hatte die stark aufgeheizte Oberfläche innerhalb einer kurzen Zeitspanne große Temperaturunterschiede zu verkraften (15 °C). In Anbetracht noch höher dokumentierter Spitzenwerte und der im Sommer immer wieder auftretenden Unwetter, ist der beschriebene Temperatursprung sicherlich kein Einzelfall, sondern vielmehr als eine immer wiederkehrende, dynamische Belastung der oberen Gesteinsschicht zu verstehen. In tieferen Bereichen (100 mm) verläuft die Temperaturentwicklung

aufgrund des geringeren Einflusses der direkten Sonnenbestrahlung erwartungsgemäß gedämpfter und gleichmäßiger ab. Die niedrigsten Temperaturen im Winter lagen in einer Tiefe von 100 mm zum größten Teil kurz oberhalb von 0 °C. Nur für sehr kurze Perioden wird dieser Temperaturbereich auf bis zu –2 °C unterschritten. Knapp unter der Oberfläche (15 mm) sinkt die Temperatur im Winter bis auf –5 °C herab. Somit sind am Steinernen Album unter den entsprechenden Feuchteverhältnissen Frostereignisse im Gefüge nicht auszuschließen [2]. Aus den dargestellten Temperaturverläufen können sich erhebliche Spannungen im Gefüge ergeben, die auf lange Sicht die Entfestigung der Substanz unterstützen.

4.3 Impedanz

Die Impedanzmessung zeigte, dass in einer größeren Tiefe der Stein an der gewählten Messstelle nahezu das ganze Jahr über hygroskopisch feucht ist. Die Feuchtegehalte zeigen innerhalb der Messachsen der ergänzenden Bohrmehluntersuchung den Einfluss nachströmenden Sickerwassers auf Grundlage der darüber liegenden Terrassierung sowie die Beeinflussung aufsteigender Feuchtigkeit in bodennahen Bereichen. Der Feuchtegehalt der Oberfläche wird nach oben hin geringer. In größeren Tiefen (ab 30 cm) ist kein erhöhter Feuchtegehalt messbar. Es stellt sich eher ein geringer ausgeprägtes Gleichgewicht ein, was einem aus dem anstehenden Stein heraus gebildeten Massentransport aus größerer Tiefe widerspricht [2].

5 Ergebnisse der vorliegenden Salzbelastung am Steinernen Album

Aus den gewonnenen Ergebnissen der Untersuchungen und dem Vergleich vorrangegangener Messungen [3] lassen sich allgemeingültige Aussagen für das Steinerner Album formulieren. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass hauptsächlich flächig, ganz gleich in welcher Höhe, eine oberflächennahe, zumeist mittlere Gipsbelastung vorliegt. Dies wird durch alle Untersuchungsmethoden immer wieder bestätigt [2]. Auch zeigen die Unter-

suchungen wie auch die Daten der Impedanz, dass am Steinernen Album lediglich die ersten Zentimeter eine Salzbelastung zeigen. Dies kann als ein eindeutiges Indiz gegen den in den 1990er-Jahren postulierten kontinuierlichen Salztransport gewertet werden. Aus den Untersuchungen geht weiterhin hervor, dass zum Teil andere Salze wie Thenardit, Epsomit, Natriumnitrat und auch Syngenit auftreten können. Bis hin zu den Untersuchungen der löslichen Bestandteile, die im Rahmen des Natursteinmonitoring-Projekts vorgenommen wurden, konnte Magnesiumsulfat in relevanten Mengen in oberflächennahen Bereichen detektiert werden. Die Interaktion der Dolomitanteile im Bindemittel mit der DDR-zeitlichen Luftverschmutzung mit SO_2 führte zur Belastung der Reliefs mit diesem bauschädlichen Salz. Betrachtet man jedoch die aktuellen Ergebnisse, so ist nur noch eine geringe Belastung durch Magnesiumsulfat festzustellen. Somit ist davon auszugehen, dass über die Zeit der Exposition der Reliefs, die auf die massive Umweltbelastung der DDR folgte, sukzessive ein natürlicher Austrag (Auswaschung) über die Beregnung erfolgt sein muss. Der schwerlösliche Gips ist von dem natürlichen Austrag nicht betroffen.

6 Wirksamkeit der Altkonservierung

Zusammenfassend betrachtet, sind alle zwölf Reliefs im Zeitraum 1997–1999 weitestgehend flächendeckend mit Kieselsäureester über die Infusionsmethode (z. T. auch über Kompressen und Aufsprühen) gefestigt worden. Zum Einsatz kamen dabei im Wesentlichen die Kieselsäureester (KSE) Funcosil 100 und 300. Die Infusionstechnik machte das Bohren vieler Löcher in die Originalsubstanz erforderlich (Bild 5), über die der Festiger durch Trichter in die Tiefe von ca. 30 cm eingebracht worden ist und anschließend theoretisch an die Reliefoberfläche migrieren sollte. Diese Methode wurde gewählt, um eine tiefreichende Konsolidierung zu erreichen und die Überfestigung der Oberfläche zu vermeiden.

Wie bereits erwähnt, zeigen sich in manchen Bereichen der Reliefs zähe, dünne Krusten mit dahinterliegenden Mürbzonen. Ebenso gibt es san-

dende Zonen, die dennoch nicht saugfähig sind. Von diesen Bereichen geht eine erhebliche Gefährdung der Originalsubstanz aus. Ein wesentlicher Gegenstand des aktuellen Forschungsvorhabens ist der Umgang mit den wahrscheinlich überfestigten und den sandenden Oberflächen. Es soll einerseits untersucht werden, wie sich die dichten Oberflächen strukturell aufbauen und inwieweit eine Öffnung des Porenraums erfolgen kann. Hinsichtlich der Altkonservierung (1997–1999) werden zwei Fragestellungen verfolgt. Zum einen erfolgte im Rahmen der Restaurierungskampagne keine Salzreduktion. Aus den chemischen Analysen dieser Zeit und vor allem auch aus den aktuellen Untersuchungen ist bekannt, dass oberflächennah

Bild 5

Aufbau der Infusionsträngung. Der Festiger wurde über die Trichter in die Bohrlöcher eingeleitet und ist der theoretischen Annahme folgend an die Oberfläche migriert.

Bild 6

Applizierter Ionentauscher auf mit Japanpapier kaschierter, vorgesäster Oberfläche, Relief „Herzog Christian“



stellenweise erhebliche Gipskonzentrationen vorlagen. Im Zusammenhang mit einer KSE-Festigung wurde daher nicht nur das Sandsteingefüge gefestigt, sondern auch der Gips. Daraus könnte sich eine Überfestigung der entsprechenden Zone ergeben haben. Um dieses Phänomen messtechnisch aufzulösen, soll die Bohrwiderstandsmessung eingesetzt werden. Das Gerät steht der Arbeitsgruppe allerdings erst ab Anfang Februar 2018 zur Verfügung. Daher liegen zum derzeitigen Zeitpunkt noch keine entsprechenden Ergebnisse vor. Neben extrem saugenden Bereichen (w-Werte von $12\text{--}16\text{ kg/m}^2/\text{h}^{0,5}$) sind auch nahezu hydrophobe Abschnitte zu verzeichnen. Diese gehen zum Teil mit den oben benannten dünnen Krusten einher. Da in der Vergangenheit keine hydrophobierenden Substanzen appliziert worden sind, liegt die Vermutung nahe, dass die Verlegung des oberflächennahen Porenraums in diesen Bereichen im Zusammenhang mit den detektierten Gipsgehalten steht. Vor dem Hintergrund dieses Gedankenmodells sind Versuche mit Ionentauschern durchgeführt worden (Bild 6). Vergleichende Messungen der Wasseraufnahme vor und nach der Applikation der Ionentauscherpaste zeigten teilweise eine erfolgreiche Öffnung des Porenraums an.

Weiterhin wird der Frage nachgegangen, inwieweit bei der hohen relativen Feuchte von 100 %, die

unterhalb der Oberfläche im Langzeitmonitoring ermittelt wurde, die Migration des über Trichter eingebrachten Kieselsäureesters tatsächlich bis zur Oberfläche erfolgen konnte. Die beobachteten Mürbzonen in manchen Bereichen sprechen eher gegen die Entwicklung eines harmonischen Festigkeitsprofils von der erbohrten Tiefe bis an die Oberfläche. Eventuell handelt es sich in den entsprechenden Zonen bei den Feuchtehorizonten an der Oberfläche in Folge der Festigung zumindest teilweise um das Lösungsmittel. Es wird der These nachgegangen, ob die eingebrachten Kieselsäureester eventuell stellenweise in der Tiefe einer Frühhydrolyse unterworfen waren, die die Migration der Substanz erheblich eingeschränkt hätte. Zur Klärung dieser Fragestellung sind unter Beachtung der lithostratigraphischen Bandbreite des Steinernen Albums zwei Bohrkern (19 und 21 cm Tiefe) entnommen worden – ein Bohrkern der groben, ockerfarbenen Varietät („Hochzeit zu Kana“) und ein weiterer, die feinkörnige Varietät repräsentierend („Christus in der Kelter“) (Bild 7).

Neben der Auswahl der Gesteinsvarietät wurde zusätzlich darauf geachtet, dass die jeweiligen Probeentnahmestellen innerhalb der damals getränkten Bereiche liegen. Anhand der Proben kann die Beurteilung der Effektivität der durchgeführten Festigungsmaßnahme und auch der aktuelle Zustand der erwartungsgemäß gebildeten Gelfilme hinsichtlich ihrer Verteilung und Alterung erfolgen. Die Bohrkern sind bislang mittels der Ultraschall-diagnostik in Transmission untersucht worden, um aus den Ergebnissen Rückschlüsse auf die Festigkeitsentwicklung, die in direktem Zusammenhang zum abgeschiedenen KSE-Gel stehen sollte, zu ziehen. Die Proben sind vor der Messung zu entsprechenden Klimabedingungen (20 °C , 40 \% r. F.) konditioniert worden. Die ermittelten Ultraschallgeschwindigkeiten liegen für die gröbere, ockerfarbene Varietät zwischen $1,7$ und $2,5\text{ km/s}$ und bei der hellen, feineren zwischen $1,5$ und $1,9\text{ km/s}$. Die höheren Werte ($2,2\text{--}2,5\text{ km/s}$) der ockerfarbenen, groben Varietät liegen im hinteren Bereich des Kerns, zwischen 18 und 10 cm Tiefe. In der Zone von der Oberfläche bis in 4 cm Tiefe liegen die Geschwindigkeiten bei $1,7\text{--}1,9\text{ km/s}$. Im Kern der



Bild 7

Bohrkerne der groben, ockerfarbenen Varietät („Hochzeit zu Kana“) und der hellgrauen, feinkörnigen Varietät („Christus in der Kelter“)

hellgrauen, feinkörnigen Varietät sind die Geschwindigkeiten nicht eindeutig verschiedenen Tiefenbereichen zuzuordnen. Entsprechend der physikalischen Grundsätze der Ultraschallmessung unterstützt die Entwicklung der Geschwindigkeiten im Bohrkern der rötlichen, groben Varietät den Ansatz, dass es möglicherweise aufgrund einer Frühhydrolyse des KSE zu einer eingeschränkten Migration des Festigers und zu einer Gelabscheidung in größeren Tiefen kam. Die Messergebnisse der feinkörnigen, hellen Varietät, die im Mittel niedriger sind als die der rötlich, größeren Varietät, geben keinen charakteristischen Hinweis auf eine unzureichende KSE-Migration. Zusätzlich zu den Ultraschallmessungen sollen nun noch rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an Bohrkernproben aus unterschiedlicher Tiefe folgen, um den Zustand der Gelfilme bzw. deren Vorhandensein zu prüfen. Erst danach ist ein abschließendes Fazit zur Verteilung des Festigers über das Tiefenprofil in den beiden untersuchten Bereichen möglich.

7 Einfluss des biogenen Bewuchses

Die Mehrzahl der Reliefs des Steinernen Albums sind in besonderem Maß von biogenem Bewuchs betroffen (Bild 8), der neben dem Schadenspotential vor allem auch negativen Einfluss auf die Erkennbarkeit der Oberflächen nimmt.

Aktuell und auch in näherer Zukunft wird es Interessierten nicht möglich sein, die Reliefs aus der

Nähe in Augenschein zu nehmen. Nur von dem in ca. 50 Metern entfernt verlaufenden Rad- und Wanderweg können die Reliefs betrachtet werden. Deren Erkennbarkeit wird neben dem Farbspiel der Sandsteinvarietäten insbesondere durch den starken biogenen Bewuchs behindert. Ohnmeiß [4] beschreibt im Zusammenhang mit biogenem Bewuchs die Zerstörung von Sandsteinen, die vor allem von der Besiedelung durch sogenannte Krustenflechten ausgeht. Die schadensauslösenden Prozesse werden hierbei in biogeophysikalisch-mechanische Prozesse und biogeochemische Prozesse unterschieden. Ausgangspunkt für die mechanische Zerstörung von Sandsteinen durch Flechtenbesiedelung ist die von der Feuchtigkeit abhängige Kontraktion und Expansion des Thallus und das Durchdringen des Gesteins mit Pilzhyphen. In [4] werden Pilzhyphen von 6 mm Länge beschrieben, die in das Gesteinsgefüge hineingewachsen sind.

Aufgrund der erheblichen erosiven Kraft, die somit von Flechten ausgeht, wird im Rahmen des Projekts auch an einer langfristigen Lösung, im Sinne einer Pflegemaßnahme, zur Einschränkung des Flechtenbewuchses gearbeitet. Aktuell werden jedoch zunächst die Proben zur Tiefenwirkung und dem tatsächlichen Zerstörungspotential der Flechten am Steinernen Album untersucht, um darauf die Maßnahmen in Kooperation mit Prof. Karin Petersen (HAWK Hildesheim) abzustimmen. Ziel ist die Einschränkung der Biodeterioration und die Verbesserung der Ablesbarkeit der Reliefs.



Bild 8a+b
Massiver biogener Bewuchs durch unterschiedliche Flechten, Relief „Fuchsjagd“

8 Schlussfolgerungen und Anpassung des bestehenden Pflegeplans

Schon bald nach der Restaurierung 1997–1999 konnten trotz des etablierten Pflegeplans erneut starkes Sanden und Abschuppen in Kombination mit z.T. massiven Effloreszenzen beobachtet werden. Das ursprüngliche Pflegekonzept sieht neben Reinigung gegebenenfalls eine Nachfestigung sandender Bereiche und auch die Erneuerung mürber Anstriche vor. Der mit der Pflege der Reliefs beauftragte Restaurator beschrieb in Monitoringberichten der vergangenen Jahre immer wieder, dass sandende Bereiche im Falle eines erneuten Tränkungsversuchs keinen Festiger aufgenommen haben. Daraufhin ist beschlossen worden, keine weiteren entsprechenden Versuche mehr durchzuführen, da möglicherweise der Verlust größerer (überfestigter) Schalen das Resultat sein könnte. Die Modifizierung des 1999 gefassten Monitoring- und Pflegekonzepts ist offensichtlich erforderlich.

Aus der Langzeiterfassung der klimatischen Daten wurde bislang deutlich, dass die relative Luftfeuchtigkeit im anstehenden Gestein zum überwiegen- den Teil bereits ab einer Tiefe von 15 mm über 95 % r. F. und in einer Tiefe von 100 mm nahezu konstant bei 100 % r. F. liegt. Darüber hinaus zeigt die Impedanzmessung für größere Tiefe beinahe das ganze Jahr überhygroskopische Verhältnisse an. Bei diesen Feuchtegehalten ist eine Frühhydrolyse der in den 1990er-Jahren applizierten Kiesel-säureestern (Infusionsmethode) zumindest wahr-scheinlich. Die Ergebnisse der bislang durchgeführ- ten Ultraschallmessungen stützen diese Annahme wenigstens für die grobe, rötliche Varietät. Aus einem derartigen Szenario ergäbe sich für einige Bereiche der Reliefs eine unzureichende struktu- relle Stabilisierung, was mit der erheblichen Ver- witterungsdynamik korrelieren würde.

Neben der Infusionstränkung ist auch über Be- rieselung bzw. Besprühen der Oberfläche sowie Kompressenapplikation gefestigt worden. In diesen Fällen wurden vergipste Oberflächen möglicher- weise besonders stark konsolidiert, was mit den zähen, spannungsreichen Krusten korrelieren

könnte. Ziel des aktuellen Vorhabens ist es, den Porenraum dieser Oberflächenzonen insoweit zu öffnen, dass in die dahinterliegenden Mürbzonen Festiger eingebracht werden kann. Bislang wurden hinsichtlich einer Öffnung des Porenraums erste Erfolge über die Applikation von Ionentauschern erzielt.

Aus der Aufzeichnung des Temperaturverlaufs im Tiefenprofil ließen sich Phasen erheblicher Span- nungen im Gefüge ableiten, die auf lange Sicht die Entfestigung der Substanz unterstützen. Aufgrund der freien Exposition des Steinernen Albums sind die Temperatureinflüsse nicht abzuwenden. Eine Schutzeinhausung oder Überdachung der Reliefs würde einen nicht zu vertretenden Eingriff in das Denkmal bedeuten.

Die systematischen Salzuntersuchungen, die in vielen Bereichen der zwölf Reliefs erfolgten, zeig- ten, anders als ursprünglich vermutet, nur noch eine geringe Belastung durch Magnesiumsulfat an. Somit ist davon auszugehen, dass über die Zeit der Exposition der Reliefs, die auf die massive Umwelt- belastung der DDR folgte, sukzessive eine natür- liche Auswaschung durch die Beregnung erfolgt sein muss. Die meisten Reliefs sind mit Hinblick auf leichtlösliche Salze mittlerweile als unbedenk- lich einzustufen. Eine großangelegte Salzreduktion ist daher nicht erforderlich. Anders verhält es sich mit dem schwerlöslichen Gips, der den Porenraum der oberflächennahen Zone vieler Reliefs zumin- dest verengt. Eine Reduktion dieser Belastung ist auch mit Hinblick auf die Feuchtetransportprozes- se zu erwägen und soll im Projekt weiter verfolgt werden.

Der einige Reliefs in massiver Weise betreffende biogener Bewuchs ist ebenfalls Gegenstand der aktuellen Untersuchungen im Projekt. Vor dem Hintergrund der korrosiven Wirkung insbesondere der Flechten (Krustenflechten) soll eine Abwehr der biogenen Besiedlung ein weiterer Schritt bei der Optimierung des bestehenden Pflegekonzepts sein.

Das Steinerner Album im Überblick und vier Reliefs im Detail waren Gegenstand des bundesweiten Förderprojekts der Deutschen Bundesstiftung Um- welt zum Natursteinmonitoring („Langzeitkontrolle von Maßnahmen zur Beseitigung anthropogener

Umweltschäden an bedeutenden Kulturdenkmälern“). In diesem Zusammenhang wurden zahlreiche Methoden hinsichtlich ihrer Eignung für ein verlässliches Monitoring petrophysikalischer Kennwerte geprüfte [5]. Diese werden auch weiterhin am Steinernen Album eingesetzt. In diesem Zusammenhang wurden für die einzelnen Untersuchungsobjekte Protokolle entworfen, die über die Jahre in übersichtlicher Weise weitergeführt werden können, um daraus die verlässliche Ableitung einer Zustandsentwicklung im Laufe des Monitorings zu ermöglichen. Der für die Pflege der Steinreliefs verantwortliche Restaurator Peter Fiedler führt seit dem Jahr 2000 regelmäßig eine Art Pflegehandbuch, in dem für jedes Relief die Maßnahmen über die Zeit beschrieben und photographisch dokumentiert sind.

Abbildungen

Bild 1, 2, 7, 8a+b: Jeannine Meinhardt

Bild 3: Benjamin Hübner

Bild 4: Frank Lehmann, MPA Universität Stuttgart

Bild 5: Peter Fiedler

Bild 6: Maria Richter

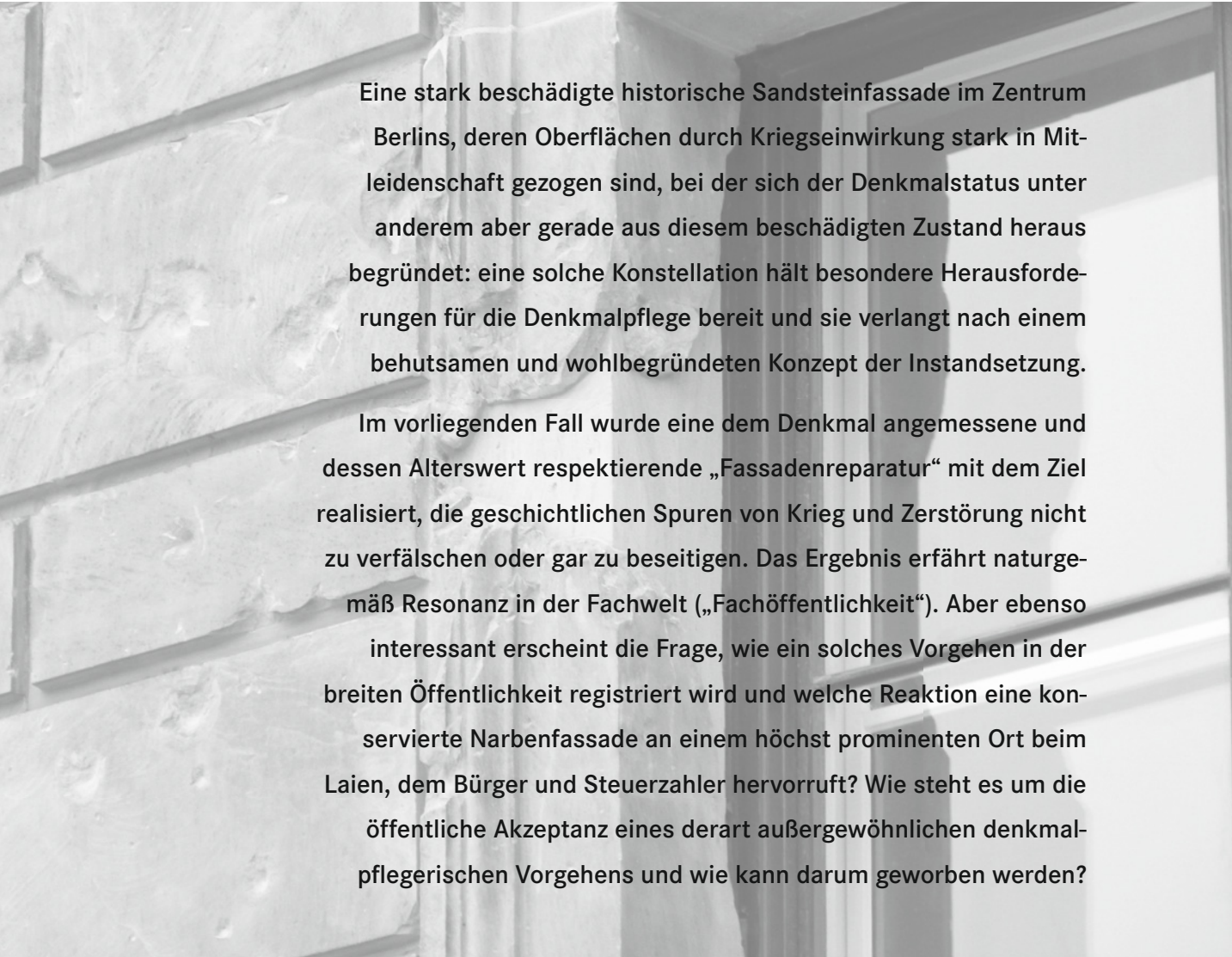
Unser Dank gilt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, die zum wiederholten Mal ein Vorhaben und damit den weiteren Erkenntnisgewinn am Steinernen Album finanziell unterstützt.

Literatur

- [1] Titze, M. (2007): Barockskulpturen im Herzogtum Sachsen-Weissenfels; In: Denkmalort – Denkmalwerte, Bd. 4, Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt und Landesmuseum für Vorgeschichte; Imhof Verlag GmbH & Co. KG Petersberg.
- [2] Hübner, B. (2017): Die langfristige Pflege und Erhaltung von stark salzbelasteten Objekten im anstehendem Gestein – Die Entwicklung eines mineralischen Kompressenputzes zum Schutz anthropogen geschädigter Oberflächen im anstehenden Gestein am Beispiel des Steinernen Albums in Großjena. Masterarbeit, FH Potsdam, Studiengang Konservierung und Restaurierung.
- [3] Bericht IDK HAL 19-2010: Großjena, Steinernes Festbuch – DBU-Projekt „Naturstein-Monitoring“ – Bericht zum Monitoring der Konservierungsmaßnahmen.
- [4] Ohnmeiß, D. (2015): Die Freitreppe der Alten Nationalgalerie in Berlin – Schadensursachen-ermittlung an den sandsteinernen Treppenelementen. Masterarbeit, FH Potsdam, Studiengang Konservierung und Restaurierung.
- [5] Auras, M., Meinhardt, J., Snethlage, R. (Hrsg.) (2010): Leitfaden Naturstein-Monitoring, Nachkontrolle und Wartung als zukunftsweisende Erhaltungsstrategien, Fraunhofer IRB Verlag 2010.

Konservatorische Sicherung einer kriegsversehrten Natursteinfassade in Berlin-Mitte – Werkbericht und Rezeption

von Ulrich Ellwart und Heiko Krüger



Eine stark beschädigte historische Sandsteinfassade im Zentrum Berlins, deren Oberflächen durch Kriegseinwirkung stark in Mitleidenschaft gezogen sind, bei der sich der Denkmalstatus unter anderem aber gerade aus diesem beschädigten Zustand heraus begründet: eine solche Konstellation hält besondere Herausforderungen für die Denkmalpflege bereit und sie verlangt nach einem behutsamen und wohlbegründeten Konzept der Instandsetzung.

Im vorliegenden Fall wurde eine dem Denkmal angemessene und dessen Alterswert respektierende „Fassadenreparatur“ mit dem Ziel realisiert, die geschichtlichen Spuren von Krieg und Zerstörung nicht zu verfälschen oder gar zu beseitigen. Das Ergebnis erfährt naturgemäß Resonanz in der Fachwelt („Fachöffentlichkeit“). Aber ebenso interessant erscheint die Frage, wie ein solches Vorgehen in der breiten Öffentlichkeit registriert wird und welche Reaktion eine konservierte Narbenfassade an einem höchst prominenten Ort beim Laien, dem Bürger und Steuerzahler hervorruft? Wie steht es um die öffentliche Akzeptanz eines derart außergewöhnlichen denkmalpflegerischen Vorgehens und wie kann darum geworben werden?

1 Ein Bauwerk als Quelle der Geschichtserkenntnis

Im Gegensatz zu vielen anderen Kulturträgern sind Baudenkmale als Gedächtnismedium nahezu unausweichlich, d.h. sie sind im Alltag ganz zwangsläufig präsent. Als historische Quelle verfügen sie gerade dann über eine besondere Aussagekraft, wenn an ihnen baugeschichtliche Veränderungen (z.B. Überformungen, Schäden, Fehlstellen) gegenüber dem Ursprungszustand ablesbar sind. Eine spezielle Quelle der Geschichtserkenntnis bei der Betrachtung eines Bauwerks sind Kriegsschäden.

Bild 1

Standort vis-à-vis der Museumsinsel Berlin



In Berlin waren Spuren von Kriegszerstörungen über Jahrzehnte hinweg ein markanter und mitunter auch beklemmender Bestandteil des Stadtbildes. Mittlerweile ist aber zu beobachten, dass immer mehr Spuren aus der Zeit des Zweiten Weltkriegs als unverfälschte Geschichtszeugnisse endgültig verschwinden. Ganze Stadtviertel wurden nahezu vollständig saniert und dabei die noch sichtbaren Kriegsschäden beseitigt. Eine solche Entwicklung mag nicht jeder bedauern und stattdessen Bauwerke bevorzugen, die nach ihrer Instandsetzung im Sinne Viollet-le-Ducs „herausgeputzt sind“ und „im alten Glanz erstrahlen“.

Demgegenüber stehen – wie im vorliegenden Fall – aber auch Verfahren der Konservierung zur Verfügung, um den besonderen historischen Zeugniskarakter eines beschädigten Objekts zu bewahren.

2 Das Gebäude Dorotheenstraße 1

2.1 Das Objekt und sein Umfeld

Am östlichen Ende der Dorotheenstraße im Berliner Bezirk Mitte, vom Neuen Museum des UNESCO-Weltkulturerbe-Ensembles Museumsinsel nur durch den Kupfergraben getrennt, befindet sich ein Bauwerk mit einer auffallenden Narbenfassade voller Einschusslöcher und anderer massiver Kriegsschäden. Wie beim fast 60 Jahre lang nur als Kriegsruine existierenden Neuen Museum, das nach dem von David Chipperfield und Julian Harrap entwickelten Konzept der „Ergänzenden Wiederherstellung“ instandgesetzt wurde, waren die schweren Schäden an diesem Gebäude zu DDR-Zeiten zunächst nur provisorisch behoben worden.

Es handelt sich bei dem als Baudenkmals gelisteten Objekt um ein viergeschossiges Eckgebäude im Stil der Neorenaissance, das zwischen 1879–83 als Dienstgebäude für die Steuerverwaltung nach Entwürfen von Ludwig Giersberg erbaut wurde. Später gehörte das Gebäude zum Preußischen Finanzministerium. Heute beherbergt es Teile der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Humboldt Universität (Bild 1).

2.2 Fassadengestaltung

Die der Dorotheenstraße zugewandte schmale Front des Gebäudes ist mit über zwei Geschosse reichenden korinthischen Säulen dreiachsig gegliedert. Die nach Osten gerichtete breite Front ist heute nur noch zur Hälfte erhalten. Der Gebäudeflügel Am Gießhaus/Am Kupfergraben mit dem Hauptportal wurde im Zweiten Weltkrieg vollständig zerstört. An seiner Stelle befindet sich heute in unmittelbarem Anschluss das 2007 fertiggestellte Gebäude der Galerie Bastian (ebenfalls von David Chipperfield Architects gestaltet).

Die straßenseitige Natursteinfassade bietet einen repräsentativen Anblick. Sie ist in der oberen Hälfte aus grau-gelblichem Kirchleite-Elbsandstein gefertigt, auf der unteren Fassadenhälfte besteht sie aus blasserötlichen Nebraer Sandstein. Nach den massiven Schäden im Zweiten Weltkrieg gab es in der Nachkriegszeit einige Sicherungsprovisorien aus Beton und Ziegelmauerwerk in Bereichen, die statisch relevant waren. Das Gebäude wurde auch nach dem Krieg ununterbrochen benutzt (Bild 2).

2.3 Fassadeninstandsetzungskonzept

Zwischen 2011 und 2013 fand eine grundlegende Instandsetzung statt, an der die Humboldt-Universität zu Berlin als Bauherrin, Martin Focks Architekten als Architekten, Stefan Grell Restaurierung als restauratorischer Fachplaner sowie Ellwart Steinrestaurierung GmbH & Co. KG als ausführende Restaurierungsfirma beteiligt waren. Während der Instandsetzungsphase wurde die Arbeit der Restauratoren und Handwerker durch das Landesdenkmalamt Berlin, das Architekturbüro und die restauratorische Fachbauleitung intensiv betreut. Die Instandsetzung folgte einem im Berliner Landesdenkmalamt erarbeiteten Fassaden-Reparaturkonzept, das eine Konservierung und Erhaltung von Kriegsschäden (Bilder 3 und 4) und weitere Spuren der Zeit vorsieht. Dieses Konzept liegt nicht in Form eines festgeschriebenen Regelwerks vor, sondern es wird jeweils den spezifischen Umständen entsprechend flexibel erarbeitet.¹

¹ weitere Beispiele für die Anwendung dieses Fassadenreparaturkonzeptes in Berlin: Königliches Hofbeamtenhaus Geschwister-Scholl-Straße 5 sowie die rückwärtige Fassade des Admiralspalasts; vgl. Karl Hiller: Der Admiralspalast in Berlin. Entwicklung und Umsetzung eines Fassadenreparaturkonzeptes. In: *Restauro* 2/2010, S. 112–118.



Bild 2
Fassade Vorzustand:
Dorotheenstr. 1 / Ecke
Kupfergraben



Tordurchfahrt, das extensive Gründach sowie die Hofgestaltung neu ausgeführt.²

Bei der Konservierung und Restaurierung der straßenseitigen Natursteinfassade Dorotheenstraße/ Am Kupfergraben ging es zum einen um die Verbesserung der bauphysikalischen Bedingungen und um die Gewährleistung der Verkehrssicherheit. Ziel der Maßnahmen war aber vor allem auch, den historischen Bestand zu sichern und die Ablesbarkeit des Alters und der Geschichte des Objektes mit seiner kriegsbeschädigten Oberfläche zu erhalten. Eine vollständige Rekonstruktion war somit weder geplant noch gewünscht. Sämtliche Maßnahmen wurden daher unter der Maßgabe einer größtmöglichen Schonung und eines größtmöglichen Erhalts der Originalsubstanz ausgeführt.



2.4 Realisierung

2.4.1 Natursteinreinigung

Anhand von Musterflächen wurden zunächst Verfahrensvarianten und ästhetische Wirkungen von Reinigungen getestet. Anschließend ist die Fassade behutsam gereinigt worden, wobei unterschiedliche Verfahren zum Einsatz kamen.

Im Vorfeld der Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen wurde eine flächige restauratorische Reinigung durch Firma Nüthen Restaurierungen durchgeführt, die die Fa. Ellwart Steinrestaurierung noch partiell vertiefte bzw. ergänzte. Dabei kam ein mehrstufiges Reinigungsverfahren zum Einsatz, das je nach Verunreinigungsgrad auf eine Kombination unterschiedlicher Techniken setzt, um Verschmutzungen und Krusten zu entfernen:

Zunächst erfolgte eine Reinigung von groben Ablagerungen im Niederdruck-Mikrostrahlverfahren. Anschließend kamen eine Heißdampfreinigung und begleitende Untersuchungen des Wasseraufnahmeverhaltens nach Karsten zur Bestimmung der weiteren Reinigungsverfahren zur Anwendung, gefolgt von einer maximal substanzschonenden, zurückhaltenden Reinigung im

² Humboldt-Universität zu Berlin, Technische Abteilung: Dorotheenstr. 1, Dach- und Fassadensanierung: <https://www.ta.hu-berlin.de/bp-doro1>

Bild 3 Auch aufgrund der besonderen stadtbildprägenden Bedeutung des Gebäudes und seiner Nähe zur Museumsinsel wurde entschieden, an diesem Ort den Weg einer konservierenden Fassadenreparatur zu beschreiten.

Bild 4 Brandschaden mit Nachkriegsreparatur in Ziegelmauerwerk, Fenster Kupfergraben 1.OG

Beginnend mit Voruntersuchungen 2009 erstreckte sich die Instandsetzung bis zur Fertigstellung im Herbst 2013. Die Gesamtbau- und Restaurierungskosten betrugen ca. 2,5 Millionen Euro, wobei ein erheblicher Anteil der Kosten aus dem Bund-/Länderprogramm „städtebaulicher Denkmalschutz“ finanziert wurde. Neben der Hauptfassade wurden die Innenhoffassade, bestehend aus Klinker und Putzflächen, das Stuckgewölbe der

Niederdruck-Mikrotrockenstrahlverfahren mit besonderem Augenmerk auf den Erhalt des Patinierungsgrades. Partiiell erfolgte eine Behandlung mittels Kompressen zur Krustenentfernung und um Salze aus der Fassade zu lösen und schließlich eine Laserreinigung für Problembereiche. Das besonders aufwendige Verfahren der Laserreinigung wurde z. B. bei den stark verschmutzten Löwenköpfen am Traufgesims angewandt.

Entscheidend war dabei, den Naturstein nicht zu „überreinigen“ (Bild 5), da dies im Zusammenhang mit den zu erhaltenden Kriegsschäden und dem Gebäudealter nicht vermittelbar gewesen wäre.



Bild 5
Reinigungsproben

2.4.2 Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen

Im Anschluss an die Natursteinreinigung wurden die Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen ausgeführt. Einige Teilbereiche mussten gänzlich neu aufgebaut werden, darunter Teile des Traufgesimses, die vollkommen zerstört waren, die Attika (sie war zuvor provisorisch aus Ziegelmauerwerk wiederhergestellt worden) und eine Terrasse, die sich im obersten Stockwerk am westlichen Gebäudeabschluss befindet.

Auch bei der Natursteinkonservierung und -restaurierung sollten Eingriffe prinzipiell nur so wenig wie nötig und so behutsam wie möglich erfolgen. Die grundlegenden Fassadenfunktionen mussten allerdings gesichert bzw. wiederhergestellt und z. B. Anschlussmöglichkeiten für wasserableitende und den Innenraum schützende Bauteile wie Bleche, Schiefer, Fenster, Türen teilweise neu geschaffen werden. Jeder unvermeidliche Eingriff hatte jedoch minimalinvasiv im statischen und bautechnischen Minimum (mit vertretbarem Minimalaufwand) zu erfolgen, um den Charakter der (Kriegs-)Beschädigung nicht zu eliminieren. Daraus folgte z. B., dass „klassische Vierungen“, wie sonst bei der Natursteinanierung üblich, nicht zur Anwendung kommen durften. Bei Eingriffen in den Naturstein musste zudem materialgerecht, d. h. mit identischem Naturstein gearbeitet werden. Die Eingriffe durften sich indes durchaus aufgrund ihres geringeren Verschmutzungsgrades vom bauzeitlichen Umfeld absetzen. Steinersatzmörtel wurden

während der gesamten Instandsetzung grundsätzlich nicht eingesetzt. Ein Totalaustausch von Natursteinbauteilen war nur dort zulässig, wo keine bauzeitlichen Oberflächen mehr verfügbar waren. Alle Maßnahmen sollten zudem nach einem auch für Außenstehende nachvollziehbaren Konzept und Muster erfolgen.

Aus diesen Grundsätzen ergaben sich folgende zentrale Vorgehensweisen:

Oberflächenkonservierung, Behandlung kleinerer Fehlstellen

Die Konservierung der kleineren Fehlstellenbereiche sowie die Konsolidierung der brandgeschädigten Fassadenbereiche mit Mürbzonen, der oberflächenparallelen Gesteinsablösungen und oberflächlichen Risse erfolgte durch eine Festigung der absandenden Bereiche mittels KSE, durch kieselolgebundene Anböschungen von aufstehenden Kanten, durch Injektion von Rissen mit mineralischem Injektionsmörtel und mittels Verschluss feiner oberflächlicher Risse und Rissnetze mit einer Kieselolschlämme.

Absandende Objektbereiche wurden zur Ausbildung eines ausgeglichenen Festigkeitsprofils je nach Entfestigungsgrad mit KSE 100 oder KSE 300E (Vorfestigung mit KSE 100) strukturell konsolidiert. Das Festigungsmittel wurde mit einer Spritzflasche gleichmäßig flutend in mehreren Durchgängen nass-in-nass appliziert (Bild 6).

Anböschungen von Schalenrandbereichen erfolgten zur Verbesserung des Wasserablaufs und zur

Bild 6
Rissversorgung mit
KSE Festigung



konservatorischen Sicherung der Oberfläche. Die Ausführung ist äußerst zurückhaltend und geringvolumig vorgenommen worden, um den optischen Charakter der Bruch-/Fehlstellen nicht zu verklären. Verwendet wurde ein kieselolgebundener feinkörniger Mörtel, der farblich mittels Steinmehl auf den Untergrund abgestimmt wurde (Bilder 7 und 8).

Schalenartig abgelöste sowie hohl liegende Bereiche und Risse sind mit einem mineralischen Injektionsmörtel auf Basis von Kieselgel und Steinmehl hinterfüllt und geschlossen worden. Abschließend wurde die feinkörnige Schlämme mittels Borstenpinsel in die gerissene Oberfläche einmassiert und im Nachlauf mit einem feuchten Schwamm abgenommen, um die Füllstoffe nur in den ausgewitterten Bereichen zu belassen (Bilder 9, 10, 11).

Auf der gesamten Fassadenfläche von ca. 1.200 m² wurden 10.350 Stk. Anböschungen ausgeführt, 1.850 Stk. Rissnetze versorgt sowie 250 lfm Risse injiziert.

Steinaustausch

Für den Steinaustausch kamen im unteren Fassadenbereich Nebraer Sandstein (lachsfarben) sowie im oberen Bereich Reinhardtsdorfer Sandstein (grau homogen) zum Einsatz.

Vierungen bis zum 1. Profilglied

Vierungen wurden aus technischen Gründen in wasserführenden Ebenen (z. B. Gurtgesimsen) hergestellt, um einen tragfähigen Unterbau für die zu erneuernden Verblechungen bzw. Schieferabdeckungen zu bilden. Dabei galt es, unter Ausbildung einer Messerfuge die Größe der Ausarbeitung auf das unumgängliche Mindestmaß zu beschränken, wobei grundsätzlich bis zur Aufbauhöhe des 1. Profilgliedes winkeltreu gearbeitet wurde (Bilder 12 und 13). Bei über das 1. Profilglied hinausgehenden Ausbrüchen blieben daher Fehlstellenbereiche erhalten und wurden konservatorisch behandelt (Bild 14).

Gravierende statische Schädigungen an einzelnen Werkstücken (z. B. an Fenstergewänden) mussten ebenfalls aus technischen Gründen hinterlegend mit Naturstein ergänzt werden. Hierfür erfolgte sofern möglich die Demontage des betreffenden Bauteils und die Hinterlegung mit Aufnahme des 1. Profilgliedes unter maximalem Erhalt des Fehlstellenverlaufs (Bilder 15 bis 18). Gebrochene Werkstücke wurden vorab mittels Ankerseilen gespannt, wobei Bohrungen/Verankerungen mit einer Tiefe bis 250 cm durchgeführt wurden (Bilder 19 bis 21).

Bild 7
Schusswunde, Vorzustand



Bild 8
Schusswunde, nach Versorgung
mit kieselolgebundener
Schlämme



Konturverfolgende Vierungen nach Gipsmodell

Konturverfolgende Vierungen wurden in Bereichen hergestellt, die in besonderem Maße statisch und ästhetisch beeinträchtigend waren. Dabei lag das Hauptaugenmerk auf der vollständig möglichen Reversibilität der Maßnahme, sodass nicht nur die Randbereiche der Fehlstellen sondern auch die Bruchflächen selbst keinerlei Veränderung erfahren sollten. Es sind daher exakt dem Fehlstellenverlauf (Bild 22) folgende Vierungen hergestellt worden, die unter Verwendung von Gipsmodellen (Bilder 23



Bild 9
Schusswunde, Einbringen von
kieselsolgebundener Schlämme

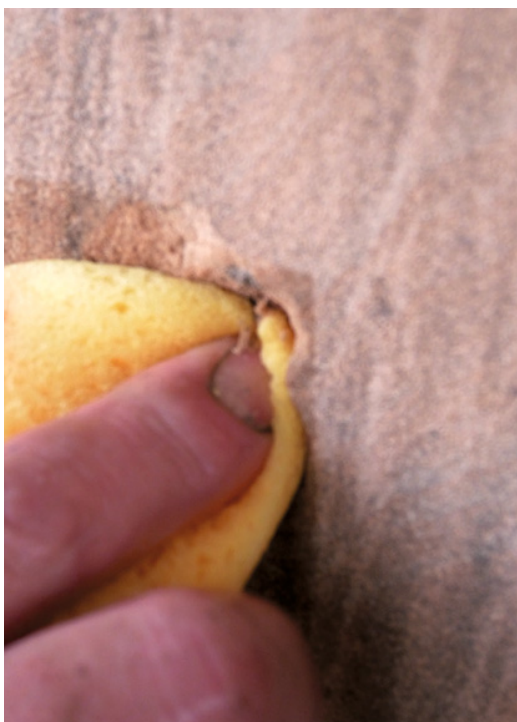


Bild 10
Schusswunde, Abnahme der
Schlämme damit die Füllstoffe
nur in ausgewitterten Bereichen
stehen bleiben

Bild 11
Schusswunde, nach der
Versorgung



Bild 12
Schusswunde, Fenstergesims

Bild 13
Schusswunde, Vierung bis
1. Profilglied versorgt

Bild 14

Schusswunde, Vierung 1. Profil-
glied um Wasserführung und
Verblechungsuntergrund zu
gewährleisten, unterhalb Vie-
rung erfolgte konservatorische
Versorgung



Bild 15

Schusswunde, Gewände,
Vorzustand. Lastaufnahme
nicht mehr vorhanden



Bild 16

zerstörter Kernstein,
ausgearbeitet



Bild 17

neuer Kernstein, kraftschlüssig
mit Edelstahlanker eingesetzt
und vergossen



Bild 18

Endzustand mit kraftschlüssiger
Hinterlegung des Kernsteines
zur Wiederherstellung der
statisch notwendigen
Lastaufnahme



Bild 19

Schusswunde Sturz,
Vorzustand; Tragfähigkeit nicht
gegeben, Fensteranschlüsse
nicht vorhanden



und 24) angepasst und über eine bildhauerische
Punktierung gefertigt wurden. Die Oberfläche ist
ca. 2 cm unter Niveau ausgebildet worden, um den
Ergänzungscharakter deutlich erfahrbar zu machen
(Bilder 25 und 26).

Neuteile und Rekonstruktion der Attika

In gravierenden Fehlstellenbereichen, insbeson-
dere im Bereich des Traufgesimses sowie in den

gemauerten Sicherungsprovisorien der Fenster-
gewände 1./2. OG, sollten sowohl unter techni-
schen Gesichtspunkten (Reaktivierung der Dach-
entwässerung) als auch aus ästhetischen Gründen
im Sinne der Architekturablesbarkeit die fehlenden
Werksteinelemente rekonstruiert werden. Hierfür
wurden die stark geschädigten Massivwerkstücke
steinmetzmäßig ausgearbeitet, wobei die Original-
substanz maximal erhalten wurde, Neuteile nach
örtlich genommenem Maß und Schablone gefertigt
und die Oberfläche an den Bestand angearbeitet.



Bild 20
Ertüchtigung der Tragfähigkeit durch Einbringen von Edelstahlarmierung über gesamte Sturzlänge

Bild 21
Endzustand mit hinterlegter Vierung zur Gewährleistung des Fensteranschlusses



Bild 22
Schusswunde Gewände, Tragfähigkeit durch Restquerschnitt vorhanden



Bild 23
Gipsmodell mit Trennschicht

Bild 24
Gipsabdruck als Punktiervorlage

Die Fugenausbildung, Profil und Verband des Bestandes wurden übernommen (Bilder 27 bis 32).

Zur Rekonstruktion der aus Mauerwerk provisorisch aufgebauten Attika wurde Reinhardtsdorfer Sandstein (grau homogen) verwendet. Die Werkstücke wiesen dabei ungefähre Maße von 90 cm Höhe, 100 cm Breite, 25 cm Tiefe auf, an den Gebäudeecken wurden Sonderformate unterschiedlicher Dimension verbaut. Vor der Montage der einzelnen, mit einer seitlichen Fugennut versehenen Attikasteine erfolgte die statische Ertüch-

tigung der stark geschädigten Rückseiten der Traufsteinelemente. Hierfür wurden treppenartige Ausschnitte mit ca. einer Tiefe von 30 cm hergestellt, die als Aufnahme für die anschließend versetzten, als Unterkonstruktion fungierenden Winkелеlemente dienten (Bilder 33 bis 35).

Auf der gesamten Fassadenfläche wurde ca. 2,5 m³ Nebraer Sandstein und 4,5 m³ Reinhardtsdorfer Sandstein in Form von Vierungen und Neuteilen verbaut und für die Rekonstruktion der Attika 22,5 m³ Reinhardtsdorfer Sandstein verwendet.



Bild 25
konturverfolgende Vierung,
zurückliegend



Bild 26
konturverfolgende Vierung,
oberflächenbündig; Leibung
Eingangsportal



Bild 27
Fehlstelle/Abbruch Gurtgesims



Bild 28
konturverfolgendes Neuteil



Bild 29
Traufgesimssecke, durch Bom-
benschaden zerstört



Bild 30
Kranhub eines Traufgesims-
steines, Länge ca. 1,80 m

Bild 31
Traufgesimsseckbereich neu,
mit bildhauerisch gefertigtem
Löwenkopf

Bild 32
Konsole neu, mit kontur-
verlaufendem Anschluss an
gereinigter Bestandsfläche

Bild 33
Attikaaufleger mit Diamant-
kettensäge L-förmig
aufgeschnitten

Bild 34
Versatz des Attikasockels



Bild 35

Gesimsteile und neue Attika
im Aufbau

Bild 36

Schiefer mit U-förmiger Blech-
verbindung, Kupfer/Edelstahl



Erneuerung desolater Schieferabdeckungen, Sicherung des Bestandes

Schieferabdeckungen auf Gesimsen und Fensteröffnungen wurden soweit möglich erhalten, beschädigte und fehlende Abschnitte durch Neuteile ersetzt.

Als Material für die neuen Abdeckungen (ca. 50 m²) kam Fredeburger Schiefer, Spaltstärke ca. 1 cm, zum Einsatz. Die Oberfläche wurde spaltrau hergestellt, die Kanten gesägt. Das Versetzen erfolgte kraftschlüssig mittels hochflexiblem Dünnbett-Mörtel. Zusätzlich kamen je Platte zwei Verankerungen mit Mikrodübeln (Ø 3 mm) hinzu.

Für die Aufnahme der Schieferabdeckungen wurden vorab bedarfsweise eine gleichmäßig auslaufende Wasserschräge aus Mauermörtel MG III hergestellt und die Stoßbereiche von Platten unterseitig gemäß Bestand mit einem Wasserableitblech aus Kupfer versehen. Diese wurden mittels zuvor passgenau hergestellter Aufnahmeeinschnitte auf den Plattenunterseiten eingesetzt. Die Schieferabdeckungen auf den Dreiecksgiebeln des 1. OG sind mit einem Gehrungsschnitt am Firstpunkt und jeweils zwei Überblattungen (T 2 cm) an den Giebelflanken versehen worden.

Der zu erhaltene Bestandsschiefer wurde auf festen Sitz geprüft, wenn nötig vorsichtig abgenommen, zwischengelagert und entsprechend der Neuteile am ursprünglichen Entnahmeort wieder montiert (Bilder 36 und 37).

3 Rezeption

3.1 Fachöffentlichkeit und allgemeine Öffentlichkeit

Das Projekt erfuhr sowohl Zuspruch als auch Kritik. Hier stand zum einen das Urteil durch Fachleute. Die Fachöffentlichkeit wachte kritisch über Konzept und Bauausführung. Das Vorhaben erhielt im Dezember 2014 eine Anerkennung beim DB-Wettbewerb „Respekt und Perspektive – Bauen im Bestand“³

Gelegentlich ist bereits im Vorfeld grundsätzliche Ablehnung gegenüber dem restauratorischen Vorgehen geäußert worden. Auch konkrete Verfahrenswesen wie etwa die unter Niveau der Fassadenoberfläche angelegten Natursteinvierungen wurden beanstandet und zum „Ausdruck eines neuen Manierismus in der Restaurierung“ erklärt.⁴

Die Zahl der Medienberichte blieb sehr überschaubar. Doch abseits aller Fachdiskussionen waren kaum auswertbare Informationen über die Wahrnehmung und Beurteilung der Instandsetzung in der breiten Öffentlichkeit verfügbar. In diesem Bereich spielen viele Parameter für die individuelle Urteilsfindung eine Rolle. Über sie kann spekuliert werden. Sie können wissenschaftlich mit Hilfe kommunikationstheoretischer Modelle beschrieben sein und es kann versucht werden, sich ihnen über empirische Befragungen zu nähern.

³ Jürgen Tietz: Anerkennung: Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Humboldt-Universität in Berlin, in: deutsche bauzeitung Zeitschrift für Architekten und Bauingenieure, 12/2014.

⁴ Rolf Snethlage in: Peter Parler-Preis 2015. Sonderdruck Aus Naturstein 5/2015, Frankfurt/Main 2015, S. 10.



Bild 37
Fassade Kupfergraben nach
der konservatorischen Restau-
rierung, 2014

3.2 Die Umfrage

Ein Jahr nach Abschluss der Instandsetzung wurde im Rahmen einer Masterarbeit im Studiengang „Schutz Europäischer Kulturgüter“ an der Europa-Universität Viadrina in Frankfurt an der Oder eine Straßenumfrage entwickelt.⁵ Ziel dieser Befragung war es, die öffentliche Wahrnehmung und auch die Akzeptanz der vorliegenden Fassadeninstandsetzung (Bild 37) stichprobenartig zu erfassen und mit Methoden der empirischen Sozialforschung zu untersuchen. Es handelte sich um eine mündliche Befragung mit Hilfe eines standardisierten Fragebogens.⁶

⁵ Heiko Krueger: Denkmalpflege und öffentliche Akzeptanz. Zum konservierenden Ansatz bei der Instandsetzung von Baudenkmalen. Untersucht am Beispiel der Sanierung des Gebäudes Dorotheenstraße 1 in Berlin. Masterarbeit an der Europa-Universität Viadrina, Frankfurt/Oder 2014.

⁶ Für geschlossene Fragen kamen als Messverfahren die Likert-Skala (schrittweise Bewertung) und die Guttman-Skala („ja“ oder „nein“) zum Einsatz. Qualitative Aussagen wurden mit Hilfe von Clusteranalyse-Verfahren quantifizierbar gemacht, d. h., durch die Unterteilung einer Menge von qualifizierenden Aussagen in einzelne Gruppen – sogenannte Cluster.

Zwischen dem 11. und dem 16. März 2014 wurden 60 Passanten vor Ort befragt.

Hier die wichtigsten Fragen verbunden mit einer Analyse der Antworten:

Was sehen Sie hier? Nennen Sie in Stichworten Ihre spontanen Eindrücke, wenn sie diese Fassade betrachten?

Das Erkenntnisziel dieser Eingangsfrage war: wie wirkt der Anblick der Fassade im ersten Moment auf den Betrachter? Welche unmittelbaren Eindrücke und Assoziationen entstehen? Bei der Auswertung von Frage 1 wurden Cluster gebildet und auch Kombinationen einzelner Cluster berücksichtigt.

Das Ergebnis war, dass die Existenz von Kriegsschäden von über zwei Drittel der Befragten sofort wahrgenommen und davon wiederum von fast 30 % im positiven Sinne interessiert kommentiert wurde. Die Hälfte derjenigen Befragten, die keinen Bezug zu Kriegsschäden herstellte, lieferte indifferente Aussagen bei den ersten Eindrücken; mehr als ein Drittel sogar negativ konnotierte Aussagen. Negativ

wurde allerdings überhaupt nur dann assoziiert, wenn die Kriegsschäden als solche nicht wahrgenommen wurden! Wer als erste spontane Assoziation wahrnahm, dass es sich um Kriegsschäden handelt, war tendenziell also eher geneigt, das Gesehene als positiv i. S. v. interessant oder bereichernd wahrzunehmen. Wer lediglich eine Schädlichkeit wahrnahm, zeigte dagegen eine sehr viel geringere Bereitschaft, das Betrachtete zu akzeptieren oder es gar gutzuheißen.

An dieser Fassade wurden Kriegsschäden und andere Spuren der Geschichte konserviert. War Ihnen das klar?

Mit Hilfe dieser Frage sollte ermittelt werden, ob überhaupt eine Kenntnis über die Tatsache einer Fassadenbehandlung als solche und über die Art der Instandsetzungsmaßnahme vorhanden war. Hinweise darauf hätte schon die erste assoziative Antwort liefern können. 22 % der Befragten beantworteten Frage 2 mit ja, 78 % mit nein. Die überwiegende Mehrheit der Befragten war sich also zunächst nicht im Klaren darüber, dass hier ein denkmalpflegerisches Konzept umgesetzt wurde und nicht lediglich Kriegsspuren noch nicht beseitigt worden waren.

Warum ist Ihrer Meinung nach dieses denkmalpflegerische Konzept hier umgesetzt worden?

Bei der Auswertung dieser Frage wurden ebenfalls Cluster gebildet. Das Ergebnis fiel sehr deutlich aus: 95 % aller Befragten hatten ohne erkennbare Zweifel zu zeigen eine Erklärung parat, die der denkmalpflegerischen Intention entspricht, nur 3 % waren erkennbar unsicher bei ihrer Erklärung („vielleicht zur Erinnerung“ und „vielleicht, um Geschichte sehen zu können“). Sie waren aber zumindest auf der richtigen Spur. Lediglich eine Person fand überhaupt keine Erklärung.

Wie finden Sie das Konservieren von Kriegsspuren an einer Fassade wie dieser?

Bei dieser Frage stand das Erkenntnisziel im Vordergrund: wie steht es um das Interesse (i. S. v. „Neugierde“, „Aufgeschlossenheit“) für das denkmalpflegerische Vorgehen an diesem Objekt, nachdem Kenntnis darüber erlangt worden war?

Das Ergebnis: mehr als drei viertel der Befragten – 78 % – empfanden das denkmalpflegerische Vorgehen als interessant oder sehr interessant. 13 % standen ihm neutral gegenüber und insgesamt nur knapp 7 % fanden es zwiespältig bis sehr uninteressant und eine Person vertrat keine Meinung.

Würden Sie mehr Informationen dazu wünschen?

82 % der Befragten hätten sich mehr Informationen gewünscht, wohingegen knapp 17 % dies nicht für notwendig erachteten (eine Person äußerte keine Meinung). Diejenigen, die keine Zusatzinformationen wünschten, begründeten das z. B. mit der Ansicht, das Objekt spreche „für sich selbst“ oder – sehr pointiert: „Ein Dummkopf, der das nicht sieht, der liest auch nichts“.

Auf welche Art würden Sie gerne informiert?

Diese Frage wurde nur an jene gerichtet, welche die vorhergehende Frage bejaht hatte. Es ging darum, herauszufinden, welche Informationsquellen bevorzugt würden. Mehrfachnennungen waren möglich.

94 % derjenigen, die zusätzliche Informationen befürworteten, wünschten sich Informationen vor Ort wie Schilder, Tafeln oder ähnliches. 22 % erhofften sich zusätzliche Informationsangebote in den neuen elektronischen Medien. 18 % brachten Reiseführer ins Gespräch. 16 % sprachen sich für konventionelle Medien aus und nur 8 % wünschten sich, durch die Denkmalschutzbehörden informiert zu werden. Vier Mal wurden sonstige unterschiedliche Vorschläge gemacht, die sich nicht in die vorherigen Kategorien einordnen lassen.

3.3 Ergebnis der Umfrage

Eine grundsätzliche Aufgeschlossenheit war von vornherein bei der überwiegenden Mehrzahl der Befragten zu beobachten.

Die Bereitschaft zur Akzeptanz und zu einer positiven Bewertung wuchs aber offensichtlich durch gezielte Informationen, die Interesse wecken bzw. bestärken konnten, selbst bei denjenigen, die ursprünglich eine eher kritische Haltung eingenommen hatten.

Dabei ist es offensichtlich wichtig und für viele ausreichend, auf öffentlich zugängliche Informationen zugreifen zu können (am besten in Form von Hinweisen am Objekt selbst), die eine unvoreingenommene Urteilsfindung möglich machen anstatt diffuse Eindrücke kommentarlos im Raum stehen zu lassen.

4 Fazit

Das Fassaden-Reparaturkonzept, das bei der Instandsetzung des vorgestellten Gebäudes verfolgt wurde, hatte die Wiederherstellung der bautechnischen Funktionalität zum Ziel ohne dem Bauwerk seine historische Vielschichtigkeit zu rauben. Fortschreitender Verfall wurde nachhaltig gestoppt. Die Spuren und Schäden der Zeit sind ihm bewusst belassen worden. Sie sind nach wie vor klar zu erkennen, genauso wie die notwendigen Rekonstruktionen und Ergänzungen, die als solche sichtbar werden, ohne jedoch optisch hervorstechen.

Die exponierte Lage des Objektes im Zentrum Berlins ruft zudem ins Bewusstsein, dass die Denkmalpflege ein wichtiger Baustein der Erinnerungskultur ist. Sie trägt ihren Teil zu den kollektiven Prozessen bei, die gesellschaftliche Identität begründen.

Die Vorgabe, bei der Instandsetzung Kriegsspuren als geschichtliches Zeugnis zu erhalten, stellt hohe Ansprüche an das restauratorische Konzept und verlangt nach einer behutsamen und stringenten Umsetzung. Deshalb ist es auch wichtig, die dabei angewandten denkmalpflegerischen Konzepte und ihre Umsetzung in der Fachwelt kritisch auf den Prüfstand zu stellen. Aber ebenso notwendig erscheint es, durch Information in der breiten Öffentlichkeit, beim Bürger und Steuerzahler um Akzeptanz für entsprechende Maßnahmen zu werben. Im vorliegenden Fall gab es erkennbar Verständnisprobleme, allerdings auch von vornherein ein erstaunlich großes Interesse unter den Teilnehmern der Umfrage. Die Ursachen für Akzeptanzprobleme lagen augenscheinlich vor allem in fehlenden Informationen begründet. Je besser informiert ein Beobachter ist, desto größer ist die Bereitschaft, einem Konzept wie im Fall der vorliegenden Fassadeninstandsetzung aufgeschlossen oder sogar zustimmend gegenüberzustehen.

Literatur

- Ellwart Steinrestaurierung: Humboldt-Universität zu Berlin, Dorotheenstraße 1 Restaurierung Natursteinfassade. Dokumentation der Restaurierungsarbeiten 11/2011 – 03/2013. Berlin 2013.
- Manfred F. Fischer: „Wie lange dauern die Werke?“ In: Schmidt, Hartwig (Hrsg.), Das Konzept „Reparatur“. Ideal und Wirklichkeit. Eine Tagung des deutschen Nationalkomitees von ICOMOS in Zusammenarbeit mit der „Denkmal 98“, Europäische Messe für Denkmalpflege und Stadterneuerung. Leipzig 2000, S. 7 – 17.
- Kaye Geipel: Die Aura des Authentischen, in: Bauwelt 13/2009, Zitiert aus: URL: http://www.bauwelt.de/dl/796979/10806439_a7cd0d039c.pdf, Abruf: 17.01.2018
- Hübner+Oehmig Bauhistorische Planungsberatung: Haus Dorotheenstraße 1. Ehemaliges Dienstgebäude der direkten Steuern Humboldt-Universität Berlin. Recherche im Auftrag der Humboldt-Universität Berlin. Berlin 2009 (unveröffentlicht).
- Humboldt-Universität zu Berlin, Technische Abteilung: Dorotheenstr. 1, Dach- und Fassadensanierung, zitiert aus: <https://www.ta.hu-berlin.de/bp-doro1>, Abruf: 17.01.2018
- Heiko Krueger: Denkmalpflege und öffentliche Akzeptanz Zum konservierenden Ansatz bei der Instandsetzung von Baudenkmalen untersucht am Beispiel der Sanierung des Gebäudes Dorotheenstraße 1 in Berlin. Masterarbeit an der Europa-Universität Viadrina, Frankfurt/Oder 2014.
- Hartwig Schmidt: Konservieren statt restaurieren, Instandsetzung statt Austausch. Zur Entwicklung des Prinzips „Reparatur“ in der Denkmalspflege. In: Schmidt, Hartwig (Hrsg.), Das Konzept „Reparatur“. Ideal und Wirklichkeit. Eine Tagung des deutschen Nationalkomitees von ICOMOS in Zusammenarbeit mit der „Denkmal 98“, Europäische Messe für Denkmalpflege und Stadterneuerung. Leipzig 2000, S. 10–7.
- Rolf Snethlage in: PETER PARLER- PREIS 2015. SONDER-DRUCK AUS NATURSTEIN 5/2015, Frankfurt/Main 2015, S. 10.
- Jürgen Tietz: Anerkennung: Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Humboldt-Universität in Berlin, in: deutsche bauzeitung. Zeitschrift für Architekten und Bauingenieure, 12/2014.

Beteiligte

Bauherr/Auftraggeber

Humboldt Universität zu Berlin
Herr Schwalgin, Frau Richter-Sepke, Herr Stahn
Unter den Linden 6 / Ziegelstr. 11, 10117 Berlin

Denkmalbehörde

Herr Heuler, Herr Rieffel
Altes Stadthaus
Klosterstraße 47, 10179 Berlin

Architekt/Bauleitung

Martin Focks Architekten
Herr Philipp Dennerlein, Dipl.-Ing.
Immanuelkirchstr. 30, 10405 Berlin

Fachplanung/Denkmalpflegerische Betreuung

Herr Stefan Grell, Dipl.-Restaurator (FH)
Ringbahnstr. 7, 10711 Berlin

Auftragnehmer

Steinrestaurierung Ellwart GmbH & Co. KG Berlin/Bamberg
Frau Sima Massah, Dipl.-Restauratorin FH
Herr Heiko Krüger, Dipl.-Politologe, M.A.
Herr Ulrich Ellwart, Steinmetz, Dipl.-Ing. Architekt AK Berlin
Lüneburger Str. SBB 405, 10557 Berlin


Abbildungen

Bild 1: Land Berlin, Presse- und Informationsamt
des Landes Berlin
Bild 2: Andreas Steinmann
Bilder 3–36: Uli Ellwart
Bild 37: Sima Massah

Forschung zu Nano-Materialien für die Gesteinsrestaurierung

Auswirkung von Festigungsmaßnahmen in Laborversuchen im Rahmen des EU-Projektes Nano-Cathedral

von Elisabeth Mascha, Johannes Weber und Matea Ban



Im Rahmen des EU-Projektes Nano-Cathedral (2015–2018) wurden neu entwickelte Nano-Festigungsmittel sowie herkömmliche Konsolidierungsmittel an Prüfkörpern ausgewählter Werksteine in Hinblick auf ihre Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten mittels mikroskopischer Methoden sowie genormter und nicht genormter Testverfahren überprüft. Hierbei ergaben sich deutliche Unterschiede zwischen reinen Nano-Systemen und Kieselsäureestern, welche jeweils Vor- und Nachteile aufweisen. Die Ergebnisse der groß angelegten Laborversuchsreihe, in der u. a. rasterelektronenmikroskopische Studien einen wichtigen Platz einnahmen, sollen als Hilfestellung für die Lösung bei praxisorientierten, schadensspezifischen Problemstellungen dienen.

Bei der Konservierung von Naturstein stellt die Gefügefestigung einen der wesentlichsten und in Hinblick auf die Nachhaltigkeit sicherlich auch sensibelsten Arbeitsschritte dar.

Für diesen Zweck haben sich in den letzten Jahrzehnten vornehmlich anorganische Festigungsmittel durchgesetzt, wobei sich im Laufe der Zeit vor allem Kieselsäureester (KSE) für die Festigung von Naturstein unterschiedlicher Verwitterungsformen etabliert hat. Seit ungefähr zwei Jahrzehnten ist jedoch bekannt, dass der bis dahin allein zur Anwendung gebrachte KSE Typ Wacker OH für einige Arten der Gefügeschädigung verwitterter Steine nicht zum erwünschten Erfolg führt. Als Gründe hierfür können komplexe Porenraumstrukturen, welche mit nur einem Bindemitteltyp nicht konsolidiert werden können, genannt werden. Lösungsansätze für diese Problemstellungen innerhalb der Bindemittelgruppe der Kieselsäureester gab es im Rahmen von Forschungsprojekten (BMFT, DBU), in welchen elastifizierte KSE-Typen sowie das KSE-Modulsystem mit unterschiedlichen Gelabscheidungsraten und differenzierten Gelstrukturen entwickelt wurden.

Im Zuge der neueren Entwicklungen im Nano-Sektor eröffneten sich zudem mögliche Vorteile von Nano-Systemen als Konsolidierungsmittel in Bezug auf folgende Eigenschaften:

- höhere Wirkstoffgehalte
- kürzere Reaktionszeiten
- verbesserte Eindringeigenschaften
- geringere Schwundneigung

- bessere Anbindung bzw. Rissüberbrückung
- mögliche zusätzliche Schutzfunktionen

Innerhalb des EU-Projektes Nano-Cathedral (2015–2018) wurden speziell neu entwickelte bzw. aus anderen Anwendungsbereichen adaptierte Nano-Konservierungsmittel mit Festiger- sowie Schutzfunktionen an ausgewählten Werksteinen einiger europäischer Kathedralen und zeitgenössischer Architektur in Hinblick auf ihre Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten überprüft [1]. Die Studie beinhaltete eine breit angelegte Laborversuchsreihe, deren Ergebnisse sowohl mit mikroskopischen Methoden als auch durch verschiedene genormte Testverfahren überprüft wurden. Ziel war es, für die jeweiligen Gesteine maßgeschneiderte, d. h. insbesondere auch schadensspezifische Lösungen für die Praxis zu entwickeln, die im Zuge des Projektes auch an Musterflächen der ausgewählten Objekte unter natürlichen Verwitterungsbedingungen angewendet und beobachtet werden sollten.

Das Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit beruht auf den mikroskopischen Untersuchungsergebnissen unter Berücksichtigung der mechanisch/physikalischen Eigenschaften an gefestigten Laborproben, welche im Rahmen des oben genannten Projektes durchgeführt wurden. Im Zentrum dieser Analysen steht die Evaluierung von Nanofestigern im Vergleich zu herkömmlichen Festigungsmitteln als auch Kombinationen derselben sowie die Quantifizierung der räumlichen Verteilung des Festigers im Porengefüge.

Tabelle 1

Gesteinsvarietäten der jeweiligen Kathedralen für das Laborprogramm: VP = „Volles Untersuchungsprogramm, ZP = „Zusatz-Programm“

Kathedralen /Gesteinstypen	Silikatsandsteine	Kalkgesteine	Marmore
Domkirche Köln (Deutschland)	Obernkirchner Sandstein ^{VP} Schlaitdorfer Sandstein ^{VP}	Tercé Kalkstein ^{ZP}	
Kathedrale St. Maria Vitoria (Spanien)	Elguea Sandstein ^{ZP}	Ajarte Fossilalkstein ^{VP}	
Sint-Baafs Kathedrale Gent (Belgien)		Balegem Kalkstein ^{VP} Gobertange Kalkstein ^{ZP}	
St. Stephansdom Wien (Österreich)		St. Margarethner Kalkarenit ^{VP} Auer Kalkarenit ^{ZP} Bihac Kalkstein ^{ZP}	
Oslo Opernhaus (Norwegen)			Carrara Marmor ^{VP}
Dom Pisa (Italien)			Monte Pisano Marmor ^{ZP}

1 Testmaterialien

1.1 Gesteinsvarietäten

Die Auswahl von insgesamt 12 Gesteinen (Tabelle 1) der an der Studie beteiligten Kathedralen für das Laborprogramm erfolgte in Hinblick auf die Dringlichkeit ihres Konservierungsbedarfs sowie unter Bezugnahme auf die spezifischen Schadensphänomene, welche zu Beginn des Projektes im Detail untersucht wurden. Des Weiteren musste eine ausreichende Menge an Gesteinsmaterial für die Prüfkörperherstellung zur Verfügung stehen – somit konnten Gesteine aus bereits aufgelassenen Steinbrüchen für das Laborprogramm nicht in Betracht gezogen werden.

Für jede Kathedrale gab es eine Auswahl an Gesteinen, welche sowohl in ein „Volles Laborprogramm“ = VP mit genormten Untersuchungen an Gesteinsprüfkörpern (vgl. Kap. 1.1.1.1) als auch an aus Gesteinskörnungen hergestellten Prüfkörpern (vgl. Kap. 1.1.1.2) einbezogen wurden. Eine weitere Gruppe umfasste Gesteine, welche lediglich ein „Zusatz-Programm“ = ZP mit Prüfkörpern aus Körnungen unter Einsatz nicht genormter Bewertungungsverfahren durchliefen.

1.1.1 Auswahl geeigneter Prüfkörper für genormte und nicht genormte Untersuchungsmethoden

1.1.1.1 Gesteinsprüfkörper

In Hinblick auf eine möglichst realitätsnahe Anwendung der Festigungsmittel schien es essentiell, die Labortests an den jeweiligen Gesteinstypen und nicht etwa an künstlich hergestellten Referenzmaterialien wie beispielsweise Mörtel-Prüfkörpern durchzuführen. Hierbei war für die erforderlichen Norm-Untersuchungen allerdings das Vorliegen einigermaßen homogener Prüfkörper wesentlich, weshalb natürlich verwittertes Material, das üblicherweise Gefügedegraden aufweist, nicht in Betracht gezogen werden konnte. Gleichzeitig war aber auch ein dem natürlichen Verwitterungsbild annähernd entsprechender Gefügezustand erforderlich, um die Festigungsversuche realitätsbezogen durchführen zu können. Dies setzte eine künstliche Alterung der bruchfrischen Gesteine

voraus, wobei zu diesem Zweck in Voruntersuchungen thermische, chemische und mechanische Methoden getestet wurden [2]. Auf Grund der Testergebnisse dieser Vorstudien wurden die Gesteinsprüfkörper vor der Mittelapplikation durch thermische Behandlung künstlich gealtert. Diese annähernd homogen gefügestörten Proben dienten in der Folge als Substrate für die Festigungstests, deren Beurteilung sowohl mittels Normuntersuchungen der mechanisch-physikalischen Eigenschaften (Tabelle 3) als auch durch mikroskopische Analysen erfolgte.

1.1.1.2 Prüfkörper aus Gesteinskörnungen

Auf Basis der Kenntnis um komplexe natürliche Gefügeschäden (Bild 1) und der sich daraus ergebenden Anforderung an kombinierte Festigungssysteme bzw. einer Optimierung durch Modifizierung herkömmlicher Festigungsmittel wurden zusätzliche Prüfkörper aus Gesteinskörnungen (Bild 2) in die Versuchsreihe miteinbezogen.

Bei der Überprüfung von Festigungsmitteln in früheren Projekten [3], [4] waren bereits sehr gute Erfahrungen mit Gesteinskörnungen als Substrat gemacht worden [5], [6], wobei die hier vorgestellten Prüfkörper insofern eine Erweiterung darstellten, als sie die inhomogenen Gefügedefekte des natürlich verwitterten Gesteins mit einer stark aufgewitterten Oberflächenzone auf unverwittertem Stein simulieren sollten.

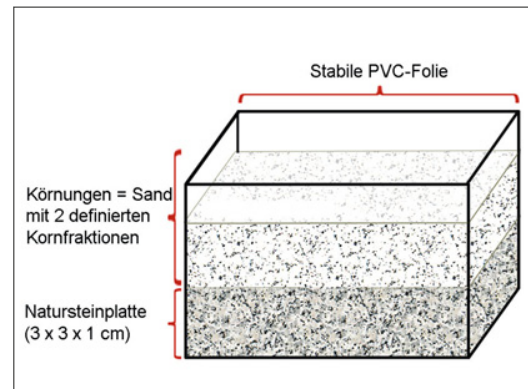
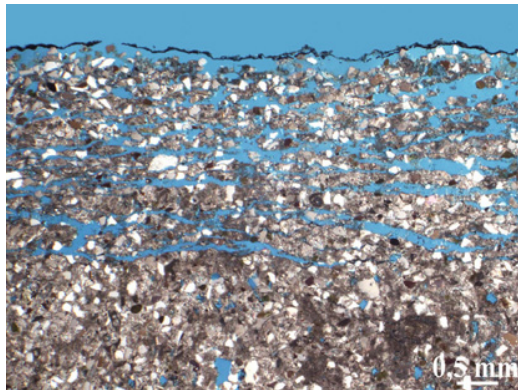
Bei diesen Prüfkörpern, die für die üblichen Messungen mechanischer oder physikalischer Kenngrößen zu schwach verfestigt waren, standen Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskopie an Schliffen im Vordergrund. Eine Bewertung des mechanischen Festigungserfolgs war lediglich mittels Ultraschallmessungen nach EN 14146 möglich.

1.2 Festigungsmittel

Die seitens des Nano-Cathedral Projekts verfügbaren Festiger umfassten 15 derzeit noch nicht für die Steinkonservierung kommerziell vertriebene Systeme, die zur Gänze oder zum Teil auf der Basis von anorganischen Nanopartikeln formuliert sind.

Bild 1
PLM-Bild – natürliches
Schadensbild mit stark
aufgewitterter Oberfläche auf
kompaktem Steingefüge
(Gobertange Kalkstein)

Bild 2
Schema des Prüfkörpers aus
Gesteinskörnungen



Sie umfassten Nano-Silikate, Nano- Al_2O_3 , Nano- ZrO_2 und Nano-Hydroapatit (HAP) in unterschiedlichen Löse- bzw. Dispergierungsmitteln sowie mit Nano-Titan modifizierte Kieselsäureester. Um das Ausmaß an Prüfkörpern für das aufwändige Laborprogramm in einem realistischen Rahmen zu halten – insgesamt waren knapp 1.500 Prüfkörper zu untersuchen –, mussten für jede Gesteinsvarietät die vier best-geeigneten Festiger vorausgewählt werden (Tabelle 2). Als Referenz kamen jeweils zwei aus einer Reihe von 10 handelsüblichen Festigern zur Prüfung, welche bereits von den beteiligten Anwendern eingesetzt worden bzw. für die jeweiligen Gesteine als grundsätzlich geeignet einzuschätzen waren.

Zur Vorauswahl wurden alle Produkte in Hinblick auf folgende Eigenschaften bewertet:

- Eindringvermögen des Festigers
- Verteilung des Festigers im Porenraum nach erfolgter Reaktionszeit
- Anbindung des Festigers an das Substrat
- Mögliche Brückenbildungen des Festigers
- Schwundneigung des Festigers

Diese Vortests erfolgten vorerst an einem karbonatischen Naturstein (Auer Kalkarenit, $2 \times 2 \times 2$ cm) als auch an einem silikatischen Substrat (Glasfilter Duran® mit definierter Porengröße: 100–160 μm , \varnothing 20 mm \times 2 mm) sowie in der Folge auch an weiteren ausgewählten Steinen des Projekts.

Getestet wurden vorerst die einzelnen Produkte für sich, die jeweils zwei Mal appliziert wurden. Des Weiteren wurden aber auch ausgewählte Festigerkombinationen getestet, da dies in Hinblick auf

Tabelle 2

Auswahl an Nano-Cathedral- und Referenzprodukten für das Laborprogramm, mit Verweis auf die jeweiligen Produzenten

Nano-Cathedral Produkte		Nano-Partikel	Referenz-Produkte	
Produkt	Kurzbeschreibung		Produkt	Kurzbeschreibung
NC-25C ¹	KSE + Nano-Ti, Wirkst. 70 %	ja	KSE 100 ⁴	KSE, Gelabsch. 10 %
NC-27CP ¹	KSE + Alkylsilane + Nano-Ti, Wirkst. 70 %	ja	KSE 300, 300E ⁴	KSE, Gelabsch. 30 % und elast.
NC-12C ²	Nano-SiO ₂ in Wasser/Ethanol	ja	KSE 300 HV ⁴	KSE, Haftv., Gelabsch. 30 %
NC-29C ³	Nano-ZrO ₂ in Wasser	ja	KSE 500 E ⁴	KSE, elast., Gelabsch. 50 %
		ja	Sebosil® ⁵	5, 10, 20 % Nanodispersion SiO ₂ in Ethanol
		ja	CaLoSiL® E ⁶	5 bzw. 25 g/l Ca(OH) ₂ in Ethanol
Produzent 1	ChemSpec		Produzent 4	Remmers Baustofft. Ges.mbH
Produzent 2	Colorobbia		Produzent 5	Kallies Feinchemie AG
Produzent 3	Tecnan		Produzent 6	IBZ-Salzchemie GmbH & Co. KG

komplexe Schadenssituationen essentiell erschien und in früheren Studien bereits gute Erfahrungen mit Produktkombinationen erbracht hatte [5], [6]. In solchen Fällen wurde stets das erste Produkt, ein Nano-System oder KSE mit niedriger Gelabscheidungsrate, am ersten Tag aufgebracht und am zweiten Tag das zweite Produkt.

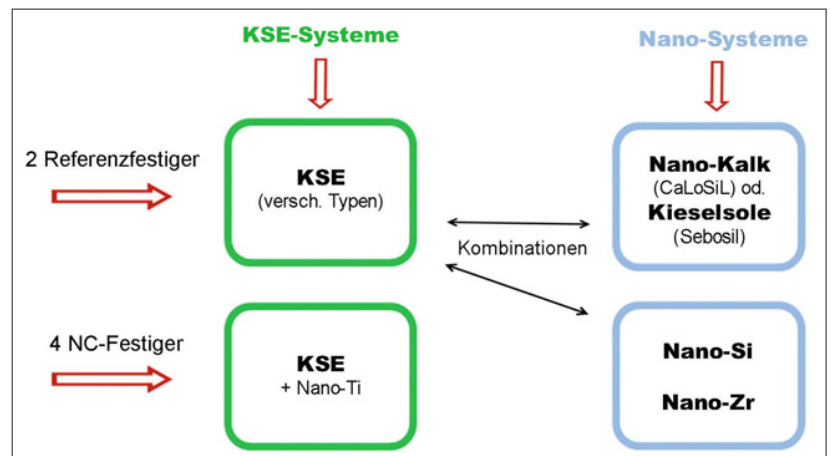
Die Bewertung der jeweiligen Festiger bezüglich der genannten Eigenschaften erfolgte mittels REM-Untersuchungen an polierten Anschliffen, wobei mithilfe eines +/- Ausscheidungsverfahrens die besten Festiger für die behandelten Substrate ermittelt wurden (Tabelle 2).

2 Vorbereitung der Prüfkörper und Festigerapplikation im Labor

Auf Grund der Voruntersuchungen ergaben sich für die jeweiligen Laborbehandlungen sowohl Festigungen mit einzelnen Produkten (vornehmlich bei den Gesteinsprüfkörpern, die für ein homogenes Schadensbild standen) als auch mit Festiger-Kombinationen (vornehmlich bei den Prüfkörpern aus Gesteinskörnungen, die für ein inhomogenes, komplexeres Schadensbild standen). Diese sind vereinfacht in Bild 3 dargestellt, wobei jede Gesteinsvarietät mit jeweils vier unterschiedlichen Nano-Cathedral (NC)-Festigern wie auch mit zwei unterschiedlichen Referenzfestigern behandelt wurde.

2.1 Gesteinsprüfkörper

Alle Prüfkörper hatten in der Regel eine Größe von $5 \times 5 \times 5$ cm, ausgenommen diejenigen, die gemäß den Arbeitsvorschriften einzelner Prüfnormen eine abweichende Form und Größe aufzuweisen hatten. Sie wurden vor der Behandlung mittels feiner Bürsten und Wasser vorsichtig gewaschen, getrocknet und gewogen. Anschließend wurden die Seitenwände mit einer PVC-Folie abgedichtet, um eine zu schnelle Verdunstung des Lösemittels zu vermeiden. Die Festigerapplikation erfolgte durch kapillare Tränkung bis zur vollständigen Sättigung,



wobei allerdings eine Tränkungsdauer von einer Stunde nicht überschritten wurde. Die Oberflächen wurden lose mit einer PVC-Folie abgedichtet und nach 24 Stunden erfolgte eine zweite Festigerapplikation.

Bild 3
schematische Darstellung der unterschiedlichen Laborbehandlungen

Gelagert wurden die Prüfkörper in der Folge 30 Tage auf einem Gitter, währenddessen sie zur Ermittlung des Reaktions- bzw. Trocknungsverlaufs täglich gewogen wurden.

2.2 Prüfkörper aus Gesteinskörnungen

Als Basis dienten Steinscheiben von der Dimension $3 \times 3 \times 1$ cm, auf welche die Körnungen, durch seitlich angebrachte PVC-Folien in Form gehalten, auf eine Höhe von 1 cm aufgebracht und mit leichtem Druck komprimiert wurden. Sie bestanden aus Mischungen zweier Sandfraktionen (0,12–0,25 mm bzw. 0,66–0,124 mm) im Verhältnis grob : fein = 2 : 1.

Im Gegensatz zu den Gesteinsprüfkörpern erfolgte hier die Festigerapplikation mittels Pipette von oben, also über die Körnungen. Ziel war in erster Linie eine Tränkung des Lockermaterials, um – in Analogie zur natürlichen Verwitterungssituation – die Bindung loser Gesteinskörner untereinander und an den kompakten Untergrund studieren zu können. Ein zweiter bzw. dritter Festigerauftrag erfolgte an den darauf folgenden Tagen. Dabei wurden alle Prüfkörper vor und nach sämtlichen Arbeitsschritten gewogen. Die Lagerung erfolgte analog zu den Gesteinsprüfkörpern über einen Zeitraum von 30 Tagen.

3 Untersuchungsmethoden

Die Bewertung des Festigungseffekts an den künstlich gealterten Gesteinsprüfkörpern erfolgte durch die in Tabelle 3 genannten physikalischen und mechanischen Prüfverfahren. Des Weiteren wurden die Festigungsmaßnahmen sowohl an den Gesteinsproben als auch an den Prüfkörpern aus Gesteinskörnungen mittels Rasterelektronenmikroskopie evaluiert.

3.1 Untersuchung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften

Die Untersuchung physikalischer und mechanischer Eigenschaften zur Bewertung des Festigungseffekts erfolgte an künstlich gealterten Natursteinen, die auf Grund der thermischen Beanspruchung im Labor mehr oder weniger homogene Gefügeschäden durch Mikrorisse aufwiesen. Dadurch konnten die Eigenschaften der geprüften Festigungsmittel direkt miteinander verglichen und in Bezug zu den Referenzprodukten gesetzt werden.

Die Untersuchungsmethoden zur Evaluierung der mechanisch-physikalischen sowie visuellen Eigenschaften kann in drei Kategorien aufgeteilt werden (Tabelle 3). Die erste Kategorie (E-Modul, Spaltzug-,

Haftzug- und Biegezugfestigkeit sowie Bohrwiderstand) beschreibt die Effizienz der Festiger. Der Fokus lag hierbei in der Ermittlung der elastischen und mechanischen Kennwerte, wobei durch die Konsolidierung eine Steigerung der Festigkeit das Ziel war, welche allerdings die Werte der frischen Steine nicht überschreiten sollte. Der Festigungserfolg in Hinblick auf die Mikrorisse ließ sich am besten durch Zugfestigkeiten evaluieren, die deshalb den Messungen der Druck- oder Scherfestigkeit, welche weniger signifikante Informationen lieferten, vorgezogen wurden. Ein weiterer Schwerpunkt der mechanischen Untersuchungen lag in der Auswertung des Bruchverhaltens, wobei hier der Ursachenanalyse eine wichtige Bedeutung zukam. Abgesehen von einem möglicherweise generell ungenügenden Festigungserfolg war die Möglichkeit eines ungünstigen Festigkeitsprofils auf Grund schlechten Eindringverhaltens des Festigers oder ungleichmäßiger Verteilung des Wirkstoffs als Ursache des Bruchverhaltens in Betracht zu ziehen.

Die zweite Prüfmethodekategorie beschreibt die physikalischen Eigenschaften und somit die Kompatibilität der Festiger mit dem jeweiligen Substrat in Hinblick auf die feuchtigkeitstechnischen Kennwerte, wobei diese nach einer Festigung nicht drastisch reduziert sein sollten. Mit der Ermittlung

Tabelle 3

Testverfahren für Gesteinsprüfkörper im frischen und künstlich gealterten Zustand sowie für Gesteinsprüfkörper, welche künstlich gealtert und gefestigt wurden

Natursteinuntersuchungen	Kriterien für Effizienz und Kompatibilität der Festiger
Dynamischer E-Modul (EN 14146)	Steigerung der elastischen Kennwerte
Spaltzugfestigkeit (ASTM D 3967)	Steigerung der Festigkeit
Haftzugfestigkeit (EN 1542)	Steigerung der Festigkeit
Biegezugfestigkeit (EN 12372)	Steigerung der Festigkeit
Bohrwiderstand (nicht genormt)	Ausgleich des Festigkeitsprofils
Wasserdampfpermeabilität (EN 15803)	Keine drastische Reduzierung
Wasseraufnahmekoeffizient (EN 15801)	Keine drastische Reduzierung
Trocknungsverhalten (EN 16322)	Geringes Wasserrückhaltungsvermögen
Quecksilberporosimetrie (nicht genormt)	Keine Bildung einer sekundären Mikroporosität
Wasser-Kontaktwinkel (EN 15802)	Unterschied ≤ 20 % im Vergleich zum unbehandelten Stein
Farbmessungen (EN 15886)	ΔE^* Unterschied < 5 im Vergleich zum unbehandelten Stein

von Wasserdampfpermeabilität, Wasseraufnahmekoeffizienten, Trocknungsverhalten, Kontaktwinkel und Porenradialverteilung mittels Quecksilberporosimetrie wurde das Risiko etwaiger Folgeschäden durch die Festigung untersucht. Als klassischer Fall ist hier der Aufbau einer Wasserdampfsperre zu nennen.

Die dritte Kategorie beinhaltet die Veränderung des optischen Erscheinungsbilds der Gesteinsoberfläche durch die Konsolidierung. Hierbei handelt es sich um Farb- und Glanzmessungen der gefestigten Steine nach Ablauf der Reaktionszeit, deren Werte den frischen, ungefestigten Steinen gegenübergestellt wurden.

3.2 Rasterelektronenmikroskopie

Die Rasterelektronenmikroskopie bildet eine vierte Evaluierungskategorie. In der Folge gehen wir insbesondere auf diese mikroskopischen Untersuchungen ein, welche im Unterschied zu den anderen Prüfmethoden zwar keine unmittelbaren Messwerte zu mechanischen oder physikalischen Auswirkungen der Festigerbehandlungen anzeigen, dafür jedoch eine Reihe wichtiger Informationen liefern, welche in Zusammenhang mit jenen stehen und darüber hinaus einen direkten Bezug zum Porengefüge in seiner unterschiedlichen Ausprägung aufweisen.

Von allen Testapplikationen an Gesteinsprüfkörpern und Prüfkörpern aus Körnungen sind nach Ablauf der Reaktionszeit polierte Anschliffe erstellt worden. Hierzu wurden die Proben in Epoxidharz eingebettet, quer zur Tränkungsfläche geschnitten und bis auf 4.000 mesh trocken geschliffen. So entstanden Anschliffe über die gesamte Prüfkörpertiefe.

Die darauf folgenden Untersuchungen wurden im Rückstreuerelektronenmodus (BSE) am Rasterelektronenmikroskop (REM) des Typs FEI Quanta 250 FEG im Niedrigvakuum bei 20 kV durchgeführt. Charakteristische Eigenschaften der Festiger in Hinblick auf Topographie und Morphologie sind untersucht und signifikante Beispielbilder erstellt worden. Besonderes Augenmerk wurde auf die

Untersuchung von Aussehen und exakter Lokalisierung der Festigerrückstände in Abhängigkeit zum Substrat gelegt wie auf Brückenbildungen zwischen Mineralkörnern, Anlagerungen, die Qualität der Anbindung sowie das Schrumpfverhalten. Ein weiteres Kriterium war die Tiefenverteilung des Festigers über die gesamte Querfläche der Prüfkörper. Hierzu erfolgten Aufnahmen bei 100-facher Vergrößerung von der Tränkungsfläche bis zur Unterseite der Prüfkörper. Diese Bilder wurden anschließend mittels Adobe Photoshop Software manuell zusammengesetzt, um so Profile über den gesamten Probenquerschnitt zu erhalten. Im Falle der Prüfkörper aus Körnungen wurden von diesen Profilbildern Falschfarbenbilder erzeugt, die einerseits eine bessere Visualisierung des Festigers erlaubten und von denen andererseits quantitative Parameter, wie der Porenfüllungsgrad und die Porosität in Abhängigkeit von der Probentiefe, prozentual berechnet wurden. Diese Daten sind für einzelne aufeinanderfolgende Abschnitte eines Profils berechnet und daraus Grafiken des Porenfüllungsgrades in Abhängigkeit von der Tiefenverteilung des Festigers in den gesamten Prüfkörpern erstellt worden.

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Trocknungszeiten und gravimetrisch erfasste Wirkstoffgehalte

Ein wesentlicher Unterschied zwischen KSE- und Nano-Systemen konnte bereits auf Grund der gravimetrischen Messungen vor, während und nach den Behandlungen festgestellt werden. Nano-Systeme weisen auf Grund der Löse- bzw. Dispergierungsmittel (Wasser/Ethanol) und der Aushärtemechanismen (physikalische Trocknung) deutlich kürzere Reaktionszeiten mit ca. 5 Tagen auf als Systeme auf Kieselsäureesterbasis (Bild 4) mit ca 30 Tagen, wobei hier oftmals auch noch nach sechs Wochen eine starke Wasserabweisung nachgewiesen werden konnte. Dies kann als ein wichtiges Entscheidungskriterium gelten, da für weitere Konservierungsschritte die jeweilige Reaktionsdauer des Festigers abgewartet werden muss.

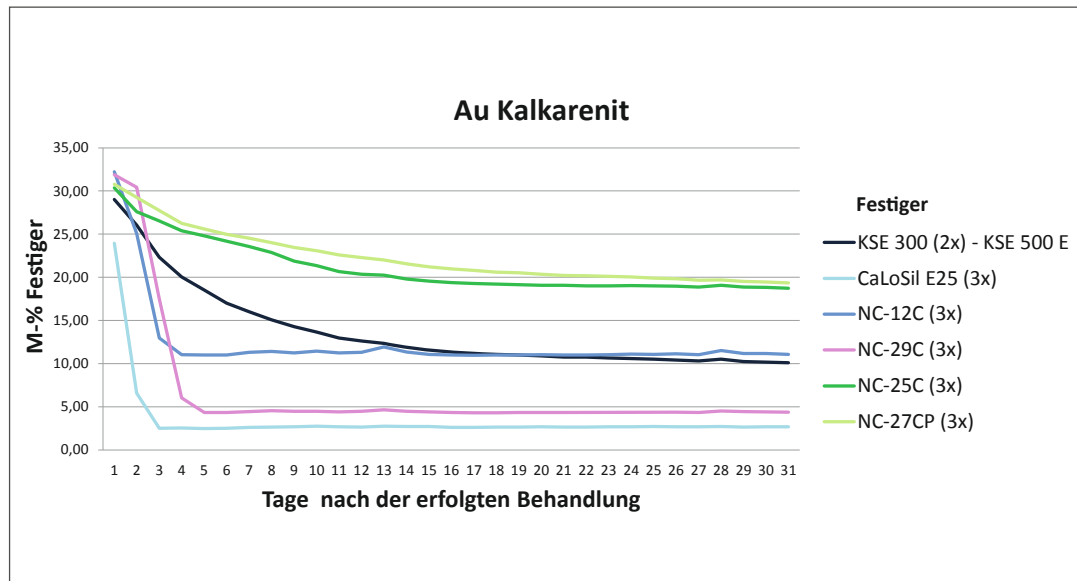


Bild 4
Trocknungszeiten der unterschiedlichen Festiger

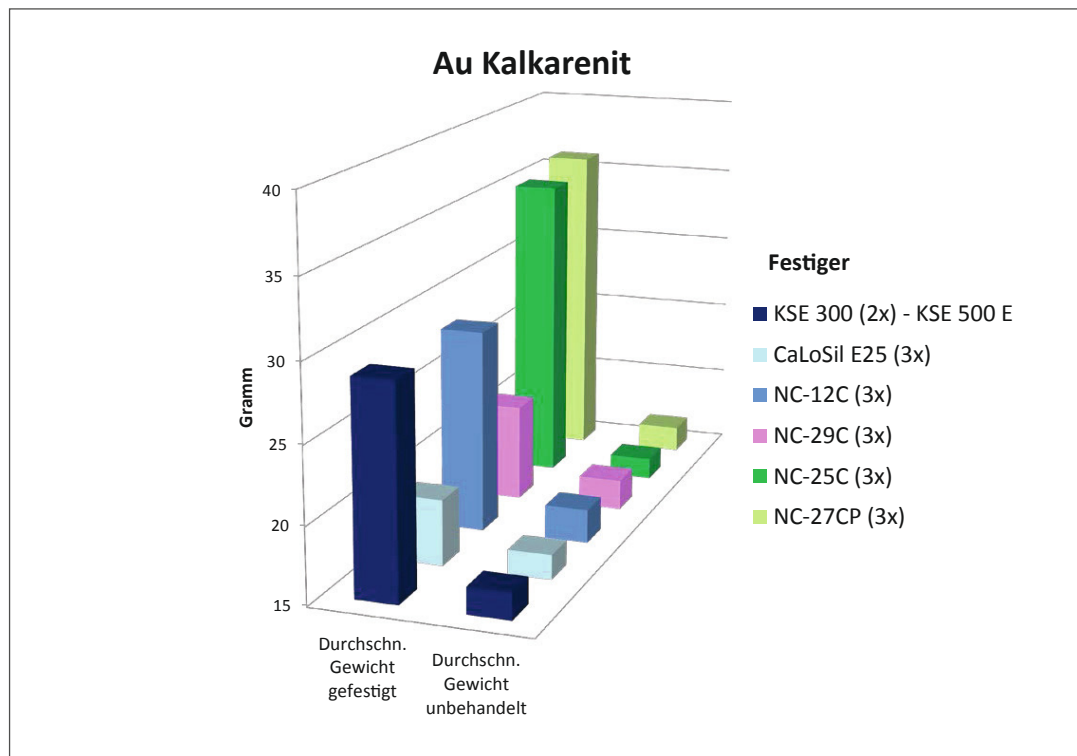


Bild 5
Wirkstoffgehalte der unterschiedlichen Festiger nach erfolgter Trocknung

Deutlich höher als bei den Nano-Systemen ist der aus KSE-Tränkungen im Porenraum als Gel deponierte Festigeranteil, wobei hier allerdings die beiden projektgenerierten Produkte NC-25C und NC-27CP auf KSE-Basis mit Ti-Nanopartikeln einen höheren Festigeranteil als das Referenzsystem aufweisen (Bild 5).

4.2 Zusammenfassung der mechanischen und physikalischen Untersuchungsergebnisse

Grundsätzlich konnten für hochporöse Gesteinsvarietäten wie den Kalkstein von St. Margarethen und den Schlaitdorf Sandstein aussagekräftigere Daten zu Effizienz und Kompatibilität der Festi-

gungsmittel ermittelt werden als für dichte Steinarten, da auf Grund der höheren Porosität größere Mengen an Festigern aufgenommen werden konnten. Unabhängig davon zeigten sich sowohl Unterschiede zwischen herkömmlichen und projektgenerierten KSE-Systemen als auch zwischen KSE-Produkten insgesamt und Nano-Systemen. Die im Nano-Cathedral Projekt mit Ti-Nanopartikeln modifizierten KSE-Produkte lieferten höhere mechanische Kennwerte als kommerzielle KSE-Produkte. Dies ist mit großer Sicherheit auf die höhere Gelabscheidungsrate der NC-Festiger zurückzuführen.

Dennoch fiel die Steigerung der mechanischen Kennwerte, abhängig von der jeweiligen Gesteinsart, unterschiedlich hoch aus. Anhand der Messwerte der Ultraschallgeschwindigkeit und der

Spaltzugfestigkeit (Bild 6 und 7) am Beispiel von frischem, künstlich gealtertem und anschließend gefestigtem St. Margarethen Kalkstein lassen sich die Zunahmen der Festigkeitswerte nachvollziehen, wobei im gefestigten Zustand die Ultraschallgeschwindigkeiten zum Teil auf Werte des bruchfrischen Materials gesteigert werden konnten.

Die Spaltzugfestigkeit am St. Margarethen Kalkstein zeigte für alle Festigungsmitteln eine Festigkeitszunahme, wobei die Festiger NC-25C und NC-27CP die höchsten Werte aufwiesen (Anstieg der Spaltzugfestigkeit um 85 bis 135 % ausgehend vom gealterten Zustand). Zudem konnte beobachtet werden, dass KSE 300 und NC-12C die gleiche Zunahme an Festigkeit bewirkten, obwohl die Ultraschallwerte von NC-12C höher sind.

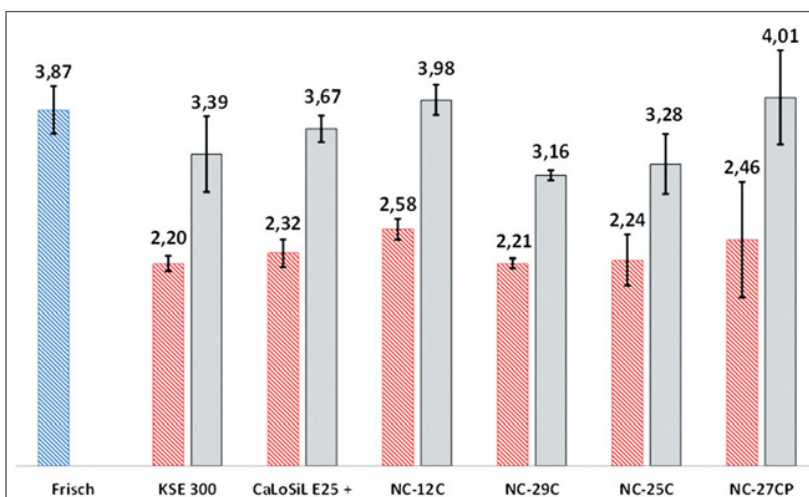


Bild 6
Ultraschallgeschwindigkeit in km/s (rot = künstlich gealtert und unbehandelt; grau = künstlich gealtert und gefestigt) – gemessen an St. Margarethen Kalkstein-Prüfkörpern

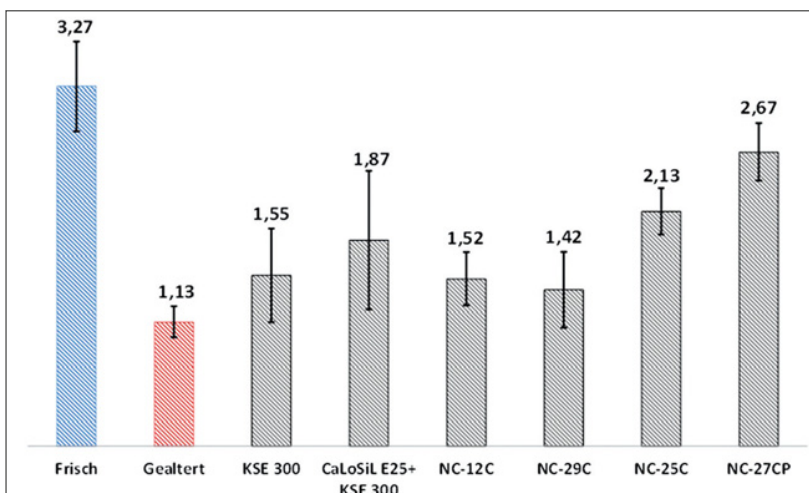


Bild 7
Spaltzugfestigkeit in N/mm² – gemessen an St. Margarethen Kalkstein-Prüfkörpern

Eine Verbesserung der mechanischen Kennwerte sind durch die Kombination von CaLoSiL®E25 und KSE 300 erzielt worden, im Vergleich zu einer alleinigen Festigung mit KSE 300. In Bezug auf die wasserbasierenden Werte konnten bei den reinen Nano-Systemen im Vergleich zu den KSE-Systemen eindeutige Vorteile festgestellt werden.

Ein Nachteil der herkömmlichen KSE-Systeme war deren unbeabsichtigte Hydrophobie auf Grund organischer Restbestandteile, welche zum Teil

auch noch nach sechs Wochen Reaktionszeit vorhanden war. Da dies nicht bei allen Gesteinsvarietäten beobachtet werden konnte, muss die Ursache für diese Reaktionskinetik noch abgeklärt werden.

4.3 Evaluierung der Festiger mittels REM

Zunächst bestand die grundsätzliche Erwartung, dass für jede Gesteinsvarietät ein spezifisches Festigungsmittel/Festigersystem die besten Ergebnisse erbringen würde bzw. dass sich signifikante Unterschiede für karbonatische und silikatische Gesteine abzeichnen würden. Im Zuge der Untersuchungen mittels REM an 144 Anschliffen zeigte sich allerdings, dass zwischen den verschiedenen Festigern zwar sehr wesentliche Unterschiede in Bezug auf Wirkstoffverteilung, Anbindung, Brückenbildung und Schrumpfverhalten erkennbar waren, die jedoch nur zu einem geringen Grad gesteinspezifisch waren. In der Folge werden diese relevanten Merkmale aufgezeigt, wobei nur in Ausnahmefällen auf die jeweiligen Gesteinsvarietäten Bezug genommen wird.

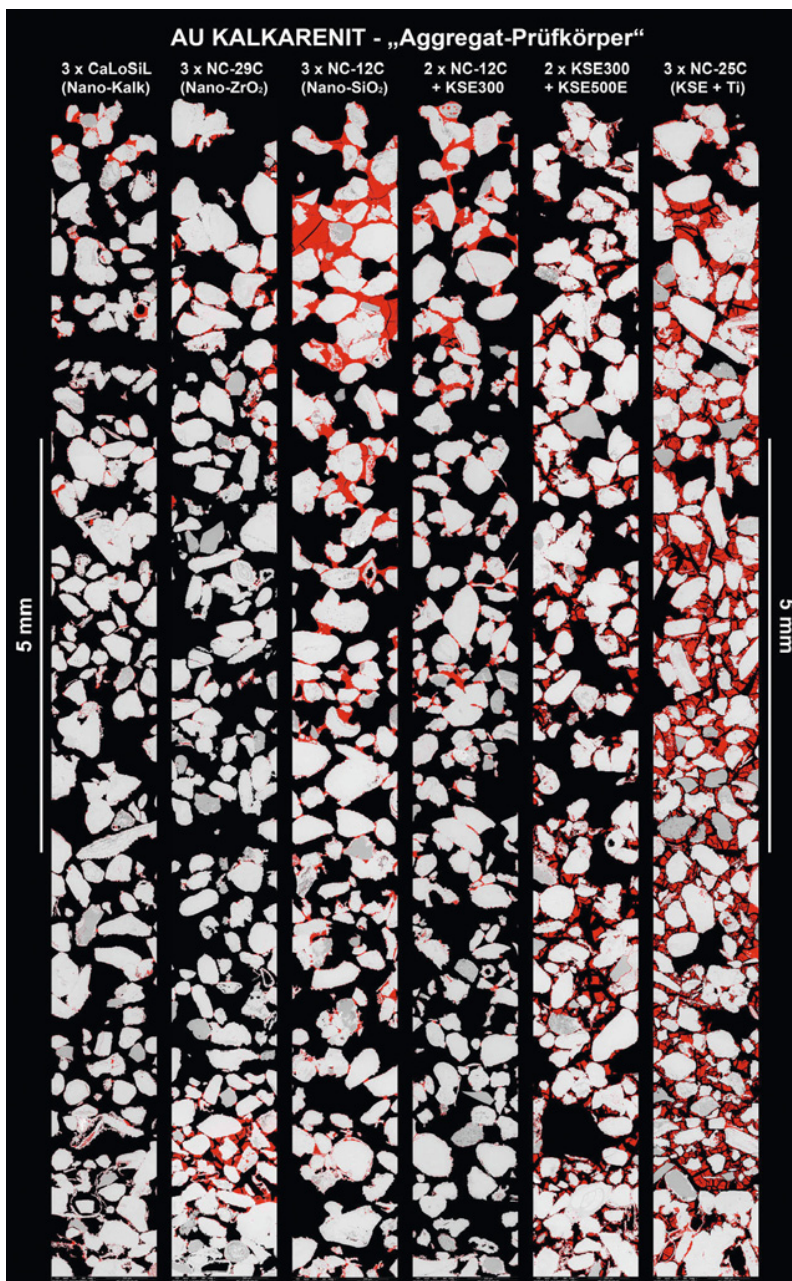
4.3.1 Verteilung des Festigers im Porenraum

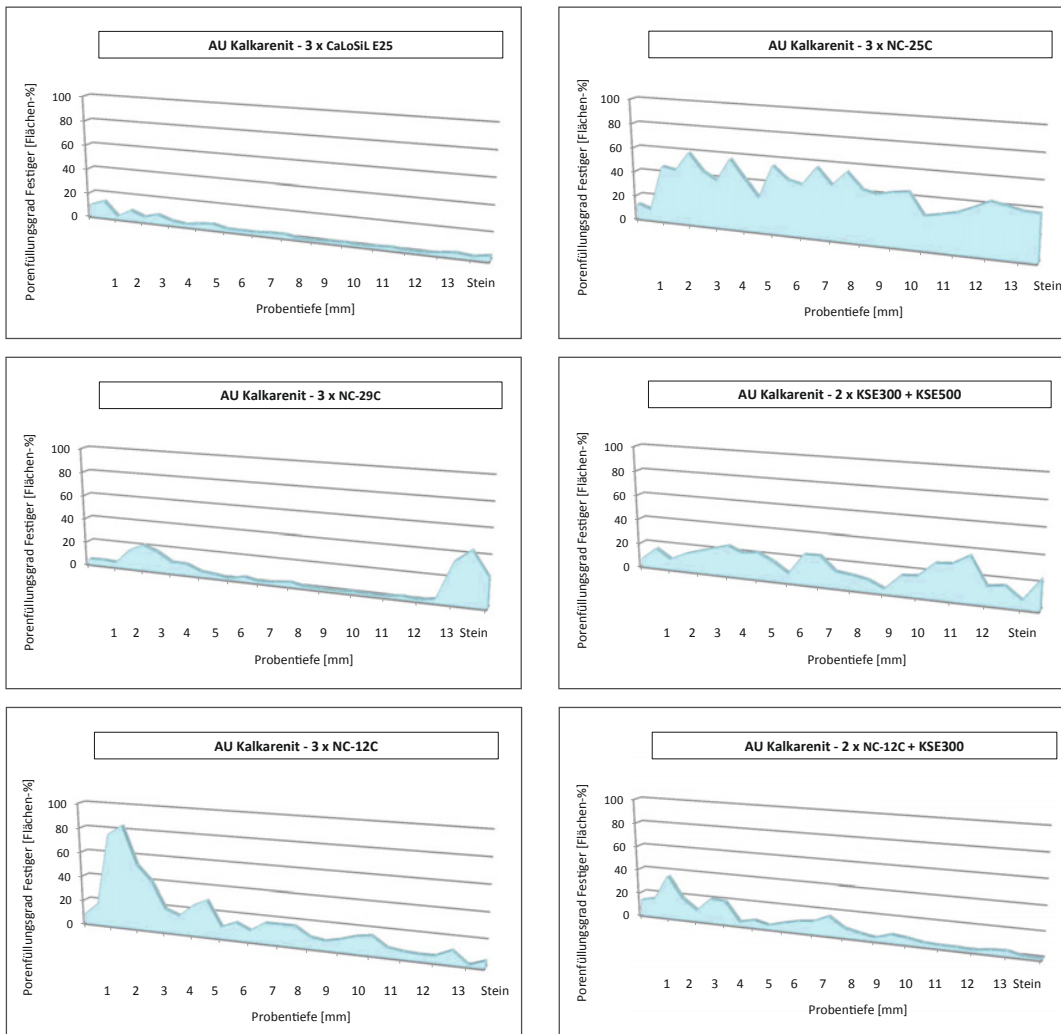
Ein wesentlicher Punkt bei der Beurteilung eines Festigungsmittels ist die Verteilung desselben im Porenraum nach erfolgter Reaktionszeit. Die visuelle Beurteilung des Eindringverhaltens der Festigerlösung ist zwar zunächst wichtig, lässt aber keinerlei Rückschlüsse auf die eigentliche Verteilung des Wirkstoffs zu.

Prinzipiell wurde die Verteilung der unterschiedlichen Festiger an allen Proben (Gesteinsprüfkörper und Prüfkörpern aus Körnungen) untersucht. Besonders gut und systematisch konnte sie jedoch an den Prüfkörpern aus Körnungen nachgewiesen werden, da hier ein größerer Porenraum (ähnlich einer natürlich stark verwitterten und aufgelockerten Oberfläche) zur Mittelaufnahme zur Verfügung stand als bei den thermisch gealterten Prüfkörpern, wobei jedoch die jeweiligen Ergebnisse für die beiden Prüfkörper-Typen stets miteinander verglichen wurden.

Bild 8

REM-Aufnahmen der Proben-Querschnitte an Prüfkörpern aus Körnungen
(Körnungen = weiß/grau, Festigungsmittel = rot, Porenraum = schwarz)



**Bild 9a–9f**

Graphische Darstellungen des Porenfüllungsgrades. Links (a–c: von oben nach unten): reine Nano-Systeme. Rechts (d–f: von oben nach unten) NC-modifizierte und herkömmliche KSE sowie Kombination von Nano-Festiger mit einem herkömmlichen KSE

An den REM-Bildern über den gesamten Querschnitt der Proben (Bild 8) sind die in Falschfarben (rot) editierten Festiger gut erkennbar. Folgende Merkmale lassen sich ableiten:

- Eine homogenere Tiefenverteilung des Festigers besteht vornehmlich bei den KSE-Systemen.
- Eine deutliche Anreicherung der Nano-Systeme kann in den oberen bzw. unteren Bereichen der Prüfkörper beobachtet werden.
- Diese Anreicherung ist stärker ausgeprägt, wenn das Nano-System (in diesem Fall Nano-Silikat) alleine appliziert wurde.
- Die Agglomeration ist bei einer nachfolgenden Festigung mit KSE reduziert.
- Insgesamt ist bei den KSE-Systemen eine vergleichsweise höhere Wirkstoffabscheidung

nachweisbar, wobei diese wiederum bei den beiden NC-Produkten deutlich höher als beim handelsüblichen KSE-System ist.

Graphisch dargestellt zeigt der aus den Falschfarben-Bildern berechnete Porenfüllungsgrad (Bilder 9a bis f), dass bei den KSE-Systemen insgesamt eine homogenere Tiefenverteilung gegeben ist, obwohl auch hier Schwankungen in der Streuung der Festigerrückstände gegeben sind. Bei den Nano-Systemen besteht hingegen eine deutliche Tendenz zur Anreicherung in den oberen bzw. unteren Bereichen der Prüfkörper. Eine leichte Reduktion dieser intensiven oberflächennahen Anreicherung beim Festigungsmittel NC-12C (Bild 9c) konnte durch die kombinierte Anwendung mit einem herkömmlichen Kieselsäureester erzielt werden (Bild 9f).

Bild 10a–10c

links: NC-12C (Nano-SiO₂ = dunkelgrau) auf Bihac Kalkstein,
Mitte: NC-29C (Nano-ZrO₂ = weiß) auf Elguea Sandstein,
rechts: CaLoSiL® (Nano-Kalk = dunkelgrau) auf Au Kalkarenit

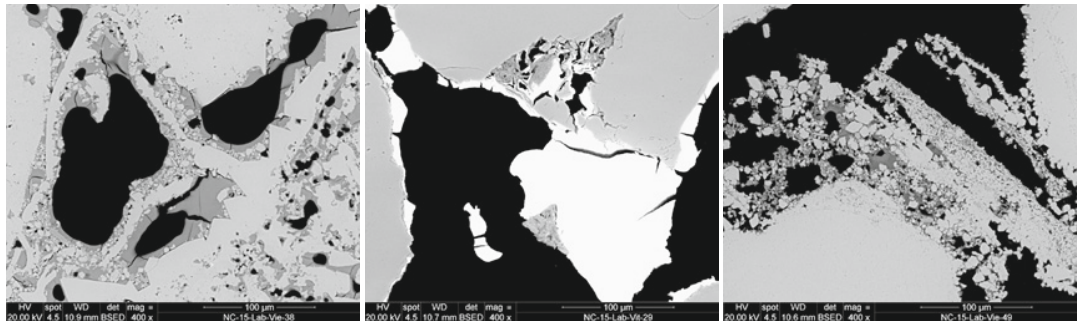


Bild 11a–11c

links: NC-25C (KSE + Nano-Ti = dunkelgrau) auf Gobertange Kalkstein, Mitte: KSE300 und KSE500E (= dunkelgrau) auf Monte Pisano Marmor, rechts: Sebosil® (Nano-Si-Dispersion = hellgrau) auf Obernkirchen Sandstein

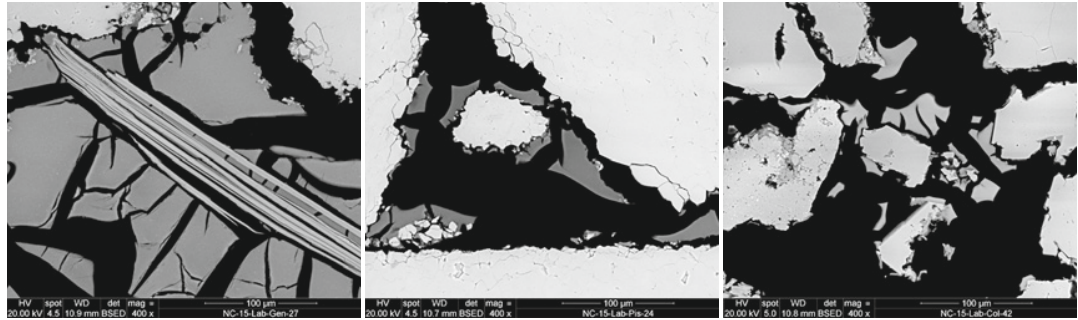


Bild 12a–12c

links: NC-12C (Nano-SiO₂ = dunkelgrau) auf Bihac Kalkstein, Mitte: NC-25C (KSE + Nano-Ti = hellgrau) auf Obernkirchen Sandstein, rechts: KSE300 und KSE500E (= dunkelgrau) auf Balegem Kalkstein

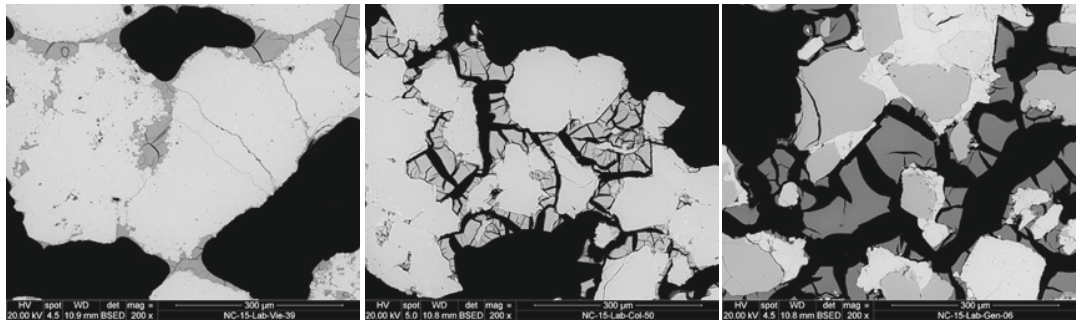


Bild 13a–13c

links: NC-12C (Nano-SiO₂ = dunkelgrau) auf Au Kalkarenit, Mitte: CaLoSiL® (Nanokalk = dunkelgrau) auf Tercé Kalkstein, rechts: NC-25C (KSE + Nano-Ti = dunkelgrau) auf Tercé Kalkstein

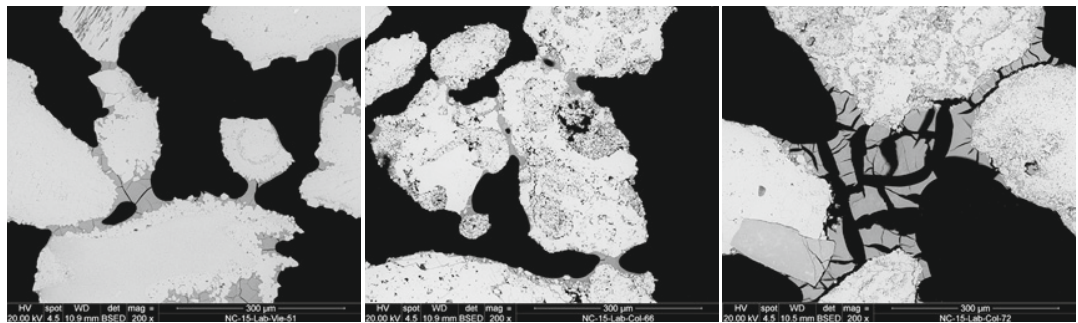
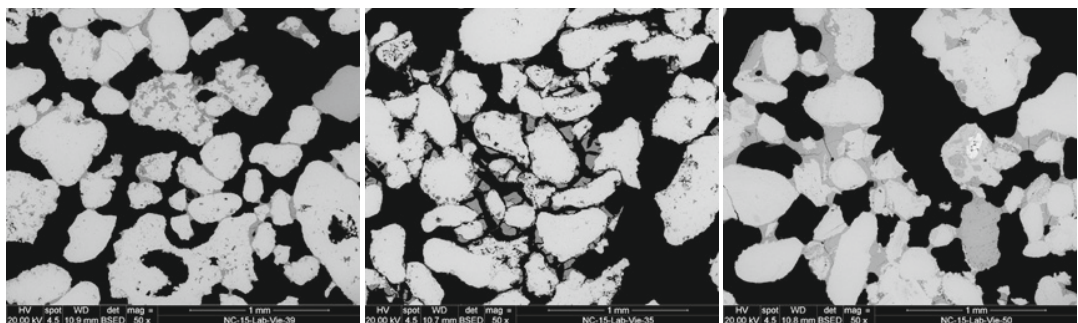


Bild 14a–14c

links: NC-12C (Nano-SiO₂ = dunkelgrau) auf Bihac Kalkstein, Mitte: KSE300 und KSE500E (= dunkelgrau) auf Bihac Kalkstein, rechts: Kombination von NC-12C und KSE300 (= dunkelgrau) auf Au Kalkarenit



4.3.2 Anbindung der Festiger an das Substrat

Signifikant gegensätzlich stellen sich die Eigenschaften der Festiger in Hinblick auf die Anbindung an die Porenwände dar. Hier zeigt sich die deutliche Tendenz einer besonders guten Anbindung (Bild 10a und 10b) der reinen Nanosysteme Nano-SiO₂ und Nano-ZrO₂, wobei ein gleichartiges Verhalten auch bereits früher bei CaLoSiL® (Nano-Kalk) nachgewiesen wurde (Bild 10c).

Im Vergleich aller gefestigten Prüfkörper konnte nachgewiesen werden, dass diese ausgeprägte Anbindung sowohl auf karbonatischen wie auch auf silikatischen Gesteinen besteht. Im Gegensatz dazu weisen die KSE-Systeme (das betrifft sowohl die projektgenerierten, mit Nano-Ti modifizierten als auch die herkömmlichen (Bilder 11a und 11b) wie auch die herkömmlichen Nano-Silikat-Dispersionen (Bild 11c) eine deutlich schwächere Anbindung an die Substrate auf. Besonders auffällig erscheint dies bei größeren Porenräumen, wobei hier zum Teil einzelne Gelplatten ohne jegliche Anbindung an die Gesteinskörnungen beobachtet werden können.

4.3.3 Schwundneigung der Festiger

Bei der Neigung zu Schwundrissen der Festigungsmittel ergibt sich wiederum ein deutlicher Unterschied zwischen Nano- und KSE-Systemen: Nano-Systeme weisen prinzipiell eine deutlich minimale Schwundneigung auf als Kieselsäureester, wobei hier NC-12C (Nano-SiO₂) die geringsten Schwundrisse zeigt (Bild 12a).

Die Annahme, dass durch Zusatz von Nano-Partikeln zu KSE-Produkten eine Minimierung der Schwundneigung erzielt werden könnte, hat sich nicht bestätigt. Bei den modifizierten Festigern (Bild 12b) konnten deutlich mehr Schwundrisse als bei den herkömmlichen Kieselsäureestern (Bild 12c) beobachtet werden.

4.3.4 Brückenbildung der Festiger

Auf Grund der schwächeren Anbindung und der stärkeren Schwundneigung ist es bei den KSE-Systemen generell kritisch, von einer „Brücken-

bildung“ zu sprechen. Hier können zwar durch Gelplatten kleinere Porenräume bis zu 50 µm überbrückt werden [vgl. auch 7], aber bei den vorliegenden Prüfkörpern aus losen Gesteinskörnungen – wie sie vergleichsweise bei sandenden Oberflächen vorkommen – konnten keine Brücken gefunden werden. Diese Eigenschaft lässt sich hingegen vornehmlich bei den Nano-Festigern und hier im speziellen bei NC-12C (Nano-Silikat) und CaLoSiL® (Nano-Kalk) beobachten (Bilder 13a bis 13c).

In beiden Fällen konnte gezeigt werden, dass durch kombinierte Anwendungen mit Nano-Systemen eine signifikante Optimierung der Eigenschaften von KSE-Systemen erzielbar ist. Durch eine erste Behandlung mit dem Nano-Festiger reduziert sich deutlich die Schrumpfnegung, die Anbindung wird verbessert und daraus folgend bilden sich auch Brücken (Bilder 14a bis 14c). Dies ist nur anwendbar auf NC-12C (Nano-Silikat) und CaLoSiL®, jedoch nicht auf NC-29C (Nano-ZrO₂).

Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

Innerhalb der Laboruntersuchungen an ausgewählten projektgenerierten und herkömmlichen Festigungsmitteln konnten mittels mikroskopischer Methoden deutliche Unterschiede zwischen Nano-Festigern und Kieselsäureestern festgestellt werden, wobei jedes System seine Vor- und Nachteile zeigt. Die Unterschiede zwischen den beiden Produktgruppen ließen sich auch durch die mechanischen und physikalischen Eigenschaften nachweisen. Hier zeigte sich in Hinblick auf den Festigkeitseffekt ein merkbarer gesteinspezifischer Unterschied, der vor allem in Zusammenhang mit den stark variierenden Porositäten steht.

Ein wesentlicher Bestandteil ist die Umsetzung der Laborergebnisse in die Praxis, welche derzeit an den beteiligten Kathedralen ausgeführt wird. Nur hier ist es möglich, die Anwendung neuer Festigungsmittel in Hinblick auf schadensspezifische Problemstellungen nachhaltig zu evaluieren.

Literatur

- [1] Lazzeri A., Coltelli M.-B., Castelvetro V., Bianchi S., Chiantore O., Lezzerini M., Niccolai L., Weber J., Rohatsch A., Gherardi F., Toniolo L. European: Project NANO-CATHEDRAL: Nanomaterials for conservation of European architectural heritage developed by research on characteristic lithotypes.- In: Science and Art: A Future for Stone. Proceedings 13th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, 6–10 Sept. 2016, Paisley: University of the West of Scotland, J. Hughes & T. Howind (Eds.), p. 847–854
- [2] Ban M., Baragona A.J., Ghaffari E., Weber J., Rohatsch A. (2016): Artificial Ageing Techniques on Various Lithotypes for Testing of Stone Consolidants. - In: Science and Art: A Future for Stone. Proceedings 13th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, 6–10 Sept. 2016, Paisley: University of the West of Scotland, J. Hughes & T. Howind (Eds.), p. 253–260
- [3] STONECORE (2008–2011), 7th FP research project EU, nr 213651, “Development and application of nano materials for consolidation and conservation of natural and artificial stone”
- [4] NANOLITH (2013–2014), M002674, European territorial cooperation, Austria – Czech Republic, „Nanomaterialien für die Konservierung von historischen Objekten aus Leithakalken“
- [5] Ghaffari E., Köberle T., Weber J. (2014): Methods of Polarising Microscopy and SEM to Assess the Performance of Nano-Lime Consolidants in Porous Solids. - In: Proceedings 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, New York, 22–26 Oct. 2012 (in press)
- [6] Valach J., Hasnikova H., Dobrzynska-Musiela M., Sobkowiak D., Galazka-Nikonov M., Ghaffari E., Krompholz R. (2011): Influence of material and consolidant type on aggregate strengthening. - In: Proceedings of the European Workshop on Cultural Heritage Preservation, Berlin, Germany, September 26 to 28, 2011, p. 267–272
- [7] Wendler et al.'s (1999) in Wheeler G. (2005): Alkoxysilanes and the Consolidation of Stone. Getty publications. Research in Conservation. Los Angeles: Getty Conservation Institute, p. 91–92


Abbildungen

Bilder 1–5 und 8–4, Tab. 1, 2: Mascha E.
Bilder 6, 7, Tab. 3: Ban M.

Die hier vorgestellten Untersuchungen wurden mit Mitteln der EU-Kommission innerhalb des Projektes Nano-Cathedral (2015–2018), Horizon 2020 nr 646178, “Nanomaterials for conservation of European architectural heritage developed by research on characteristic lithotypes” finanziert.

Historische Eisenbahnbrücken – sind diese noch zu retten?

von Ludolf Krontal, Rüdiger Burkhardt und Falk Hoffmann-Berling



Die Deutsche Bahn AG hat in ihrem Bestand eine Vielzahl historischer, zum großen Teil denkmalgeschützter Brückenbauwerke. Diese sind in vielen Fällen über 100 Jahre alt und wurden zum großen Teil aus Naturstein errichtet. Die Auswirkungen auf diese Eisenbahnbrücken haben sich aufgrund gesteigener Lasten und Geschwindigkeiten wesentlich verändert. Parallel dazu sind alters- und umweltbedingt entsprechende Schäden vorhanden. Daraus ergeben sich für den planenden Ingenieur bei der Beurteilung der Instandsetzungswürdigkeit dieser Brücken und der Planung von Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen interessante Herausforderungen.

Der Ablauf, die Konflikte und die Lösungen bei der Planung und Umsetzung der Instandsetzung der denkmalgeschützten Eisenbahnbrücke Hermann-Löns-Park in Hannover sollen vorgestellt werden.

In Deutschland wurden seit den 30er-Jahren des 19. Jahrhunderts Eisenbahnbrücken geplant und errichtet. Die meisten Eisenbahnbrücken stammen jedoch aus der Zeit des Baus der zahlreichen neuen Strecken in den Jahren vor 1900 bis 1920. Viele dieser Brücken sind auch jetzt noch unter Betrieb. Gewölbebrücken bzw. Mauerwerkbrücken aus Natur- und Ziegelsteinen aus dieser Zeit sind mit 28% Anteil am Gesamtbrückenbestand die eigentlichen Standardbrücken der Deutschen Bahn AG und bilden noch heute aufgrund ihrer Robustheit und Dauerhaftigkeit das Rückgrat des Streckennetzes in Deutschland (Bild 1).

Das Durchschnittsalter der Brücken beträgt immerhin 88 Jahre, die ältesten Bauwerke stammen sogar noch aus der Anfangszeit der Bahn von 1835. Viele Bauwerke stehen unter Denkmalschutz. Nicht wenige sind Kulturgüter von herausragender Bedeutung wie zum Beispiel die Göltzschtalbrücke im Vogtland, die Hohenzollernbrücke in Köln oder das Bahrmühlenviadukt in Chemnitz (Bild 2).

Bild 1
Ansicht Übersicht über die
Bauwerke im Schienennetz
DB AG

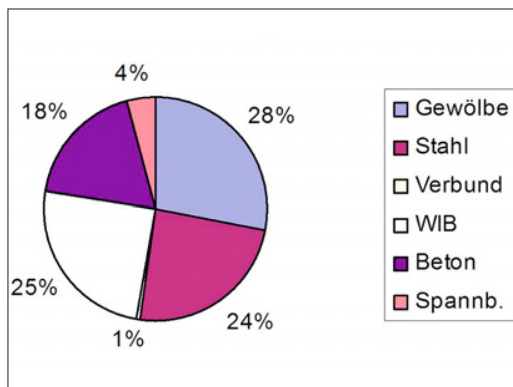


Bild 2
Bahrmühlenviadukt in Sachsen



Aber auch sehr viele kleine und unscheinbare Eisenbahnbrücken prägen ihr lokales Umfeld und ihre Existenz ist identitätsstiftend für den Ort und für das Bewusstsein vieler Menschen. Auch deshalb ist die Erhaltung der Brücken als Kulturgut eine gesellschaftliche Aufgabe.

Aus Gründen der Finanzierbarkeit, des Risikos und der Standardisierung der Planungsprozesse bei Projekten der DB AG werden denkmalgeschützte Eisenbahnbrücken in der Regel nicht rekonstruiert, sondern abgebrochen und durch Neubauten ersetzt. Auch die theoretisch nahezu unbegrenzt haltbaren Gewölbebrücken werden in aller Regel abgebrochen, wenn sich infolge defekter Abdichtung und somit jahrzehntelanger Durchfeuchtung ihr Zustand erst weit genug verschlechtert hat ([4], [8]). Bei vielen dieser Bauwerke ist eine Sanierung möglich und wäre viel kostengünstiger, dennoch wird ein Ersatzneubau geplant und der historische Bestand wird abgebrochen. Spätestens wenn bei den Denkmalschutzbehörden die Abbruchgenehmigung beantragt wird, tritt dann ein heftiger Konflikt zu Tage. Vielfach stellen sich aber auch Anwohner gegen das Verschwinden „ihrer“ Bauwerke – bei großen Objekten mit ausreichender Öffentlichkeitswirksamkeit in Form von Bürgerinitiativen. In solchen Fällen wird manchmal, nach langem Ringen doch eine Sanierung erreicht, aber das ist die große Ausnahme und beschränkt sich oft auf bedeutende Objekte wie z. B. dem Chemnitztalviadukt. Die kleinen Bauwerke haben hier keine Chance auf Erhalt. So ist der Bestand an Gewölbebrücken, die im Jahre 2011 noch die am zahlreichsten vertretene Bauart der Eisenbahnbrücken waren, auf mittlerweile 6.200 Bauwerke geschrumpft. Etwa 400 Gewölbe- und Mauerwerksbrücken sind in den letzten 10 Jahren abgebrochen worden.

Diese Fakten sind eine enorme Herausforderung für alle Fachleute, die von der Begrenztheit der natürlichen Ressourcen und von den nachhaltigen Konzepten der Erhaltung und Ertüchtigung überzeugt sind. Bereits heute gibt es Beispiele, bei denen Natursteinbrückenbauwerke vor dem Totalabbruch geschützt werden konnten, wie der denkmalgerechte Umbau der Eisenbahnbrücke Hermann-Löns-Park in Hannover (Bild 3).

1 Typische Aufgabenstellung bei Natursteineisenbahnbrücken am Beispiel Eisenbahnüberführung Hermann-Löns-Park

1.1 Ausgangssituation

Die Eisenbahnüberführung Hermann-Löns-Park liegt auf der DB-Güterzugstrecke 1750 in Hannover und wurde im Jahr 1909 errichtet. Das über 100 Jahre alte Bauwerk bestand aus zwei baugleichen eingleisigen Stahlüberbauten mit durchgehendem Schotterbett. Die Überbauten waren mit einer Stützweite von 18,00 m als genietete Vollwandträger ausgeführt und waren auf den flach gegründeten Schwergewichtswiderlagern aus Naturstein gelagert.

Das Bauwerk war aufgrund seiner Lage im Hermann-Löns-Park und durch seine prägnante Gestalt der Widerlager im eisenbahnhistorischen Kontext bedeutend und steht deshalb auch unter Denkmalschutz. Besonders hervorzuheben ist das geschlossene Bild der Flügel und Pylone aus Sandstein und die Widerlager mit den Keramikklinkerverblendungen. Die Pylone haben kräftige Proportionen und sind mit zahlreichen floralen Bildmotiven ausgestattet (Bild 3). Die beiden genieteten Stahlüberbauten verdeutlichen eine typische Bauart um 1900, klar strukturiert und durch den leichten Stich des Untergurtes ergibt sich ein homogenes Bild.



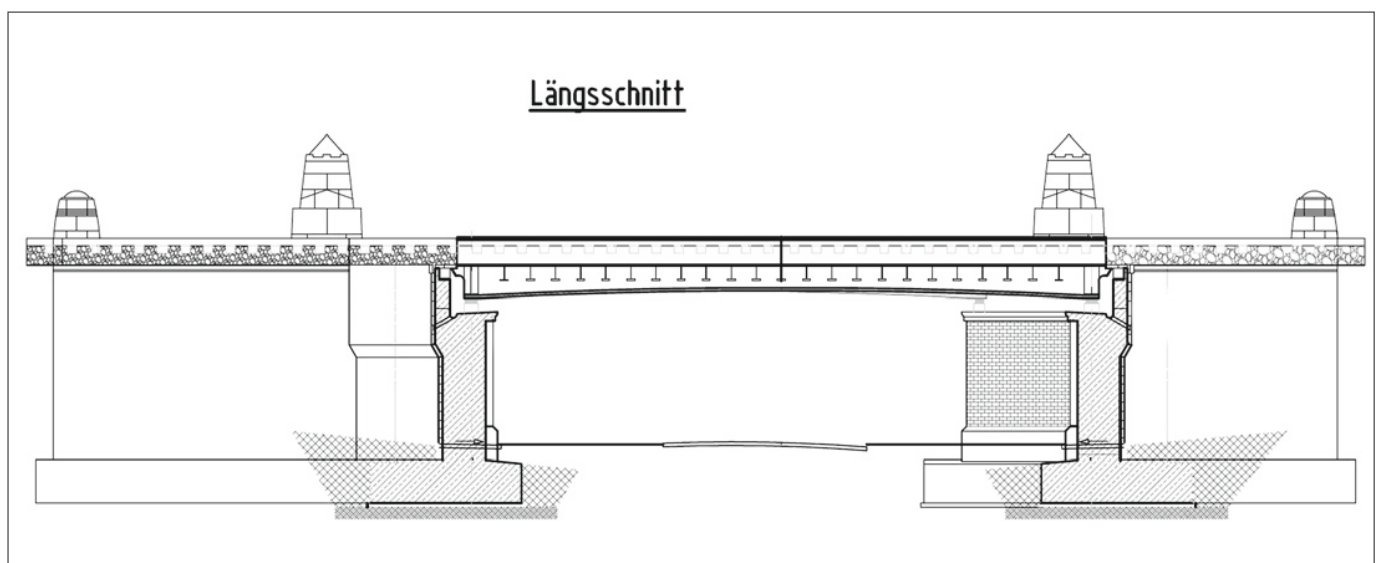
1.2 Planungsansätze

Die DB Netz AG hat ursprünglich einen Abbruch und für die Erneuerung des Bauwerkes eine anschließende neue Sandsteinverblendung geplant (Bild 4). Für das bestehende Brückenbauwerk wurde ein Antrag auf Abbruch nach § 10 des niedersächsischen Denkmalschutzgesetzes zur Genehmigung eingereicht.

Aufgrund der besonderen Lage im Hermann-Löns-Park und des denkmalpflegerischen Wertes des Bauwerkes wurde dem Abbruch seitens der Unteren Denkmalbehörde nicht zugestimmt. Es bestand die Aufgabe, so viel wie möglich von der Bausubstanz der Überbauten, der Widerlager, der Natursteinflügel und der gestaltungsprägenden Pylone zu erhalten. Aus diesem Grund wurde das

Bild 3
Ansicht Eisenbahnbrücke Hermann-Löns-Park vor dem Umbau

Bild 4
Darstellung des nicht genehmigten Ersatzneubaus EÜ Hermann-Löns-Park [DB AG]



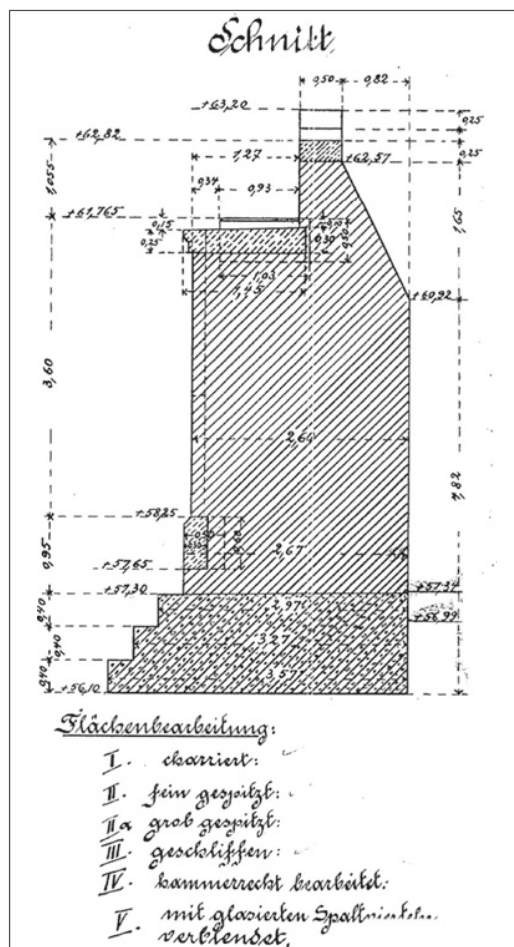
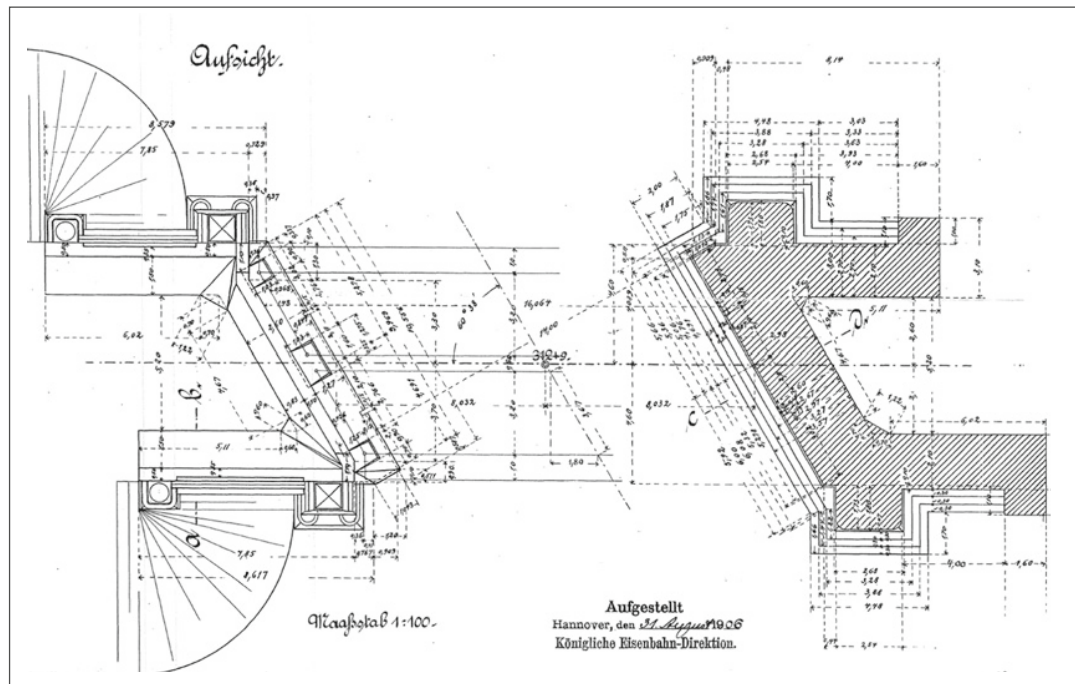


Bild 5a+b

Auszug Bestandsplan 1906.
Aufsicht und Schnitt durch das
Widerlager [DB AG]

Bauwerk einer detaillierten Schadensaufnahme und einer Bewertung des Bestands durch das Ingenieurbüro Marx Krontal Hannover unterzogen.

1.3 Bestand Überbauten

Nach einer über 100-jährigen Nutzung wiesen die Überbauten gemäß Prüfbefund der DB Netz AG sowie einem Gutachten zum Zustand der Stahlüberbauten stellenweise sehr starke Schäden auf.

Die Strecke 1750 ist als Güterzugstrecke mit hohen Verkehrslasten beansprucht und muss zukünftig rechnerisch 21% höhere Lasten als bisher im Gebrauchslastniveau ertragen.

Für die Prüfung der Erhaltungsfähigkeit der Brücke wurde eine detaillierte Schadensaufnahme und Nachrechnung der Überbauten durchgeführt. Dabei ist festgestellt worden, dass für eine Instandsetzung und Ertüchtigung die Überbauten zwangsläufig hätten völlig demontiert werden müssen, was den Verlust großer Anteile der vorhandenen Konstruktion bedeutet hätte. Es wurde in Abstimmung mit der Unteren Denkmalbehörde der Landeshauptstadt Hannover festgelegt, dass die Überbauten in der ursprünglichen Gestalt als Schweißkonstruktion erneuert werden sollen.



Bild 6
Beispiel für typische Schäden an den Pylonen



Bild 7
Beispiel für typische Schäden im Bereich der Widerlager

1.4 Bestand Unterbauten

Die Flügel und teilweise die Widerlager waren als zweischaliges Natursteinmauerwerk aus Sandstein mit unterschiedlichen Formaten und Oberflächen aufgebaut. Aufgrund der Schrägstellung des Bauwerkes im Grundriss sind die Widerlager mit je einer spitzen und einer stumpfen Ecke gebildet, die durch vorspringende prägnante Eckpylone zusätzlich betont werden. Am Flügelende bilden brusthohe Endpylone den Bauwerksabschluss (Bilder 5a+b).

Das äußere Natursteinmauerwerk der Vorderseite, der Flügel sowie der Auflagerbänke und Kammermauern war stark verwittert mit offenen Fugen, stellenweise Ausbrüchen und Fehlstellen. Das Mauerwerk der Pylone wies ebenfalls offene Fugen auf (Bild 6). Die Widerlager und Flügel waren sehr robust und aus einer äußeren Natursteinverblendung mit einem relativ homogenen Kern aus Bruchsteinmauerwerk aufgebaut (Bild 7).

Die Oberflächen der Mittelwände der Widerlager waren mit kleinformatigen glasierten Klinkern verkleidet (Bild 8), die ebenfalls durch offene Fugen, Risse, Ausbrüche und Hohllagen starke Schädigung aufwiesen. Neben den Umwelteinwirkungen war eine der wesentlichen Ursachen für die erheblichen Schäden an den Unterbauten die nicht mehr funktionierende Bauwerksentwässerung – das Oberflächenwasser aus dem Überbau konnte ungehindert in die Bestandskonstruktion eindringen (Bild 8).

Im Vorfeld zur Entwurfsplanung wurden neben den Untersuchungen am oberirdischen Bauwerksbereich auch Erkundungen an den Flachgründungen durchgeführt. Bauzeitlich typisch sind dabei

die Fundamente in Widerlager und Flügel als abgetreppte unbewehrte Stampfbetongründungen mit groben Zuschlägen und teilweise starken Hohlraumanteilen erkundet worden. Bereichsweise wurden in der Gründungssohle große Fehlstellen oder bindemittelarme Betone erkundet.

Die Nachrechnung der Unterbauten ergab keine ausreichende Dimensionierung der Widerlager für die angestrebte Lasterhöhung der DB Netz AG. Nach Auswertung entsprechender Bauwerkszustandsuntersuchungen und Nachrechnung der Widerlager wurde seitens der DB Netz AG festgelegt, dass die Fundamente im Bereich der Widerlager nicht weiterverwendet werden. Für die Flügelfundamente wurde ein Sanierungskonzept mit Verpressung der Fehlstellen und Hohlräume geplant.

Die Randwege auf den Flügeln waren für die derzeitigen Anforderungen zu schmal und lagen teilweise im Gefahrenbereich bzw. Lichtraumprofil der Gleise.

Bild 8
Ansicht Widerlager



1.5 Konzept zum Erhalt der Unterbauten

Auf Grundlage weiterer Untersuchungen zum Bestand und zum Zustand der Brücke war ein Alternativkonzept zu erarbeiten, welches bei weitestgehendem Erhalt der Flügel und Pylone und dem Neubau der Widerlager unter Berücksichtigung der denkmalpflegerischen Vorgaben zustimmungsfähig war.

Aufgrund der denkmalrechtlichen Anforderungen für das Bauwerk waren wesentliche Teile der Unterbauten im Bestand zu erhalten. Im Zuge eines intensiven Abstimmungsprozesses zwischen der Landeshauptstadt Hannover und der DB AG wurde folgende Vorgehensweise festgelegt:

1. Die Flügel bleiben in der Bestandslage erhalten. Zurückzubauende Bauteile werden möglichst mit Bestandsmaterial wiederaufgebaut.
2. Die Fundamente der Flügel sind mittels Injektionen mit mineralischen Mörteln zu ertüchtigen.
3. Die Widerlager (Auflagerbank, Widerlager, Fundamente) werden aufgrund der sehr schlechten Festigkeitseigenschaften der Betonfundamente

mente von den Flügeln freigeschnitten, schonend zurückgebaut und in Stahlbeton erneuert.

4. Die Pylone werden aufgrund der zu dichten Abstände zum Gleis bis auf eine definierte Höhe schonend zurückgebaut und mit einer angepassten Geometrie wieder aufgesetzt.
5. Die Natursteine der Widerlager, Pylone und Flügel werden schonend zurückgebaut und unter Werkstattbedingungen zum Wiedereinbau vorbereitet.
6. Ergänzende Bauteile wie z.B. Kammerwand, Flügelabdeckungen und Flügelverlängerung werden aus Stahlbetonfertigteilen mit durchgefärbtem Beton nach Bemusterung hergestellt.
7. Die Schädigungen an der ursprünglichen Klinkerverblendung sind zu massiv, sie werden vollständig durch Neumaterial nach historischem Vorbild ersetzt (Bilder 9 und 10).

1.6 Besonderheiten für das DB-Projekt

Das Projekt wies zahlreiche Besonderheiten auf, welche die DB Netz AG, die Baufirma und den Natursteinfachbetrieb vor neue Aufgaben stellten.

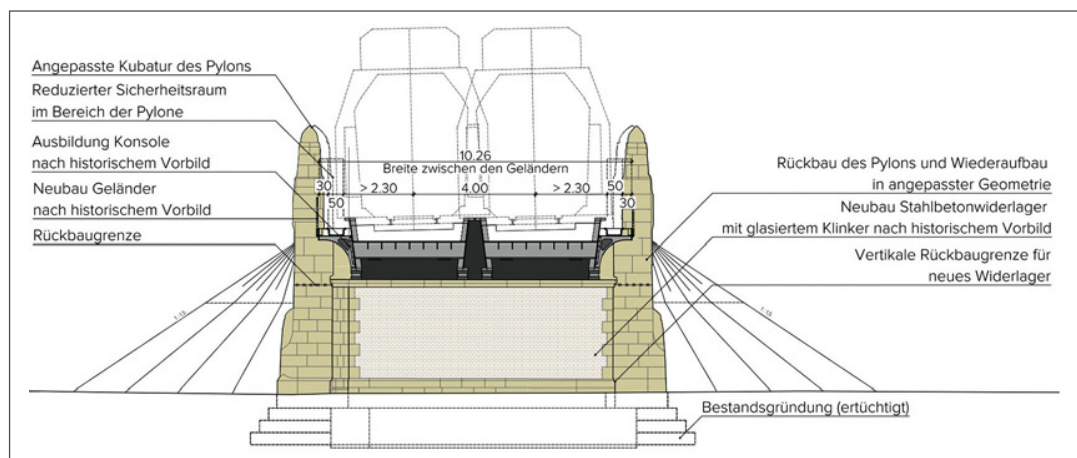


Bild 9
Querschnitt mit Darstellung der umgesetzten Maßnahmen

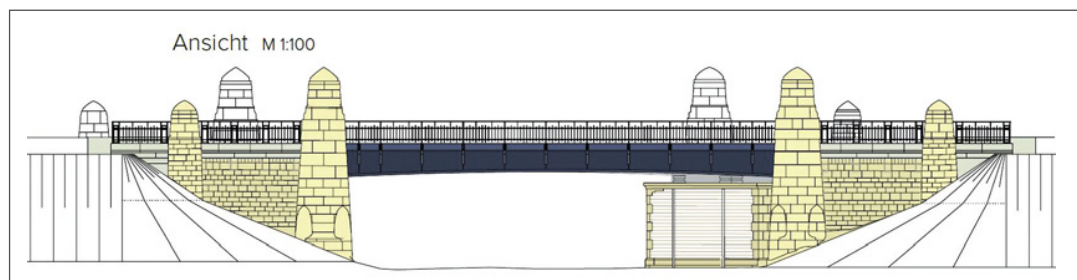


Bild 10
Ansicht der Sanierungsplanung

Der Umgang mit historischer, denkmalgeschützter Bausubstanz ist bei der DB AG oft geprägt von fehlenden Kenntnissen und dem Wunsch, mit Ersatzneubauten auf längere Sicht weniger Instandhaltungsaufwendungen zu haben.

Aufgrund der Konstellation bei der Eisenbahnbrücke Hermann-Löns-Park war die DB AG zu Kompromissen bereit, mit denen große Teile der Unterbauten und die Geometrie des Bauwerkes weitestgehend erhalten bleiben konnten.

Für die geplante Lösung waren zahlreiche bahninterne Abstimmungen und Genehmigungen erforderlich. Beispielsweise konnte aufgrund der Bestandsgeometrie der durchgängig geforderte Randweg von 0,80 m nicht vollständig umgesetzt werden. Im Bereich der Pylone musste dieser auf 0,50 m reduziert werden. Dieser Kompromiss ist bei Ersatzneubauten undenkbar und war nur für das Bestandsbauwerk mit zahlreichen Abstimmungen möglich.

Innerhalb der Entwurfs- und Ausschreibungsplanung wurde mit einem sehr detaillierten Leistungsbild für die Natursteinarbeiten geplant, welches beim Neubau oder Ersatzneubau nicht nötig ist. Neben der üblichen Objekt- und Tragwerksplanung für Eisenbahnbrücken hat sich herausgestellt, dass für derartige Projekte konsequent eine parallel laufende Fachplanung Naturstein durch den Auftraggeber installiert werden sollte. Mit der durchgängigen Beauftragung der Fachplanung Naturstein im Entwurf, der Ausschreibung und der baubegleitenden Fachberatung konnte die Qualität der Arbeiten an der Eisenbahnbrücke Hermann-Löns-Park sichergestellt werden.

Projektübergreifend wurde ein methodischer Ablauf für die Planung erarbeitet, der für vergleichbare Eisenbahnbrücken empfohlen wird (Bild 11).

Da im Regelwerk der DB AG [16] [17] Instandsetzungen von Natursteinbrücken nicht enthalten sind, musste auf entsprechende WTA-Merkblätter zurückgegriffen werden [10–15].

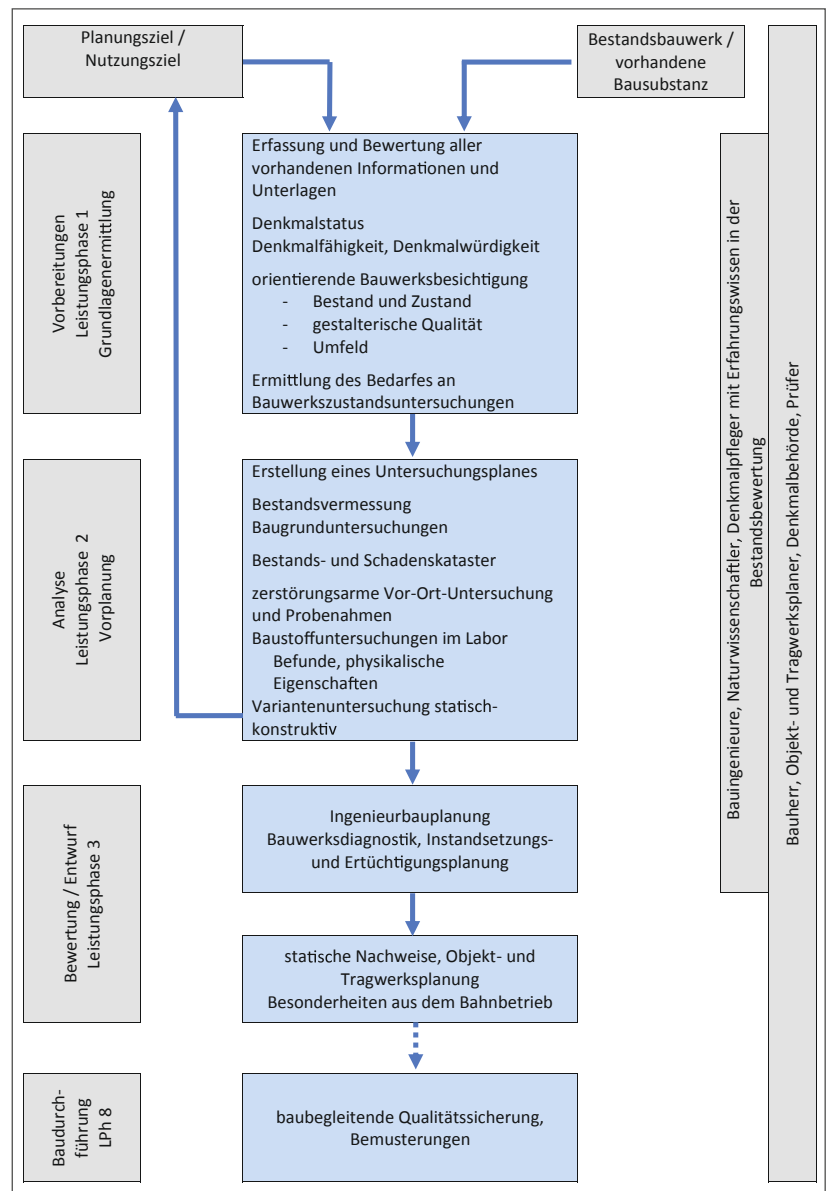
Für die Natursteinfachfirma gab es ebenfalls zahlreichen neue Erfahrungen im Umgang mit der historischen Bausubstanz bei Eisenbahnbrücken und dem „Bauen unter dem rollenden Rad“. Gerade das Bauen unter Bahnbetrieb und das Arbeiten in den

zeitlich sehr begrenzten Sperrpausen erfordert eine detaillierte Planung der einzelnen Arbeitsschritte und einen Reserveplan für unvorhergesehene Dinge beim Bauen im Bestand.

2 Baubegleitende Fachberatung – BQS

Bei Brückenbauprojekten der DB Netz AG erfolgt die Bauausführung durch ein im Ingenieurbau DB-präqualifiziertes Bauunternehmen, welches in der Regel wenig Erfahrung im Umgang mit historischer

Bild 11
methodischer Planungsablauf
Bestandsbrücken



Bausubstanz und der Sanierung hat. Die Baufirma wird in der Baudurchführung durch eine Bauüberwachung der DB AG begleitet.

Da die Arbeiten an der Eisenbahnüberführung Hermann-Löns-Park aber in vielen Punkten Besonderheiten aufwiesen, die im üblichen Ingenieurbau nicht alltäglich sind, wurde zur Unterstützung der Bauüberwachung eine Fachberatung für die Natursteininstandsetzung und die denkmalrechtlichen Belange eingesetzt. Ziel war es, die besonderen Aspekte des Natursteins im Sinne einer baubegleitenden Qualitätssicherung (BQS) in den gewohnten Prozess aus Bauüberwachung und der Tätigkeit der ausführenden Brückenbauunternehmen zu integrieren. Diese Fachbauüberwachung war für die DB AG neu. Sie hat sich in der Umsetzung des Projektes bewährt.

Im Rahmen der Ausschreibungsplanung und Vergabe sind weiterhin Kriterien zur Auswahl geeigneter Fachfirmen für die Natursteinarbeiten definiert worden. Durch die Forderung von aktuellen, vergleichbaren Referenzen an denkmalgeschützten Bauwerken in der Natursteininstandsetzung und den Nachweis der Fachkunde bzw. qualifizierten Personals (Steinrestaurator in der Denkmalpflege) war es für die ausführende Brückenbaufirma erforderlich, einen Natursteinfachbetrieb zu binden.

Alle fachtechnischen Belange der Natursteininstandsetzung sind durch den Fachbetrieb mit der Fachberatung Naturstein im Rahmen der BQS geklärt und abgestimmt worden. Angelehnt an die statisch-konstruktive Prüfung wurde zusätzlich die Ausführungsplanung der Natursteininstandsetzung durch einen Fachprüfer/Fachgutachter Naturstein fachlich geprüft. Bei wesentlichen Schritten zum Beispiel der Oberflächenbemusterung und Steinauswahl wurde die Denkmalbehörde einbezogen.

Die Besonderheit in der Bauausführung der Eisenbahnüberführung Hermann-Löns-Park bestand darin, dass ein Großteil des Bestandsbauwerkes für die geplanten Ertüchtigungs- und Instandsetzungsmaßnahmen schonend zurückgebaut werden musste. Der gesamte Bauablauf gliederte sich in drei wesentliche Phasen:

- vorbereitende Arbeiten vor dem Einbau der Hilfsbrücken (Teiltrückbau der Pylone)
- Arbeiten am Bauwerk unter den Hilfsbrücken (Freischneiden und Rückbau der Widerlager)
- abschließende Arbeiten nach dem Ausbau der Hilfsbrücken und dem Einbau der neuen Stahlüberbauten (Wiederherstellung des Endzustandes).

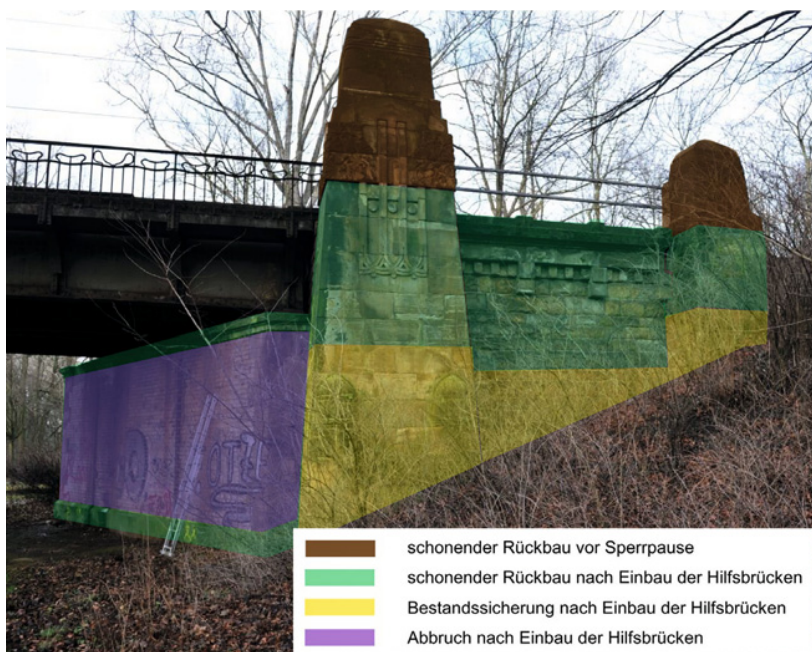
In der ersten Bauphase waren alle Arbeiten auszuführen, die den Ausbau der alten Stahlüberbauten vorbereiten (Bild 12). Zur Sicherstellung des Bahnverkehrs bis zum Einbau der neuen Stahlüberbauten sind temporäre Konstruktionen, sogenannte Hilfsbrücken eingesetzt worden. Unterhalb dieser Hilfsbrücken erfolgten der Rückbau der alten Widerlager und der anschließende Aufbau der neuen Stahlbetonwiderlager. Der Ein- und spätere Ausbau der Hilfsbrücken wurde während lange im Voraus geplanter und terminierter Streckensperrungen, sogenannten Sperrpausen durchgeführt.

Im Rahmen der Entwurfsplanung ist auf Grundlage der Bauwerkszustandsuntersuchung ein Rückbau- und Instandsetzungskonzept für die Natursteinarbeiten erarbeitet worden. Die wesentlichen Arbeitsschritte des darin geplanten Bauablaufes waren:

- schonender Rückbau vor dem Einbau der Hilfsbrücken sowie Transport und Lagerung der

Bild 12

Auszug aus Instandsetzungskonzept; Darstellung einzelner Phasen des Bauablaufes



Natursteine in der Werkstatt des Fachbetriebes

- Fortsetzung des schonenden Rückbaus nach Einbau der Hilfsbrücken
- Sicherung des verbleibenden Bestandes
- Provisorischer Wiederaufbau der Pylone und Bemusterung der Instandsetzungsschritte unter Werkstattbedingungen
- Restaurierung des Natursteinmaterials der Pylone in der Werkstatt
- Zuschnitt am Naturstein zur Verblendung des neuen Stahlbetonwiderlagers und der Flügelwände
- Wiederaufbau durch Verblendung des Stahlbetonwiderlagers und -flügelwände
- Wiederherstellung der Natursteinpylone
- abschließende Restaurierung des zuvor gesicherten Bestandes.

2.1 Rückbau und Kartierung

Auf Grundlage des Rückbau- und Instandsetzungskonzepts wurde vom ausführenden Natursteinfachbetrieb eine detaillierte Rückbau- und Instandsetzungsplanung erarbeitet. Dabei waren die Besonderheiten für Arbeiten im Gefahrenbereich von Bahngleisen und die damit verbundenen hohen Sicherheitsanforderungen zu berücksichtigen. Während der gesamten Bauzeit befand sich die Strecke unter Betrieb und das Brückenbauwerk bzw. die späteren Hilfsbrücken wurden durch Eisenbahnverkehr befahren.

Nach erfolgter Gerüststellung und vor Beginn der Rückbauarbeiten ist aufbauend auf die Schadensgrobkartierung eine denkmalgerechte Dokumentation sowie eine detaillierte Schadenskartierung erstellt worden (Bild 13). Es wurde eine reversible

Bild 13
Schadensgrobkartierung (links)
und Schadens- und Maß-
nahmenkartierung (rechts)

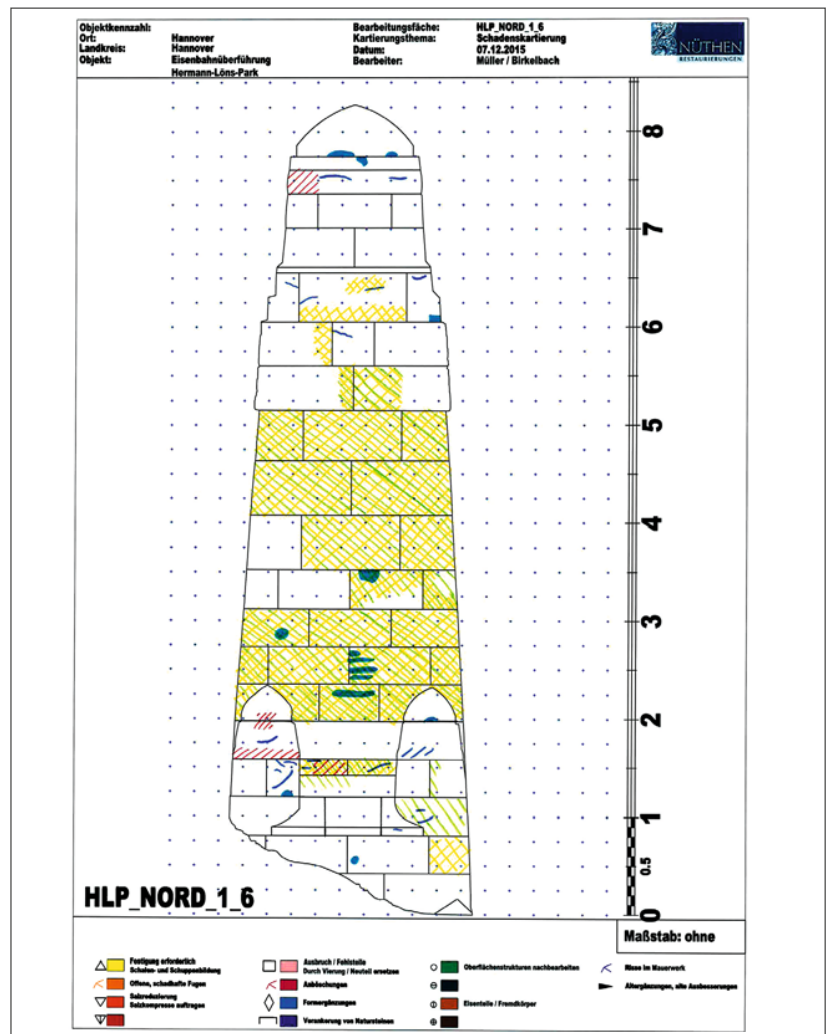
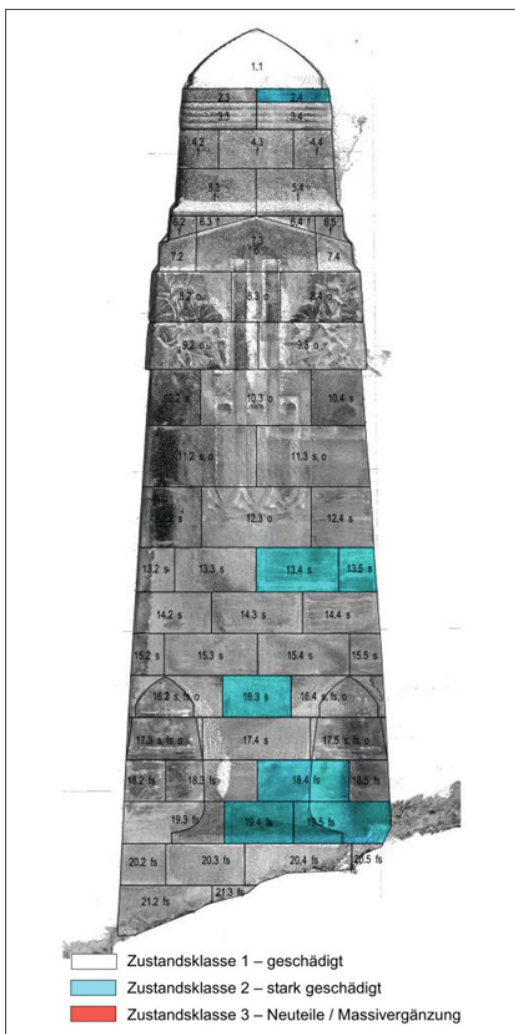


Bild 14a+b

Rückbauarbeiten der Pylone
im Gefahrenbereich der
Bahngleise



Bild 15a+b

Schutz des Bestandes für den
Einbau der Hilfsbrücken (links);
Abschluss der Rückbauarbeiten
(rechts)



Codierung im nicht sichtbaren Bereich im Zuge des Rückbaus an den Natursteinblöcken angebracht, um eine spätere eindeutige Zuordnung sicherzustellen.

Begonnen wurde mit dem Rückbau der Pylone. Für die vorlaufenden Arbeiten vor dem Hilfsbrückeneinbau standen zeitlich sehr begrenzte Sperrpausen zur Verfügung, die nicht geeignet waren, einen schonenden Rückbau zu garantieren. Daher wurde vor dem Einbau der Hilfsbrücken der obere Teil der insgesamt acht Pylone unter laufendem Eisenbahnbetrieb zurückgebaut. Für den Natursteinfachbetrieb war diese Art zu arbeiten neu und hat eine intensive Planung und Abstimmung mit den DB-Stellen erfordert. Sämtliche gleisnahen Arbeiten fanden unter Aufsicht eines Sicherungspostens statt (Bild 14).

Durch das Einschneiden der Fugen und Befestigen von Anschlagpunkten konnten die Natursteinblöcke gelöst und ausgehoben werden. Im Zuge des Rückbaus der Pylone wurde ein innerer Ver-

gusskern mit hoher Betonfestigkeit vorgefunden, der die Arbeit zusätzlich erschwerte.

Der verbleibende Bestand musste temporär geschützt werden, um eine Beschädigung durch die Arbeiten während der Sperrpause auszuschließen (Bild 15). Durch vordefinierte Trennschnitte konnte der zu erhaltende und später schonend zurückzubauende Bestand von den Abbruchbereichen getrennt werden.

Nach dem Einbau der Hilfsbrücken ist der schonende Rückbau bis zur definierten Rückbaugrenze fortgesetzt worden. Der untere Teil der Flügelwände und der Pylonbasis wurden nicht zurückgebaut. Die Bestandsgeometrie der Unterbauten (Widerlager und Flügelwände) blieb unverändert und entspricht dem historischen Bestand. Zwischen den ertüchtigten Gründungen der Flügelwände wurden die neuen Widerlagerkonstruktionen aus Stahlbeton errichtet. Anschließend wurde das unter Werkstattbedingungen restaurierte Natursteinmaterial wieder eingebaut.

2.2 Bemusterung

Nach dem Abschluss der Rückbauarbeiten und dem Transport des Natursteinmaterials in die Werkstatt des Fachbetriebes sind wichtige Arbeitsschritte bei der Natursteininstandsetzung bemustert worden.

Zunächst wurde das gesicherte Natursteinmaterial gesichtet und bewertet (Bild 16). Es konnte festgestellt werden, dass auch unter den erschwerten Bedingungen und den baubegleitend vorgefundenen Bauwerkszuständen (Betonkern der Pylone) ein gutes Rückbauergebnis erreicht wurde. Durch den schonenden Rückbau gestaltprägender Teile und der Codierung vor dem Transport in die Werkstatt war eine eindeutige Zuordnung der Bauteile und ein Wiederaufbau der Pylone und Gesimse mit originalen Bauteilen nahezu durchgängig möglich. Zur Optimierung des späteren Wiederaufbaus und zur konkreten Maßnahmenfestlegung wurden die Pylone temporär in der Werkstatt aufgebaut (Bild 17a). Der Zustand des zurückgebauten Natursteinmaterials der Flügelwände war typisch für das Alter und die Einwirkungen. Eine Instandsetzung und Wiederherstellung der Dauerhaftigkeit war möglich.

Die Ausführung wichtiger Instandsetzungsschritte an den Natursteinen unter Werkstattbedingungen ermöglichte eine Verlagerung der zeitkritischen Prozesse in die Vorfertigung. Das war eine entscheidende Voraussetzung für die Qualität, die Optimierung der Bauzeit und die Minimierung der Risiken beim Wiederaufbau der Natursteinpylone neben den befahrenen Gleisen.

In der Werkstatt wurden Muster zur Reinigung, zum Steinersatz und zur Steingergänzung ausgeführt. Die Besonderheiten bei der Reinigung bestanden darin, dass der Bestand sehr unterschiedliche Zustände und Verschmutzungen aufwies. So waren die Rückseiten der Pylone (die dem Gleis zugewandten Seiten) durch die jahrzehntelange Einwirkung aus dem Eisenbahnverkehr wesentlich stärker mit flächigen poreschließenden Krusten belegt als die Vorderseiten. Die Reinigungsziele von der Beseitigung bzw. dem Aufdünnen poreschließender Krusten und der Herstellung einer Gleichmäßigkeit der Natursteinoberflächen konnten erfolgreich bemustert werden (Bild 17b).



Die Bemusterung eines geeigneten Ersatzmaterials für Vierungen und Massivergänzungen sowie das Anlegen von Musterflächen zur Steingergänzung und Verfugung waren für den in der Denkmalpflege erfahrenen Natursteinfachbetrieb ein gewohnter Prozess. Die vorgestellten Musterflächen entsprachen technisch und handwerklich den Anforderungen der Fachplanung sowie den Forderungen an einen denkmalgerechten Umgang mit Bestandsmaterial. Im Ergebnis der Werkstattbemusterung konnten für die Instandsetzung geeignete Materialien und Verarbeitungstechniken festgelegt werden.

Am Bauwerk wurde eine Bemusterung zur weiteren Gestaltung des Brückenbauwerkes durchgeführt. Auf Grundlage des ausgewählten Ersatzmaterials für den Sandstein sind für die sichtbaren Betonfertigteile im oberen Bereich der Flügelwände ein Farbton und eine Oberflächenstruktur abgeleitet worden. Zur Auswahl eines geeigneten Ersatzmaterials für den Spaltklinker zur Verblendung der Widerlager erfolgte der Vergleich der Muster mit einer Rückstellprobe aus dem Bestand. Die Farbgestaltung des Stahlüberbaus erhielt ebenfalls eine Sonderausführung. In Anlehnung an den historischen Bestand wurde ein graphitgrauer RAL-Farbtönen ausgewählt und nicht die bei Neubauten von Eisenbahnbrücken übliche Farbgestaltung in Eisenglimmer Farbtönen verwendet (Bilder 18a+b).

Der im Ingenieurbau der DB Netz AG unübliche detaillierte Bemusterungsprozess war rückblickend

Bild 16
Lagerung des zurückgebauten
Natursteinmaterials



Bild 17a+b
provisorischer Wiederaufbau
der Pylone (links) und
Bemusterung der Reinigung

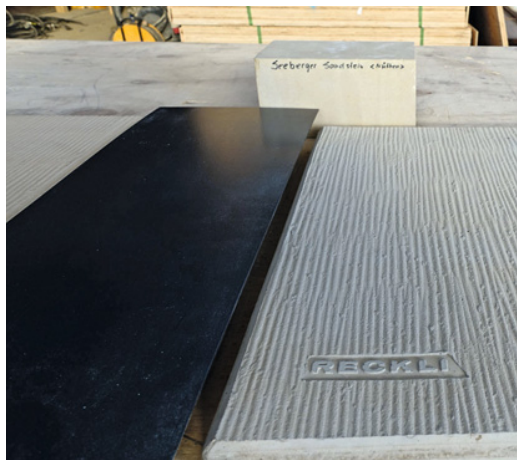


Bild 18a+b
Bemusterung zur Bauwerks-
gestaltung; Farbton Stahlüber-
bau, Ersatzmaterial Sandstein
und durchgefärbter Beton
(links) sowie Ersatzmaterial
Spaltklinker (rechts)



ein entscheidender Faktor zur Sicherung der Ausführungsqualität sowohl für die einzelnen Arbeitsschritte der Natursteininstandsetzung als auch für die Gestaltung des gesamten Brückenbauwerkes.

2.3 Bauzustände und Abnahme

Aufbauend auf die Bemusterungsergebnisse ist die Ausführungs- und Werkstattplanung für die Natur-

steinarbeiten erarbeitet worden. Neben den Steinversetzplänen war insbesondere die erforderliche Geometrieanpassung der Pylone im Detail zu planen. Ein Ziel der Detailplanung war die Reduzierung der Pylonbreite durch Anpassungsschnitte in den Fugen der Pylonschmalseiten mit möglichst geringen Auswirkungen auf die Bildhaftigkeit der Ornamentbänder.

Die Werkplanung Naturstein musste des Weiteren Aspekte der Bautechnologie, den geplanten Bau-

ablauf und den statischen Nachweis berücksichtigen und wurde aus fachtechnischer Sicht im Detail durch den Fachprüfer Naturstein geprüft und zur Ausführung bestätigt.

Zusätzlich zu der Prüfung der Werkplanung und den Vor-Ort-Terminen auf der Brückenbaustelle wurde ein weiterer Termin nach Abschluss der Natursteininstandsetzungsarbeiten in der Werkstatt durchgeführt. Mit der Abnahme der aufgearbeiteten Natursteinteile sowie der Bestätigung der Übereinstimmung mit der Fachplanung und den baubegleitenden Festlegungen wurde die Lieferfreigabe erteilt. Ziel war es, eine Lieferfreigabe in Anlehnung an die Prüfung vorgefertigter Stahlbauteile zu erstellen. So konnten die im Stahlbrückenbau für die DB Netz AG und das ausführende Brückenbauunternehmen gewohnten Abstimmungs- und Freigabeprozesse auf die Natursteininstandsetzung übertragen werden. Die Ausführung von umfangreichen Instandsetzungsarbeiten nach dem Versetzen der Natursteinblöcke im Gefahrenbereich der Bahngleise konnte aufgrund der vorlaufenden Werkstattarbeiten weitestgehend reduziert werden. Die Arbeitsschritte zur Natursteininstandsetzung wurden planmäßig durch den Fachbetrieb und im Rahmen der BQS dokumentiert. Die Abnahme der Instandsetzungsleistungen erfolgte gemeinsam mit der Bauüberwachung DB Netz AG und der BQS (Bilder 19 und 20).

3 Ausblick

Historische Eisenbahnbrücken sind in vielen Fällen stadt- bzw. landschaftsprägende Bauwerke. Sie sind erhaltungswürdige Zeugnisse zurückliegender Ingenieurbaukunst. Gleichzeitig stellen sie auch einen gewichtigen wirtschaftlichen Wert dar. Dieser Zusammenhang unterstreicht die berechtigte Forderung nach einem respektvollen Umgang bei den Variantenuntersuchungen und den Entscheidungen zur Weiternutzung.

Am Beispiel der EÜ Hermann-Löns-Park in Hannover wurden die Möglichkeiten und die Anpassungsfähigkeit historischer Brückenkonstruktionen an die Anforderung für die Nutzung und die Funktionalität nachgewiesen.



Bild 19
Detail der abgeschlossenen Natursteinarbeiten

Bild 20
Bauzustand kurz vor Abschluss der Arbeiten Januar 2018

Wichtige Voraussetzung für das Gelingen dieser Projekte ist eine durchgehende Mitwirkung von Fachleuten mit Erfahrungswissen auf dem Gebiet der Bestandsbewertung von der Erfassung der Bauwerkszustände über die Planung und Ausführung bis zur baubegleitenden Qualitätssicherung. An der Eisenbahnbrücke Hermann-Löns-Park war das Fachwissen auf dem Gebiet der Natursteininstandsetzung und Natursteinrestauration auf Seiten der Planer, der Ausführenden und der Bauüberwachung wesentlich für den Projekterfolg.

Die Aktualität der vorgestellten Thematik wird zusätzlich in einem durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekt zur „Entwicklung

eines Leitfadens zur denkmalgerechten Instandsetzung und Instandhaltung umweltgeschädigter historischer Eisenbahnbrücken“ unterstrichen. In diesem Projekt soll die allgemein gültige Methodik bei der Bestandsbewertung beim Planen, Instandsetzen bzw. Ertüchtigen von historischen Eisenbahnbrücken durch die Auswertung mehrerer Brückenbauprojekte erarbeitet werden. Geplant ist, die Projektergebnisse dazu Anfang 2019 der Fachöffentlichkeit vorzustellen.

Literatur

- [1] „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; 2016
- [2] „Historische Brückenkonstruktionen“; Technische Bauwerke der Eisenbahn in Niedersachsen; Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege
- [3] „Eisenbahnbrücken – Ingenieurbaukunst und Baukultur“; Hrsg. Hartmut Mehdorn, DB AG und Dr. Karl H. Schwinn, Bundesingenieurkammer; 2009 DVV Media Group GmbH
- [4] „Die Allerbrücke in Verden“; Schacht, G.; Schwinge, E.; Krontal, L.; Hahn, O.; Marx, S.; Mauerwerkskalender 2018, Ernst & Sohn.
- [5] „Ergebnisse der Belastungsversuche an der Allerbrücke in Verden“ Piehler, J.; Schacht, G.; Hahn, G.; Slowik, V.; Marx, S.; Mauerwerkskalender 2018, Ernst & Sohn
- [6] „Planung und Durchführung der Belastungsversuche an der Allerbrücke in Verden“; Schacht, G.; Müller, L.; Meichsner, E.; Marx, S.: Mauerwerkskalender 2018, Ernst & Sohn
- [7] „Monitoring von Brückenbauwerken als Werkzeug der Bauüberwachung“; Marx, S.; Krontal, L.; Tamms, K.; Bautechnik 92 (2015), H. 2, S. 123–133.
- [8] „Belastungsversuche an der historischen Gewölbebrücke über die Aller bei Verden“; Schacht, G.; Piehler, J.; Müller, J.Z.A.; Marx, S.; Bautechnik 94 (2017) 2, S. 125–130

DOI: 10.1002 / bate.201600084

- [9] Marx, S.; Bolle, G.; Schacht, G.: Kapitel 3.2 – Bestandsaufnahme und Bestandsbewertung und Kapitel 7 – Bewertung der Tragfähigkeit auf Grundlage von Belastungsversuchen. In: Fingerloos, F.; Schnell, J.; Marx, S. (Hrsg.): Tragwerksplanung im Bestand, Betonkalender 2015
- [10] Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V. – WTA, Merkblatt 3-5-98/D „Natursteinrestauration nach WTA I: Reinigung“
- [11] WTA-Merkblatt 3-8-95/D „Anwendungstechnik Natursteinrestauration, Handwerklicher Steinaustausch“
- [12] WTA-Merkblatt 3-9-95/D „Bewertung von gereinigten Werkstein-Oberflächen“
- [13] WTA-Merkblatt 3-11-97/D „Natursteinrestauration nach WTA III: Steingegänzung mit Restauriermörteln und Steinersatzstoffen“
- [14] WTA-Merkblatt 3-12-99/D „Natursteinrestauration nach WTA IV: Fugen“
- [15] WTA-Merkblatt 4-3-98/D „Instandsetzung von Mauerwerk – Standsicherheit und Tragfähigkeit“
- [16] Richtlinie 804 „Eisenbahnbrücken planen, bauen und instandhalten“, Deutsche Bahn AG
- [17] Richtlinie 805 „Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken“, Deutsche Bahn AG

Abbildungen

Bild 1, 3, 6–10, 12, 14–20: Marx Krontal GmbH

Bild 2, 11: Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung Weimar GmbH


Bild 4, 5: Auszug Planunterlagen der Deutschen Bahn AG

Bild 13 Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung Weimar GmbH; Nüthen Restaurierungen GmbH+Co. KG

Als Fachfirma für die Natursteininstandsetzung war die Firma Nüthen Restaurierungen GmbH+Co. KG zuständig.

Von den Befestigungen der Grafen von Leinigen bis zur Einnahme durch die Burgenfreunde Die Nutzungen der Burg Landeck

von Doris Stolle



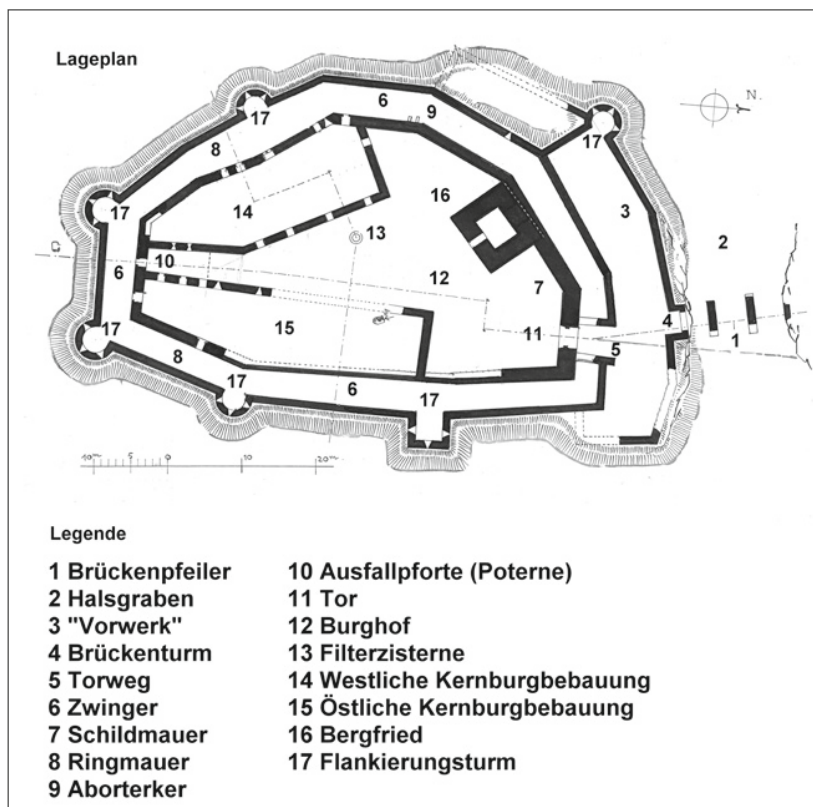
Bei den Mauersanierungen in der zu staufischer Zeit entstandenen Burganlage mit späteren Erweiterungen wurden neue Befunde gesichert und historische Nutzungen verifiziert. Die touristische Erschließung der Ruine wurde seit der Gründung des Landeckvereins im Jahr 1881 kontinuierlich ausgebaut. Die weiteren Nutzungsentwicklungen haben eine denkmalgerechte Bedarfsdeckung zum Ziel und sollen den Besuchern Erkenntnisse aus der Bauforschung präsentieren.

Bei der Suche nach Informationen über den Burgenbau in staufischer Zeit wird oftmals auf die Burg Landeck verwiesen. In geradezu typischer Weise ist hier das Bau- und Nutzungsprogramm der damaligen Territorialherren angelegt worden. Auch in dem heute nur noch als Ruine vorhandenen Bestand lässt sich die damalige und auch spätere Funktionalität deutlich ablesen: sowohl die mittelalterliche Nutzung als auch die touristische Erschließung der Burg ab den 1880er-Jahren.

Die Geschichtsdaten und die zahlreichen Wechsel der Eigentümer sollen an dieser Stelle nicht vertieft werden. Zur groben Orientierung dienen hier einige Daten als Zeittafel:

- Vermutlich um 1200 – Baubeginn, genaues Gründungsjahr der Burg sind unbekannt
- 1237 – Ersterwähnung der Liegenschaften als Besitz der Grafen von Leiningen anlässlich der Teilung zwischen den Grafen Friedrich III. und Emich IV.
- Mitte 13. Jahrhundert – Gemeinsames Reichslehen der Grafen von Leiningen-Landeck und Zweibrücken
- 1289/90 – Nach dem Ende der leiningischen Erblinie: Verleihung der rückgefallenen Hälfte durch König Rudolf von Habsburg an Otto IV. von Ochsenstein
- 1304 – Der Abt des Klosters Klingenmünster bezeichnet sich als Eigentümer der Burg
- 1358/66 – Erwerb des Öffnungsrechts durch die Pfalzgrafen bei Rhein
- 1405 – Bischof Raban von Speyer erwirbt ein Viertel der Burg
- 1485 – Die Erblinie der Herren von Ochsenstein endet
- 1525 – Eroberung und In-Brand-Setzung der Burg im Bauernkrieg, danach Instandsetzung
- 1570 – Die Erblinie der Grafen von Zweibrücken-Bitsch-Lemberg endet
- Zwischen 1680 und 1689 – Zerstörung der Burg durch französische Truppen
- 1709 – Kurpfälzischer Alleinbesitz der Ruine
- 1816/1945 – Unterstellung der Burgruine in den Zuständigkeitsbereich der bayrischen Forstverwaltung
- 1881 – Gründung des Landeckvereins, Bewirtschaftung der Ruine

Bild 1
Grundriss vor 1935



Heute befindet sich die Liegenschaft im Zuständigkeitsbereich des Landes Rheinland-Pfalz.

Baubeschreibung Mittelalter

Die Burganlage wurde in Spornlage über steilen Hängen im Osten, Süden und Westen errichtet. Die mögliche Angriffsseite im Norden sicherte man durch eine 2 m bis 2,5 m starke Schildmauer (Bild 1 Nr. 7) hinter einem aus dem Fels gearbeiteten Graben (Bild 1 Nr. 2). Vermutlich schloss die Schildmauer oberseitig ursprünglich mit einem Wehrgang ab. Der 23 m hohe Bergfried auf quadratischem Grundriss (Bild 1 Nr. 16) bindet nicht in die Schildmauer ein, ist also vermutlich vor ihr entstanden. Der Bergfried ist mit einer Ecke zur Angriffsseite ausgerichtet. Wurfgeschosse aus Stein konnten aus diesem Grund nur im Winkel auf die Außenwände auftreffen und verloren damit einen Teil ihrer Durchschlagskraft. Die dem Feind zugewandten Mauern wirken noch heute besonders eindrucksvoll. Das für die Errichtungszeit typische

Buckelquadermauerwerk wurde in der Bauzeit sehr sorgfältig ausgeführt und hat sich über den Verlauf der Zeiten gut erhalten.

Die Kernburg ist noch vollständig von Mauern umgeben. Die stumpf abknickende Schildmauer geht in die schmalere, aus glatten Quadern gefertigte Ringmauer über. Im Zuge der Bauarbeiten des Jahres 2016/2017 wurden Reste eines Wehrganges innerhalb der westlichen Palasmauer aufgefunden (Bild 2). Die Lauebene des Wehrganges aus staufischer Zeit wies noch Reste einer Brustwehr und einer Treppe zur höher abschließenden Schildmauer auf. Für die Errichtung oder Erweiterung der Wohngebäude wurde nachfolgend die Mauerinnenseite des Ganges geschlossen und Auflager für Konsolen geschaffen.

Die in verschiedenen Überlieferungen als steinernes Haus bezeichneten Gebäude in der westlichen Kernburg (Bild 1 Nr. 14) wurden überformt. Die drei größeren Doppelfenster mit den seitlichen Sitzbänken in den Fensternischen sowie die inneren Wandkonsolen in der Ringmauer waren in der staufischen Bauphase noch nicht vorhanden. Einige der späteren Geschosshöhen lassen sich an den Konsolen ablesen (Bild 3). Auch Reste eines Kamins in der nördlichen Innenwand sind noch vorhanden. In der Westwand befinden sich noch der alte Aborterker (Bild 1 Nr. 9) und zwei kleinere Fenster. Unterhalb des derzeitigen Laufniveaus sind noch zu den Gebäuden gehörende Befundreste zu vermuten.

Die Südseite der Burg stellt sich heute stark verändert dar. Hier hat man wohl im 19. und 20. Jahrhundert einsturzgefährdete Bauteile abgetragen und in den 1960er Jahren eine Toilettenanlage errichtet. Ursprünglich bildete der Zwischenraum zwischen den westlichen und östlichen Wohn- und Wirtschaftsgebäuden einen Gang, der in einer vermutlich als Ausfalltor genutzten Pforte endete und in einer späteren Umbauphase poternenartig überbaut wurde.

In der Literatur wird im Süd-Osten der östlichen Gebäude die historische Küche vermutet. Hinweise darauf finden sich in den sichtbaren Bauteilen der historischen Burg nicht. Bei Sondagen für die aktuelle Instandsetzung der Zwingermauern stieß man in der Verfüllung des Zwingers und seiner Türme unterhalb der vermuteten Küche aber auf viele



Bild 2
Reste des staufischen Wehrganges, die bei der Sanierung aufgefunden wurden

Tierknochen und typische Scherben von zerbrochener Kochkeramik (Bild 4).

Von dem sogenannten „beumin“-Haus in der östlichen Kernburg, den früher zumindest teilweise als Fachwerkbau konstruierten Gebäudeteilen, ist heute nur noch eine hoch aufragende Mauerecke im Burghof und ein Kellerzugang zu erkennen. Bei den

Bild 3
Reste der westlichen Ringmauer mit nachträglich eingefügten Fenstern und Konsolen 1971; bei der polygonalen Erweiterung im Bildfordergrund handelt es sich um einen neueren Zubau der Gastronomie.



archäologischen Sondagen im Zwinger unterhalb des „beumin“-Haus fanden sich neben Dachziegeln, Ofenkacheln und Fußbodenplatten auch Formsteine aus Sandstein (Bild 5). Sie gehören zu einem ehemaligen Aborterker, die den noch in der Westwand vorhandenen Bauteilen stark ähneln. Die Formsteine wurden unterhalb einer von Schutt überdeckten Brandschicht aufgefunden. Dies ist ein starkes Indiz für eine früher vorhandene Verortung im Gebäude direkt oberhalb des Zwingers.

Bild 4 Knochensfunde

Bild 5 Erkerformstein und Brandhorizont



Mitte der 1960er Jahre wurde im nordöstlichen Hof – in der Nähe des Zugangstores – ein weiterer Keller mit den Resten einer Zugangstreppe entdeckt. Die Funktion und zeitliche Einordnung ist nicht bekannt. Der Bau ist im heutigen Hof nicht mehr erkennbar.

In der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts wurde die Zwingeranlage mit den Flankierungstürmen auf Grund der geänderten wehrtechnischen Erfordernisse ergänzt (Bild 1 Nr. 17). Die Vermutung, es könnte einen Vorgängerbau gegeben haben, fand bei den Untersuchungen im Rahmen der aktuellen Instandsetzungen an der Zwingermauer keine Bestätigung.

Die Flankierungstürme waren ursprünglich offen und sind erst in späterer Zeit verfüllt worden. Interessant sind die einheitlichen Schlüssellochscharten aus Sandstein mit spatenförmigem Fuß. Auf die ehemals vorhandenen Geschosshöhen und Deckenkonstruktionen weisen die noch vorhandenen Schwellen und Balkenlöcher hin (Bild 6).

Zur ehemaligen Brücke gehörte ein Brückenturm für den Torwächter (Bild 1 Nr. 4). In seinem Obergeschoss über der Brücke gab es wohl einen Erker. Die bergseitige Mauer des Vorwerks entspricht in weiten Teilen einem Wiederaufbau Mitte des 20. Jahrhunderts. In dieser Zeit wurde auch die neue Brücke auf Pfeilern des 15. Jahrhunderts errichtet. Hinter dem ehemaligen Torturm steigt der Weg geschwungen zur Burg an. Vor dem Tor der Kernburg war außenseitig ein weiteres Tor angeordnet (Bild 1 Nr. 5).

Ungeklärt ist noch, ob sich in der Burg eine Kapelle befand. Bei den archäologischen Arbeiten zur aktuellen Mauersanierung sind jedenfalls unterhalb der östlichen Kernburg Glasscheiben einer aufwendigen farbigen Fensterverglasung entdeckt worden (Bild 7).

Insgesamt ist die baubegleitende Bauforschung zur Sanierung noch nicht abgeschlossen. Weitere Erkenntnisse aus der Zusammenführung der Schriftquellenauswertung mit den Erkenntnissen aus den Freilegungen werden erwartet.

Bauliche Veränderungen seit dem späten 19. Jahrhundert

Mit der Gründung einer Anstalt für psychisch Kranke 1857 am Fuß der Burg Landeck rückte die Ruine nach Jahren des Verfalls wieder in das öffentliche Interesse. Die Identifikation mit den historisch überkommenen Landschaften und Bauwerken mündete 1881 in die Gründung des Landeckvereins. Der Verein bekam von der damaligen bayrischen Verwaltung die Erlaubnis zur Entfernung von Gestrüpp, Trümmern und Schutt, Verfüllung und Einebnung einzelner Bereiche und Ausbesserung des Mauerwerks auf eigene Kosten. Bei der damaligen gründlichen Entschuttung gingen wegen der fehlenden wissenschaftlichen Begleitung und der fehlenden Dokumentation viele Befunde verloren. Spolien wurden zwar gesichert, jedoch ohne Bezug zur historischen Anlage wiederverwendet. Ein besonders schönes Gewände wurde als oberer Abschluss des Zugangs über der Gaststättentür eingebaut (Bild 8). Das Gaststättengebäude ist eine der ersten baulichen Ergänzungen des Landeckvereins, die nicht auf dem Vorbild historischer Bebauung fußt. Die Burgwirtschaft ist bis heute in Betrieb. Sie zog und zieht immer noch viele Besucher an, so dass schrittweise weitere Gebäude in der Kernburg errichtet wurden.

Ein frühes Projekt des Landeckvereins war auch die Nutzbarmachung des Bergfriedes. Er wurde durch eine neue Treppe über die Schildmauer erschlossen und zur Schaffung der Aussichtsplattform wurde eine neue Kappendecke eingezogen. Heute befindet sich im Innenbereich des Bergfriedes eine Ausstellung zur Burg.

Da die Brücke über dem Burggraben nicht erhalten war, erschloss man die Burg im 19. Jahrhundert über eine neue Rampe am Vorwerk der Burg. Erst in den 1960er Jahren installierte das damals zuständige Landesamt für Denkmalpflege eine neue Holzbrücke, die dem Besucher erlaubt, die historische Wegeführung wieder nachvollziehen zu können. Gleichzeitig sanierte das Landesamt im großen Umfang marode gewordene Mauern.

Die derzeit laufende Mauersanierung erfolgt im Auftrag des Finanzministeriums Rheinland-Pfalz. Sie wird von der Niederlassung Landau des Lan-

desbetriebs Liegenschafts- und Baubetreuung mit den Architekturbüro AltBauPlan aus Maxdorf durchgeführt und neben der Unteren Denkmalbehörde des Kreises Südliche Weinstraße auch von den Kolleginnen und Kollegen der Landesdenkmalpflege und der Landesarchäologie fachlich begleitet.



Bild 6
Blick auf die Sohle eines Flankierungsturmes mit den gut erkennbaren Balkenlöchern (hangseitig) der bauzeitlichen Fußbodenkonstruktion



Bild 7
Gotische Fenstermalerei

**Bild 8**

Fassade der Gaststätte mit
zweitverwendeten Spolien

Nutzungskonflikte und Nutzungsgewinn

Nach der mittelalterlichen Nutzung als Befestigung und der Zwischennutzung als „Steinbruch“ dauert die touristische Erschließung der Burg nun schon seit dem 19. Jahrhundert an. Daraus ergibt sich die Erfordernis nach Wissensvermittlung über die Burg Landeck und ihre Geschichte sowie nach Angeboten für das leibliche Wohl. Events oder Räume für Familienfeiern im historischen Rahmen werden stark nachgefragt.

Bereits direkt nach der Gründung 1881 richtete der Landeckverein eine kleine Gastronomie ein, installierte das Landeckfest und kümmerte sich um die Vermittlung der Geschichte der Burg. Instandhaltung, Verkehrssicherung sowie Grünpflege übernahm der Verein ehrenamtlich.

Bis in die heutige Zeit ist durch gesellschaftliche Veränderungen – beispielsweise die Wandlung der Arbeitsbedingungen hin zu mehr Freizeit des Einzelnen sowie den aktiveren und agileren Senioren mit ihrem Naherholungsbedarf – eine enorme Steigerung des Tourismus erfolgt. Das Einzugsgebiet der Pfalzbesucher reicht bis in den Raum

Karlsruhe. Gerade die Burg Landeck ist für Gäste besonders attraktiv, da sie über eine gut ausgebaute Straße an das Verkehrswegenetz angebunden ist. Den Parkplatz neben der Burg nutzt man als Ausgangspunkt für Waldwanderungen und kehrt danach in der Gastronomie der Burg ein. Dort genießt man in der warmen Jahreszeit den Biergarten mit dem wunderbaren Blick in das Rheintal. Konzerte, historische Feste und Aufführungen, jahreszeitliche Inszenierungen der Burgmauern, der Weihnachtsmarkt und vieles mehr sorgen für eine Burgbelebung über den gesamten Jahresverlauf (Bilder 9a bis 9e).

Für die Nutzungen und Nebennutzungen stehen in einer Ruine wenige Bestandsräume zur Verfügung. Schrittweise sind seit 1881 deshalb zusätzliche Räume in der Ruine geschaffen worden, oftmals nicht in allen Teilen gestalterisch geglückt oder historisch angemessen.

Provisorien erwiesen sich als ausgesprochen dauerhaft. Im Bereich des historischen westlichen Wohntraktes wurde ein Unterstand ähnlich einer Schutzhütte im Wald platziert (Bild 10). Die Gestaltung und Funktion dieses Gebäudes ist verbesserungswürdig. Ein Neubau ist seit einigen

Jahren gewünscht, erfordert aber hohen finanziellen Aufwand und einen verantwortlichen Bauherrn mit allen Rechten und Pflichten. Engagierte aus dem Umfeld des Landeckvereins gründeten deshalb im Jahr 2011 eine Stiftung. Neben verschiedenen kulturellen Projekten innerhalb und außerhalb der Burg möchte die Stiftung einen Veranstaltungsraum realisieren. Der avisierte Bauplatz liegt im Bereich des westlichen Palas. Das Gebäude in zeitgenössischem Stil soll sich von der Ruine gestalterisch absetzen. Die Bauteile des Neubaus sollen so wenig wie möglich in historische Bauteile eingreifen und gestalterisch eine Zäsur zum Bestand bilden. Vor der Errichtung der Fundamente sind in Kooperation mit der Landesarchäologie Speyer archäologische Grabungen geplant. Hier besteht die Chance, neue Erkenntnisse über den ggf. vorhandenen burgenzeitlichen Baubestand unterhalb des derzeitigen Erdniveaus zu erzielen. Der Neubau befindet sich noch in der Planungsphase. Die Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz verbindet mit der Baumaßnahme die Hoffnung, dass nach der Neuordnung des Burggeländes mit der Realisierung des Neubaus die historischen Teile der Burg wieder in den Vordergrund treten.

Der Erkenntnisgewinn aus den archäologischen Schürfen im Zwinger sowie der Bedarf nach Reduzierung des Erddrucks in den Halbtürmen flossen in die Planung zur Sanierung der Flankierungstürme ein. Nachdem die Archäologen das historische Fußbodenniveau eindeutig feststellten, kann es baulich aufgenommen und den Besuchern erlebbar gemacht werden. Das obere Deckenniveau wird Einblicke in den Turminnenbereich mit historischer Fußbodenhöhe erlauben, kleineren geführten Gruppen könnte auch Zugang in die Räume gewährt werden (Bild 11).

Nicht erst seit der Übernahme der Gaststättenpacht durch ein integriert arbeitendes Team von Menschen mit und ohne Behinderung rückt das Thema Barrierefreiheit auch an Burgen in den Fokus. Historisch wurden die Befestigungsbauwerke schwer zugänglich und abweisend ausgebildet. Spornburgen sind oft nur über steile, unregelmäßige Waldwege erreichbar und intern über enge Treppen erschlossen. Technische Einbauten zur Burgenerschließung erfordern oftmals schmerzhaft Eingriffe in einmalige Substanz und können



Bild 9a
Konzert

Bild 9b
Unterhaltungsprogramm auf dem Landeckfest

Bild 9c
Abendstimmung beim Landeckfest

Bild 9d
Vorführung historischer Handwerkstechnik

Bild 9e
Kinderführung



von Betroffenen nicht ohne Hilfe bedient werden. Gerade an der Burg Landeck mit ihrer gut ausgebauten Zufahrtstraße und dem weitläufigen Hof sind aber gute strukturelle Voraussetzungen für die barrierefreie Verbesserung gegeben. Deshalb steht nach dem Abschluss der Mauersanierung und der Fertigstellung des Veranstaltungsraumes die barrierefreie Ertüchtigung der Burg Landeck als nächstes Thema auf der Tagesordnung.

Abbildungen

- Bild 1: Digitales Planzeichenarchiv GDKE, Direktion Burgen Schlösser Altertümer, Koblenz
 Bild 2: BDK, Heidelberg; Photograph: Uwe Welz
 Bild 3: Archiv der Landesdenkmalpflege, Mainz
 Bilder 5, 6: Archiv der Landesarchäologie, Speyer; Photographen: Südwest Archäologie F. Krämer und D. Langhauser, Landau
 Bilder 9a–9e: Landeckverein Klingenmünster e. V., Klingenmünster
 Bilder 4, 7, 8, 10 sowie Titelbild: Stabsstelle Bau und Technik, Koblenz
 Bild 11: Auftraggeber: LBB-NL Landau, Planverfasser: AltBauPlan, Marc Sattel, Maxdorf



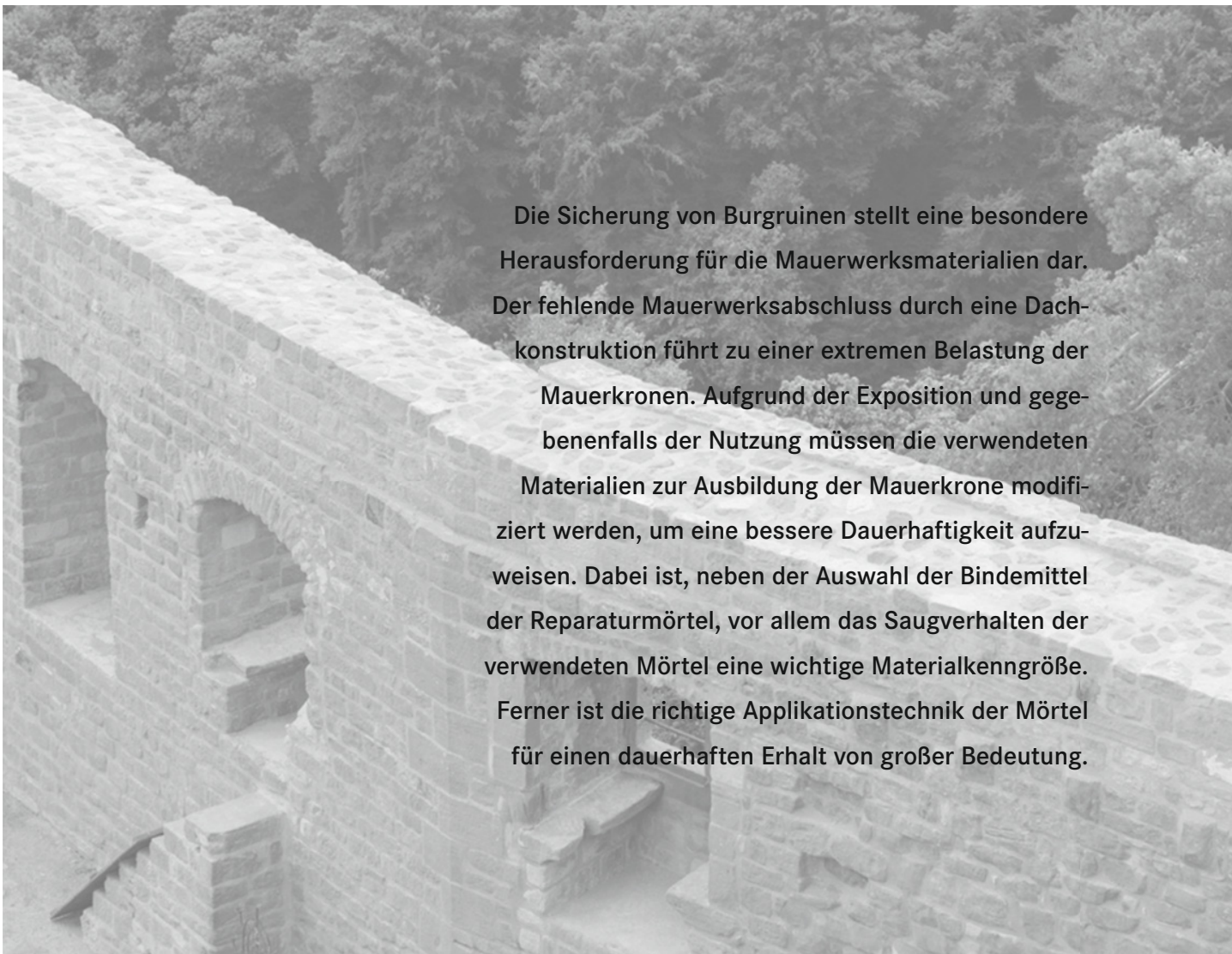
Bild 10
Schutzhütte im sog. Steinernen Haus

Bild 11
Prinzipschnitt durch den Zwinger mit Flankierungsturm (Planung). Links oben befindet sich die Ringmauer. Die untere Fußbodenoberkante im Flankierungsturm liegt auf dem historischen Niveau. Der Zwinger ist weiter mit dem Schutt historischer Verstürze gefüllt. Die obere Deckenebene ermöglicht Einblicke.

Die Burgruine Landeck in Klingenmünster/Pfalz

Instandsetzung der Burgmauern mit besonderer Problematik der Mauerkronen

von Petra Egloffstein



Die Sicherung von Burgruinen stellt eine besondere Herausforderung für die Mauerwerksmaterialien dar. Der fehlende Mauerwerksabschluss durch eine Dachkonstruktion führt zu einer extremen Belastung der Mauerkronen. Aufgrund der Exposition und gegebenenfalls der Nutzung müssen die verwendeten Materialien zur Ausbildung der Mauerkrone modifiziert werden, um eine bessere Dauerhaftigkeit aufzuweisen. Dabei ist, neben der Auswahl der Bindemittel der Reparaturmörtel, vor allem das Saugverhalten der verwendeten Mörtel eine wichtige Materialkenngröße. Ferner ist die richtige Applikationstechnik der Mörtel für einen dauerhaften Erhalt von großer Bedeutung.



Bild 1
Klingenmünster, Burg Landeck



Bild 2
gerissener Glattstrich mit
Moosbewuchs



Bild 3
Rissreparatur durch Verfüllung
mit Flüssigbitumen

Bei einer Ruinensicherung ist der Schutz des Mauerwerksverbands besonders schwierig. Durch die ungeschützte Mauerkrone als auch durch die Dauerdurchfeuchtung des Mauerwerks am Mauerfuß und Fundament wird der Mörtel stark beansprucht und oftmals herausgewaschen. Nicht selten ist dadurch die Standsicherheit der Mauern gefährdet. Auch an der Wechselzone feucht – trocken ist eine besondere Beanspruchung von Stein und Mörtel in besonderer Art vorhanden. Die DIN 459-1 Baukalkarten bietet eine Anzahl von Bindemitteln für die Reparaturmörtel an, welche jedoch speziell an das jeweilige Objekt angepasst werden müssen, um eine Dauerhaftigkeit der Instandsetzungsmaßnahme zu gewährleisten. Bei der Auswahl von Reparaturmaterialien für die Sanierung denkmalgeschützter Mauerwerksbauten ist die Bestandserfassung der Gebäude in historischer sowie regionaler Sicht sehr wichtig. Im historischen Mauerwerk ist für den Erhalt des Materialbestands die Verträglichkeit von Alt und Neu unabdinglich notwendig.

1 Schäden an den Burgmauern

Auf der Burgruine Landeck (Bild 1) zeigte sich, dass der in den 60er-Jahren aufgetragene Mörtelglattstrich der Mauerkrone gerissen war und eine Unterfeuchtung der Mauerkrone stattfand. An den Rissen zeigte er durch Moosbewuchs (Bild 2) eine erhöhte Feuchtigkeit an.

Zuerst wurde eine Rissreparatur (Bild 3) der alten Abdeckung diskutiert, welche in partiellen Abschnitten der Mauer in früherer Zeit schon durchgeführt wurde.

Bei einer Bauteilöffnung (Bild 4) wurde festgestellt, dass unter dem Zementstrich nur eine Erdauffüllung der oberen Bereiche stattgefunden hat. Diese Auffüllung war stark durchfeuchtet. Es stellte sich später heraus, dass es ein ehemaliger Wehrgang (Bild 5) war, welcher mit Erde und Bauschutt zugeschüttet wurde.

Der Fugenmörtel an der Palasmauer war dünn-schichtig mit einem Zementüberzug überzogen. Es fand kein kapillarer Transport über den Fugen-

mörtel statt, sodass die Flankenbereiche der Sandsteine geschädigt waren.

Die Treppenaufgänge an der Palasmauer zeigten eine Schiefstellung und wiesen keine Fundamentierung auf. Die Fugen waren mit einem grauen Zementmörtel unsachgemäß verfugt worden.

An der Brustwehr zeigten sich starke, tiefgreifende Fugenauswaschungen. Die Mauerkrone war mit schädigendem Bewuchs bewachsen. Die Wehrtürme zeigten eine starke Rissbildung und müssen statisch ertüchtigt werden.

2 Historischer Mörtel

Um die Auswahl des Reparaturmörtels treffen zu können muss eine Untersuchung des Bestandsmörtels erfolgen. Hierzu wurden zahlreiche Proben entnommen und auf ihre Zusammensetzung untersucht. In Bild 6 sind exemplarisch die Ergebnisse der Mörteluntersuchung der Palasmauer dargestellt.

Bei dem Mörtel handelt es sich um einen Kalkmörtel mit geringen hydraulischen Anteilen (SiO_2 -Gehalt/Bindemittel). Er zeigt ein relativ geringes Bindemittel-Zuschlags-Verhältnis von 1:2,7, was auf Auswaschungen des Ausgangsmaterials ist nicht vorhanden. Dies zeigen die geringen Mg-Gehalte. Die Sande sind gelb-rötliche, schlecht gerundete Grubensande aus der näheren Umgebung. Im Mauer Mörtel ist ein Überkorn von 4–8 mm vorhanden, welches zum Teil aus Sandsteinbruchstücken besteht.

3 Mörtel mit verschiedenen Baukalkarten

Um bei der Auswahl der Reparaturmörtel das richtige Bindemittel auszuwählen müssen die Zusammensetzungen und Reaktionsmechanismen der Bindemittel bekannt sein.

Die heutigen Baukalkarten sind genormte Baustoffbindemittel und werden nach [1] eingeteilt. Hierbei

werden Baukalken mit reiner carbonatischer Erhärtung sowie Baukalken mit carbonatischer und hydraulischer Erhärtung unterschieden. Unter carbonatischer Erhärtung versteht man die Aufnahme von Kohlendioxid (CO_2) in das Kristallgitter des Calciumhydroxid (Ca(OH)_2) unter Feuchteinfluss zur Bildung von Calciumcarbonat (CaCO_3). Bei carbonatischer und hydraulischer Erhärtung werden neben der Bildung von Calciumcarbonat hydraulische Phasen, sogenannte Calciumsilikathydratphasen, gebildet, welche unter Wasserbindung entstehen.

Die Ausgangsprodukte (Kalkstein oder mergeliger Kalkstein) und die Brenntemperaturen entscheiden über die Anteile der Klinkerminerale. Je höher die



Bild 4
Bauteilöffnung der Mauerkrone
mit Erdverfüllung

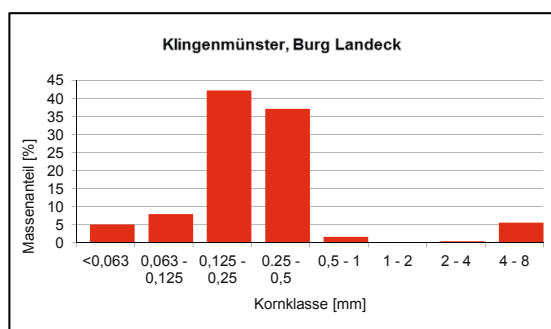
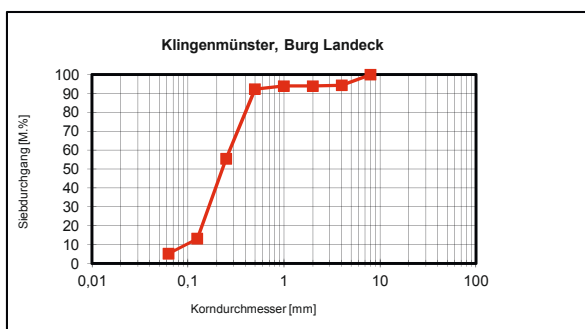


Bild 5
Wehrgang Palasmauer West

Mörtelanalyse: Klingenmünster, Burg Landeck

Proben-Nr.		1.Tro.Gew.	2.Tro.Gew.	3.Tro.Gew.	Bindemittel	Verhältnis	SiO ₂ -Gehalt	SiO ₂ -Gehalt/B	Mg-Gehalt	Mg-Gehalt/B
		[g]	[g]	[g]	[M.%]	B/Z	[M.%]	[M.%]	[M.%]	[M.%]
						1:				
M 4364	Mauermörtel	52,17	38,50	37,90	27,35	2,7	1,15	4,20	0,15	0,55

Sieblinie				
Korndurchm.	Sum. Siebd. [%]	M-Anteil [%]	Messwerte [g]	Kornklasse
0,063	5,11	5,11	1,93	<0,063
0,125	13,07	7,97	3,01	0,063 - 0,125
0,25	55,31	42,23	15,96	0,125 - 0,25
0,5	92,38	37,07	14,01	0,25 - 0,5
1	93,99	1,61	0,61	0,5 - 1
2	93,99	0,00	0,00	1 - 2
4	94,39	0,40	0,15	2 - 4
8	100,00	5,61	2,12	4 - 8
			37,79	



Fotografische Dokumentation der Gesteinskörnung

4364



Bild 6

Ergebnisse der Mörteluntersuchung Klingenmünster, Burg Landeck Palasmauer

Hydraulefaktoren SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 sind, desto höher sind die Festigkeiten im abgebundenen Mörtel.

Des Weiteren sind ungemischte Weißkalke (CL 90, CL 80, CL 70) mit den Ausgangsmaterialien von relativ reinen Kalksteinen und niedriger Brenntemperatur (bis 1.000°C) und ungemischte natürliche hydraulische Kalke (NHL 2, NHL 3,5, NHL 5) mit Ausgangsmaterialien von mergligen Kalksteinen und mittleren Brenntemperaturen (bis zu 1.200°C) zu unterscheiden. Gemischte Produkte mit hohen Calciumhydroxidanteilen (FL 2, FL 3,5, FL 5) werden als formulierter Kalk bezeichnet und differieren nach neuer Norm deutlich von den gemischten hydraulischen Kalken (HL 2, HL 3, HL 5). Die Mischungen der FL-Kalke können vielfältiger Natur sein. So können Weißkalke, natürliche hydraulische Kalke mit puzzolanischen (z. B. Trass, Ziegelmehl, Stoffe mit reaktiver Kieselsäure) oder latent hydraulischen Zusätzen (z. B. Hochofenschlacken) und Zementen gemischt werden. Die Ausgangsstoffe und Mengenanteile müssen auf dem Bindemittelsack deutlich gekennzeichnet werden.

In Bild 7 werden die Baukalke nach [1] aufgezeigt. Tabelle 1 verdeutlicht die Unterschiede der Kalke in ihren Anteilen des Calciumhydroxidgehalts ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) in Abhängigkeit ihrer Normdruckfestigkeiten.

4 Auswahl der Reparaturmaterialien und ihre Applikationen

Zuerst wurde die Farbigkeit, Körnung und das Bindemittel der Reparaturmörtel an den historischen Bestand angepasst. Anhand einer Musterfläche ist das Ergebnis überprüft worden und bereits nach kurzer Zeit der Bemusterung wurde eine positive Angleichung erreicht. Bild 8 zeigt die Musterfläche des Reparaturmörtels. Es handelt sich um einen NHL-gebundenen Fugenmörtel mit Körnung 0–4 mm, welcher mit Pigment auf die Farbigkeit des Bestandsmörtels eingefärbt wurde.

Bei der Ausbildung einer Mauerkrone ist darauf zu achten, dass wenig Wasser in das Mauergefüge eingebracht wird. Die beste Sicherung von Mauerkrone wäre durch das Aufbringen eines Schutzdaches zu erreichen. Bei der Ruinensicherung oder bei archäologischen Sicherungen ist aus ästhetischen Gründen eine Bedachung oftmals unmöglich, da auf den Ruinencharakter des Mauerwerks besonderer Wert gelegt wird.

Ist keine Nutzung der Mauerkroneflächen vorgesehen, kann auch durch das Einbringen einer Tonschicht, in diesem Fall einer Bentonitmatte, der Wassereintrag in die Mauerkrone reduziert werden [2]. Auf eine ausreichende Überdeckung der Bentonitmatte ist zu achten, sodass Schrumpfrisse

Tabelle 1

Calciumhydroxidgehalte und Druckfestigkeiten von Prüfmörteln, welche mit Normsand hergestellt wurden, nach [1]

Bezeichnung der Kalke	Kurzzeichen	Verfügbare Kalk als $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Druckfestigkeit [MPa] nach 28 Tagen
Natürlicher hydraulischer Kalk 2	NHL 2	≥ 35	≥ 2 bis ≤ 7
Natürlicher hydraulischer Kalk 3,5	NHL 3,5	≥ 25	$\geq 3,5$ bis ≤ 10
Natürlicher hydraulischer Kalk 5	NHL 5	≥ 15	≥ 5 bis ≤ 15
Formulierter Kalk 2	FL 2		≥ 2 bis ≤ 7
Formulierter Kalk 3,5	FL 3,5		$\geq 3,5$ bis ≤ 10
Formulierter Kalk 5	FL 5		≥ 5 bis ≤ 15
FL A		≥ 40 und < 80	
FL B		≥ 25 und < 50	
FL C		≥ 15 und < 40	
Hydraulischer Kalk 2	HL 2	≥ 10	≥ 2 bis ≤ 7
Hydraulischer Kalk 3,5	HL 3,5	≥ 8	$\geq 3,5$ bis ≤ 10
Hydraulischer Kalk 5	HL 5	≥ 4	≥ 5 bis ≤ 15

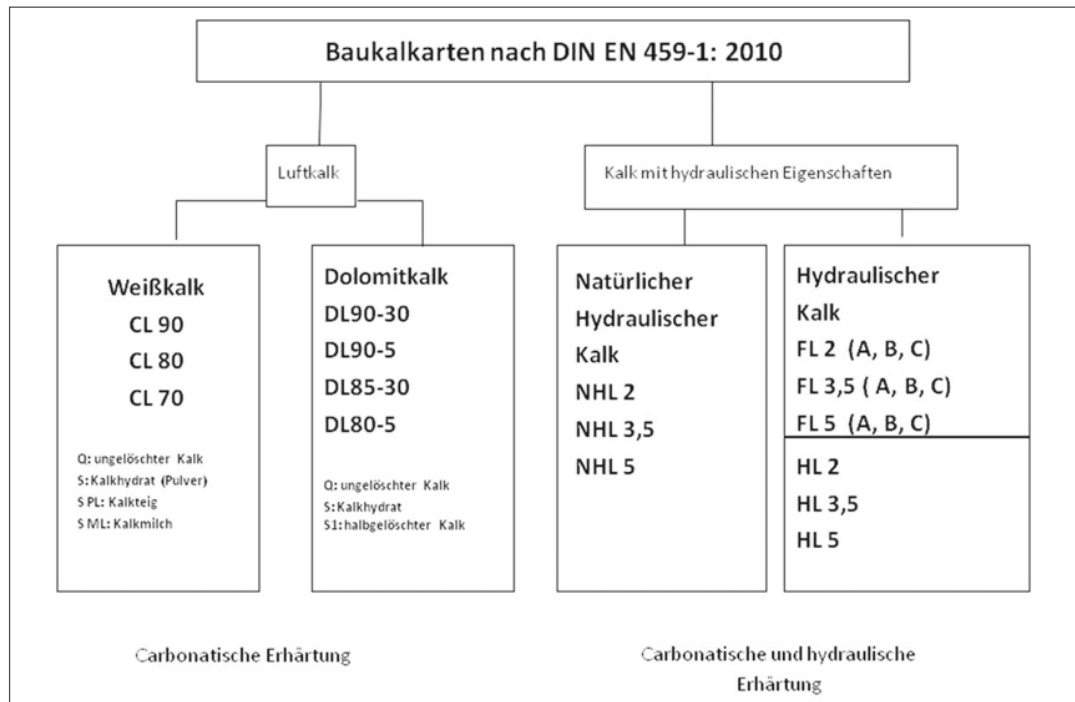


Bild 7
Baukalke nach [1]



Bild 8
Musterfläche für die farbliche Anpassung des Reparaturmaterials (Bildmitte: neuer Mörtel, rechts oben: historischer Bestand)



Bild 9
Reduzierung des Wassereintrages durch eine Bentonitmatte auf einer Mauerkrone

minimiert werden. In Bild 9 ist eine Bentonitmatte an einer Mauerkrone am Beispiel Auerbacher Schloss, Bensheim-Auerbach dargestellt, welche durch eine ausgemauerte Steindeckschicht mit wasserdurchlässigem Mörtel bedeckt wurde.

Wenn jedoch eine gemauerte Schutzschicht als Mauerkrone aufgebracht wird, ist die Wasseraufnahme der Mörtel von entscheidender Bedeutung. Hierbei können bei der Wasseraufnahme wasser-saugende, wasserhemmende und wasserabweisende (Tabelle 2) Materialien nach [3] unterschieden werden. Nach der aktuellen Deutschen Industrienorm [4] sind diese Einteilungen nicht mehr aktuell. Die alten Angaben für die Eigenschaften der Wasseraufnahme verdeutlichen jedoch die Wasseraufnahme der Fugenmörtel, speziell in der Mauerkrone sehr gut.

Bei begehbaren Mauerkronenflächen und gering saugfähigen Gesteinen ist eine Wasserabweisung der Mörtel oft sinnvoll, da größtenteils die Gefälle für eine breitere Mauer nicht ausreichen.

Bei saugenden Steinen ist jedoch eine wasserhemmende Einstellung besser geeignet, da hier das Trocknungsverhalten von Stein und Mörtel besser aufeinander angepasst ist. Sind die Mörtel nicht modifiziert und weisen stark saugende Eigen-

schaften (deutlich größere w -Werte über 6 bis $14 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{h}^{0,5})$) auf, kommt es häufig zu Frostschäden an der Mauerkrone. Unabhängig davon ist immer auf eine geringe Dimensionierung der Fugen und ein ausreichendes Gefälle der Mauerkrone zu achten, um keine stehenden Wasserflächen zu erzeugen

Für die Burg Landeck ist beschlossen worden, die Reduzierung des Wassereintrags der Mauerkrone durch den Einsatz eines Mauer- und Fugenmörtels mit reduzierter Wasseraufnahme zu erreichen. Für den sogenannten Mauerkrone­mörtel wurde eine wasserhemmende Einstellung (w -Wert ca. $1\text{--}2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{h}^{0,5})$) gewählt. Der Mauerkrone­mörtel enthält für eine bessere Flankenhaftung geringe Anteile an Dispersionspulver. Da sich in der Vergangenheit NHL-gebundene Mörtelmaterialien, trotz der Modifizierung mit Natriumoleat zur Reduzierung der Wasseraufnahme, als zu wenig frostbeständig in dieser Exposition gezeigt haben, wurde auf ein HL-gebundenes System zurückgegriffen.

In Klingenmünster kam ein Trass-Kalk-Mauer- und Fugenmörtel der Festigkeitsklasse M 2,5 für die Mauerkrone zum Einsatz. Dieser Fugenmörtel wurde ebenfalls auf den historischen Bestand in seiner Farbigkeit eingestellt. Um eine Dauerhaftigkeit der Mauerkrone zu gewährleisten, ist das gesamte Material des verfüllten Wehrgangs entfernt und das Mauerwerk mit Bruchsteinen hohlraumfrei ausgemauert worden. In Bild 10 ist ein Mauerabschnitt während des Aufmauerns und der Ausbildung der Mauerkroneoberfläche zu erkennen. Hierbei wurde umliegendes Bruchsteinmaterial wieder verwendet.

Die Entwässerung der Mauerkrone wurde durch ein Gefälle nach außen bewerkstelligt. Im Abschnitt, welcher an den Restaurantneubau anschließt (in der Mitte des Bildes), ist aufgrund der Mauerwerksituation das Gefälle in den Burghof gerichtet (Bild 11).

In Bild 12 ist nach einem Regenereignis das Trocknungsverhalten der Mauerkrone dargestellt. Man erkennt, dass der Mörtel durch seine geringere Saugfähigkeit in der Mitte schneller trocknet als der Sandstein. Die Abtrocknung um den Sandstein dauert etwas länger, die Saugfähigkeit des Mörtels ist immer noch vorhanden.

Tabelle 2

Wasseraufnahmekoeffizienten für wassersaugend, wasserhemmend und wasserabweisend nach [3]

Oberflächenschichten	kapillare Wasseraufnahme
wassersaugende Schicht	$w \geq 2,0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
wasserhemmende Schicht	$0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}) < w < 2,0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
wasserabweisende Schicht	$w \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ $w \cdot s_d \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0,5})$ $s_d \leq 2,0 \text{ m}$



Bild 10
Verfüllen des Wehrgangs mit
Aufmauerung der Mauerkrone

Bild 11
Gefällesituation an der Palas-
mauer



Bild 12
Mörtel mit wasserhemmenden
Eigenschaften (schnellere
Trocknung als Sandsteine)

Bild 13
Mauerkrone der Brustwehr

Der Mauerkronenmörtel wurde zu Beginn händisch eingebracht. Es zeigte sich nach der Fertigstellung, dass der eingebrachte obere Fugenmörtel hohl lag und einen schlechten Verbund mit dem Mauermörtel und eine sehr schlechte Flankenhaftung an die Sandsteine zeigte. Aufgrund dessen wurde die Verfugung entfernt und erneut im Trockenspritzverfahren aufgebracht. Dies geschah nur an der Mauerkronenoberseite. Die drei ersten Lagen der Verfugung an der Mauerkrone wurden händisch mit dem Trass-Kalk-Mauerkronenmörtel ausgeführt.

Für die weitere Fassade der Palasmauer wurde in der händischen Verfugung mit einem eingefärbten NHL-gebundenen Material gearbeitet. Aufmauerun-

gen an der Fassade sind mit Standard NHL-Mauermörtel ausgeführt worden.

Die neu aufgesetzten und fundamentierten Treppenanlagen im Sockelbereich der Palasmauer wurden mit einem Trass-Kalk-Mauermörtel M 2,5 gemauert und im Trockenspritzverfahren mit dem Trass-Kalk-Fugenmörtel (Mauerkrone) verfugt.

Die äußere, erdberührte Brustwehr ist vollständig mit einem eingefärbten Trass-Kalk-Fugenmörtel M 2,5 trockengespritzt worden. Dieser sollte zuerst in einer Drainagekörnung eingesetzt werden, um den Wasserablauf besser zu gewährleisten. Auf dies wurde jedoch verzichtet, da nur geringe Abschnitte der Mauer erdberührt sind. Des Weiteren wird vor der Mauer eine Entwässerungsrinne ausgebildet, um das Oberflächenwasser zügig abzuführen.

An der Brustwehr wurden in ähnlicher Weise die Mauerkronen wie im Palas ausgebildet. Hier ist jedoch eher ein Dachprofil gemauert worden, so dass die Entwässerung auf beiden Seiten stattfindet. Es wurde versucht, die Mauerkrone nicht zu akkurat auszuführen und ein etwas unregelmäßiger Verlauf angestrebt. In Bild 13 ist der Endzustand der Brustwehrmauerkrone dargestellt.

Bei der Instandsetzung der Mauern, speziell der Mauerkronen an der Burg Landeck in Klingenstein wurde bei der Auswahl der Reparaturmörtel auf den Bestand und die jeweilige Mauerwerkssituation Rücksicht genommen. Das aufgehende Mauerwerk konnte mit einem zementfreien, natürliche-hydraulischen Kalkmörtel händisch verfugt werden. Die Mauerkronen wurden jedoch mit einem speziell entwickelten Mauerkronenmörtel auf Trass-Kalkbasis mit reduzierter Festigkeit im Trockenspritzverfahren instand gesetzt. Die Ausbildungen der Gefälle sind an die jeweilige Situation angepasst worden. Erdberührtes Mauerwerk und die exponierten Treppenaufgänge erhielten ebenfalls im Trockenspritzverfahren eine Verfugung. Bei der Nachreinigung der trocken-gespritzten Mauerbereiche wurde ein wenig zu viel von der Patina der Gesteinsoberfläche entfernt. Hier hätte eine etwas vorsichtigere Reinigung und der Einsatz einer etwas kleiner dimensionierten Trockenspritzdüse ästhetisch bessere Ergebnisse gezeigt.

Literatur

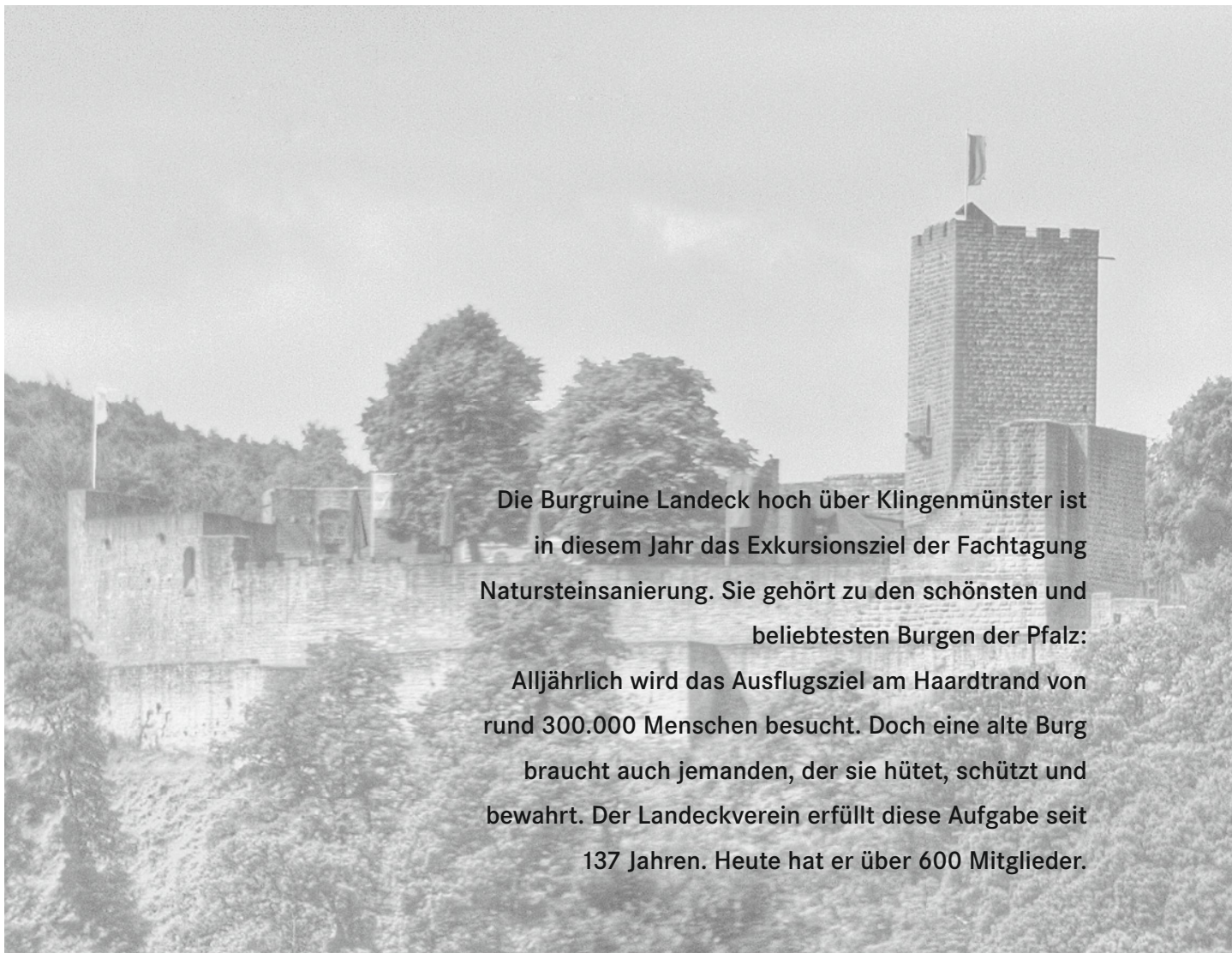
- [1] DIN 459-1 (2010): Baukalk. Teil 1: Begriffe, Anforderungen und Konformitätskriterien. Beuth Verlag, Berlin
- [2] Egloffstein, P (2015): Durchlässig oder dicht? – Varianten der Mauerkronen- und Fundamentsicherung. IFS-Bericht 50: Erdberührtes Mauerwerk-Erhaltung von Bodendenkmälern und Ruinen, Saarbrücken 2015
- [3] DIN EN V 18550-1 (2005): Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen, Beuth Verlag, Berlin
- [4] DIN EN 18550-1 (2018): Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen, Beuth Verlag, Berlin

Abbildungen

Bild 1, 11: Guido Wollenberg
Bilder 5, 10: Marc Sattel
Bild 9: Christian Reetz
Bilder 2, 3, 4, 8, 12, 13: Petra Egloffstein

Der Landeckverein – Hüter der Burg

von Rita Reich



Die Burgruine Landeck hoch über Klingenmünster ist in diesem Jahr das Exkursionsziel der Fachtagung Natursteinsanierung. Sie gehört zu den schönsten und beliebtesten Burgen der Pfalz: Alljährlich wird das Ausflugsziel am Haardtrand von rund 300.000 Menschen besucht. Doch eine alte Burg braucht auch jemanden, der sie hütet, schützt und bewahrt. Der Landeckverein erfüllt diese Aufgabe seit 137 Jahren. Heute hat er über 600 Mitglieder.



Bild 1

„Mächtige Mauerstücke zwischen dem Gebüsch“:
Burg Landeck auf einer Litho-
grafie aus dem Jahr 1830 von
Heinrich Jakob Fried.



Bild 2

Ein eindrucksvolles Gemäuer
aus der Stauferzeit ist die
Landeck.



Bild 3

Aus voller Männerkehle
gesungen wurde früher bei den
Landeckfesten. Diese
Aufnahme entstand 1929.



Bild 4

Mächtig zupacken können die
Mitglieder des Vereins auch
heute noch. Hier wird eine
kleine Mauer im Burghof
gezogen.

Die Landeck ist vermutlich im 12. Jahrhundert als Schutzburg für das Kloster Klingenmünster errichtet worden. 1237 wird sie zum ersten Mal urkundlich erwähnt. Im Lauf der Jahrhunderte ist die Stauferburg immer wieder umkämpft und heiß begehrt, was sich in zahlreichen Besitzerwechseln und Streitigkeiten niederschlägt. Im Pfälzischen Bauernkrieg wird die Burg 1525 erobert und ausgebrannt. Nunmehr im Besitz der pfälzischen Kurfürsten wird sie erneut Ende des 17. Jahrhunderts von französischen Truppen zerstört (Bild 1). Nach dem Wiener Kongress 1815 fällt die Landeck an den bayerischen Staat. Heute ist die stolze Burgruine im Besitz des Landes. Sie gehört zu den Kulturdenkmalen, die von „Burgen, Schlösser, Altertümer Rheinland-Pfalz“ verwaltet wird (Bild 2). Im Auftrag der Landesbehörde ist der Landeckverein als Treuhänder tätig.

Ein Blick in die Geschichte dieser frühen Bürgerinitiative: Als der Verein im Jahr 1881 von Dorfbewohnern und Vertretern der Heil- und Pflegeanstalt (heute Pfalzkl. Klinikum) gegründet wird, liegt die Burg als öde Ruine da. „Da stehen nur noch mächtige Mauerstücke zwischen dem Gebüsch und Steingerölle“, hat der aus Klingenmünster stammende Pfalzdichter August Becker ein paar Jahre zuvor geschrieben. Die Mitglieder des jungen Landeckvereins müssen also mächtig zupacken. Sie entrümpeln die verwahrloste Burg, säubern sie von Bewuchs, begutachten das Mauerwerk und bessern die größten Schäden aus. Treppen werden gebaut, um den Turm begehbar zu machen. Doch wer arbeitet, darf auch feiern: Das erste Landeckfest findet schon kurz nach der Vereinsgründung statt (Bild 3).

Langsam wird die Burg wieder zu einem attraktiven Ausflugsziel. Immer mehr Besucher wandern hinauf – und die haben oft Hunger und Durst. Mit Genehmigung der königlich-bayerischen Regierung wird deshalb ein Wirtschaftsbetrieb im Burghof eingerichtet. Die Vereinsmitglieder mauern dafür mit alten Steinen die Burgschänke zwischen Turm und Ringmauer hoch und sie graben den alten Burghof aus, in dem nun Wein und Bier kühl gelagert werden können.

Während des Ersten Weltkriegs ruht die Vereinstätigkeit, auch danach sind die Aktivitäten aus



Geldmangel stark eingeschränkt, doch bemüht man sich, die in der Satzung gesetzten Ziele zu erfüllen und die Burg instand zu halten. Schlechte Zeiten vor allem auch im Dritten Reich: Das Handeln des Vereins wird immer mehr fremdgesteuert. Alle Mitwirkenden beim Landeckfest müssen zum Beispiel von der Kreisleitung genehmigt werden, der Auftritt einer SA-Kapelle wird zur Pflicht gemacht.

Nach schweren Jahren geht es 1949 an die Wiederrückführung. Die Vereinskasse ist leer, doch durch Zuschüsse des Bezirksverbands Pfalz und eine Haussammlung in Klingenmünster können Schulden bezahlt werden. Bereits 1950 beschafft der Landeckverein leistungsstarke Scheinwerfer und installiert eine Burgbeleuchtung. Die Herausforderungen reißen nicht ab. In den sechziger Jahren rutscht die östliche Ringmauer in den Zwinger, was umfangreiche Arbeiten nach sich zieht. Im Bergfried wird ein kleines Museum eingerichtet, eine Küche für die Gastronomie wird eingebaut. Die Krönung bildet 1967 die neue Burgbrücke, die auf alten, ausgebesserten Pfeilern in elf Metern Höhe den Halsgraben überspannt.

Mittlerweile zieht es immer mehr Besucher auf die Burg. Der alte, schlecht ausgebaute Schlossbergweg genügt nicht mehr den Anforderungen. Landeckverein und Gemeinde kämpfen dafür, dass der Weg zum Parkplatz als Fahrstraße ausgebaut wird. 2011 wird dann der obere Teil dieser Straße, bisher ein arger Engpass, verbreitert und verkehrssicher gestaltet.

Aktuell hat der Landeckverein über 600 Mitglieder – sie kommen aus dem Dorf und weit darüber hinaus. Neben dem vierköpfigen engeren Vorstand unter der Leitung von „Burgvogt“ Klaus Frey gibt

es ein kleines aktives Team, den Landeckauschuss, das sich in vielfältiger Weise engagiert. So wird immer wieder zu Arbeitseinsätzen auf der Burg aufgerufen, um Reparaturen zu erledigen oder für Sauberkeit zu sorgen (Bild 4).



Bild 5

Die Feste und Konzerte im Burghof locken jedes Jahr Tausende von gut gelaunten Besuchern auf die Landeck. Sie kommen nicht nur aus der Pfalz, sondern oft auch aus Baden und dem Elsass.



Bild 6

Mittelalterliche Gewänder, Musik und Tänze. Das besondere Flair des Landeckfests ist unwiderstehlich.



Bild 7

Pfeil und Bogen statt Handy und Ballerspiel: Kinder haben Spaß an den jährlichen Ritterspielen in den Burgmauern.

Bild 8

Reste der westlichen Pallasmauer sind auf dem historischen Foto zu sehen. Nahe diesem Bereich soll nach dem ehrgeizigen Plan der Burg-Landeck-Stiftung in Zukunft ein Saal als Begegnungsstätte für Kultur und Geschichte errichtet werden.

Bild 9

Die Burgruine Schlössel ist nicht so bekannt wie die Landeck aber nicht weniger interessant. Die Burg-Landeck-Stiftung hat sich auch ihre Erhaltung auf die Fahnen geschrieben.



Bild 10

Für die spätromanische Nikolauskapelle am Fuß des Burgbergs hat die Stiftung eine Patenschaft übernommen.



Eine ganze Reihe von attraktiven Veranstaltungen, organisiert von Landeckverein und der Burg-Landeck-Stiftung, locken im Jahreslauf Besucher auf die Burg, die nicht nur aus der Pfalz, sondern auch aus Baden, dem Elsass und dem Saarland kommen (Bild 5). Fast wie im Mittelalter geht es auf dem Landeckfest im Juni und beim Weihnachtsmarkt zu (Bild 6). Zur Sommersonnwende spielt die Band „Skye“; drei bis vier weitere Konzerte finden ebenfalls ihr Publikum. An Christi Himmelfahrt haben Kinder Spaß an Ritterspielen zwischen den alten Mauern (Bild 7).

Das Problem an diesen Festen und Konzerten ist allerdings, dass ihr Erfolg stark vom Wetter abhängig ist. Wenn es regnet oder stürmt, steht kein geeigneter Raum zur Verfügung. Außerdem, so die Überlegung der Burgfreunde, wäre es eine gute Idee, auch Kulturveranstaltungen wie historische Vorträge, klassische Konzerte oder Ausstellungen anzubieten. Der bestehende ältere Pavillon im Bereich des früheren Pallas ist zu klein, unübersichtlich, kaum zu heizen und nicht im besten

Zustand. So hat der Verein sich über die Zukunft Gedanken gemacht und plant an dieser Stelle den Bau eines großen Saals, einer Begegnungsstätte für Kultur und Geschichte (Bild 8). Die Planung in Zusammenarbeit mit der Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland Pfalz (GDKE) ist abgeschlossen und behördlich genehmigt.

Um das ehrgeizige Vorhaben stemmen zu können, ist im April 2011 die gemeinnützige Burg-Landeck-Stiftung als Ableger des Vereins gegründet worden. Das Stiftungskapital haben Sponsoren aufgebracht. Damit die Begegnungsstätte Wirklichkeit werden kann, muss das Kapital aus der Verpachtung der Schänke und aus dem Erlös der Veranstaltungen erwirtschaftet werden. Außerdem hofft man auf weitere Sponsoren.

Die Burg-Landeck-Stiftung hat sich aber nicht nur die Erhaltung der Stauferburg samt Saal-Neubau auf die Fahnen geschrieben, sondern hat auch ein Augenmerk auf die salische Burg Schlössel, die Flieburg Heidenschuh und den Martinsturm, die auf der Gemarkung Klingenmünster liegen (Bild 9). Für die kleine spätromanische Nikolauskapelle unterhalb der Burg Landeck hat die Stiftung eine Patenschaft übernommen (Bild 10). Das Kapellchen war viele Jahre lang nicht für die Öffentlichkeit zugänglich. Jetzt gibt es wieder regelmäßige Öffnungszeiten und einen Kreis von „Kapellenwächtern“, die in den Sommermonaten die Besucher willkommen heißt und nach dem Rechten sehen. Im Kapelleninneren wurden die Wände und der historische Steinboden saniert sowie die Reste der spätromanischen Wandmalereien begutachtet.

Das große Ziel ist und bleibt aber der Bau der Begegnungsstätte. Der Vorstand des Landeckvereins ist zuversichtlich, dass er in absehbarer Zukunft verwirklicht werden kann.

Mehr Informationen über Verein und Stiftung gibt es im Internet: www.landeck-burg.de.

Abbildungen

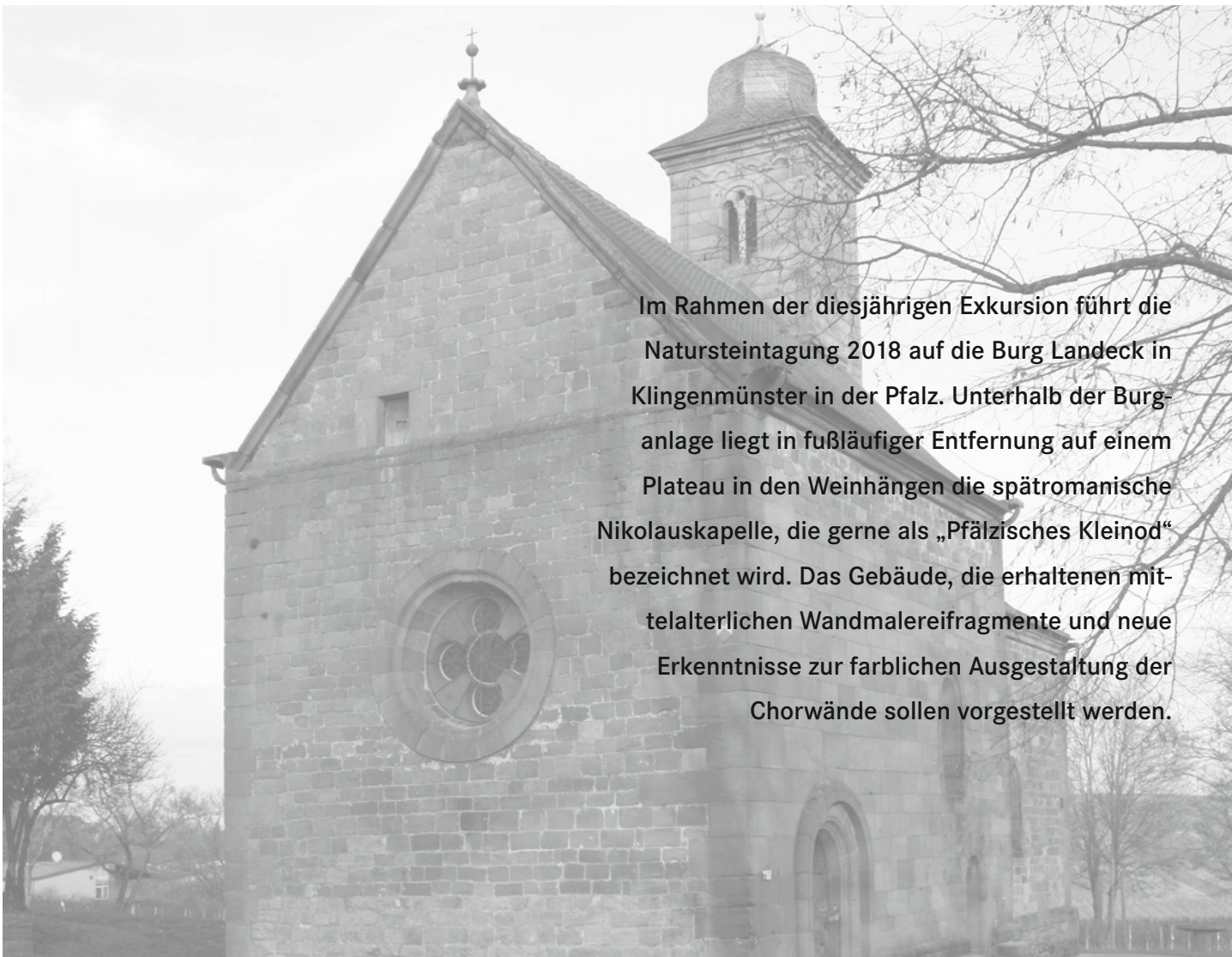
Titelbild, Bilder 2, 5, 6, 7: Nikolaus Gaffga

Bild 4: Jürgen Maerz

Bilder 1, 3, 8, 9, 10: Landeckverein

Die Wandmalereien in der Nikolauskapelle Klingenmünster – früher, heute, zukünftig?

von Karin Schinken



Im Rahmen der diesjährigen Exkursion führt die Natursteintagung 2018 auf die Burg Landeck in Klingenmünster in der Pfalz. Unterhalb der Burganlage liegt in fußläufiger Entfernung auf einem Plateau in den Weinhängen die spätromanische Nikolauskapelle, die gerne als „Pfälzisches Kleinod“ bezeichnet wird. Das Gebäude, die erhaltenen mittelalterlichen Wandmalereifragmente und neue Erkenntnisse zur farblichen Ausgestaltung der Chorwände sollen vorgestellt werden.



Bild 1
Nikolauskapelle Ansicht von Südosten 2017

Die profanierte Nikolauskapelle liegt am nordöstlichen Ortsrand von Klingenstein in den Weinbergen oberhalb des Ortes. Der Bauherr und das Erbauungsjahr der Kapelle sind unbekannt. Die Lage unterhalb der Burg Landeck und in Sichtweite der ehemaligen Benediktinerabtei im Ortskern von Klingenstein legen Bezüge zu den Burgbesitzern oder der Abtei nahe, diese sind aber nicht nachgewiesen. Die kunsthistorische Einordnung der Erbauungszeit variiert zwischen 1190 und 1250 und ist dem Übergang von Romanik zu Gotik zuzuschreiben. Nach wechselvollen Eigentumsverhältnissen, die nur teilweise bekannt sind, gehörte die Kapelle beispielsweise ab 1480 dem Bistum Speyer und 1850 wurde sie durch die Kreisgemeinde Pfalz, juristischer Vorgänger des heutigen Eigentümers, der Bezirksverband Pfalz, erworben. Seit 2013 hat die ortsansässige Burg Landeck Stiftung die Patenschaft für die Kapelle übernommen und engagiert sich für die regelmäßige Öffnung der Kapelle, Besucherführungen und die Pflege des Objektes und der Grünanlage.

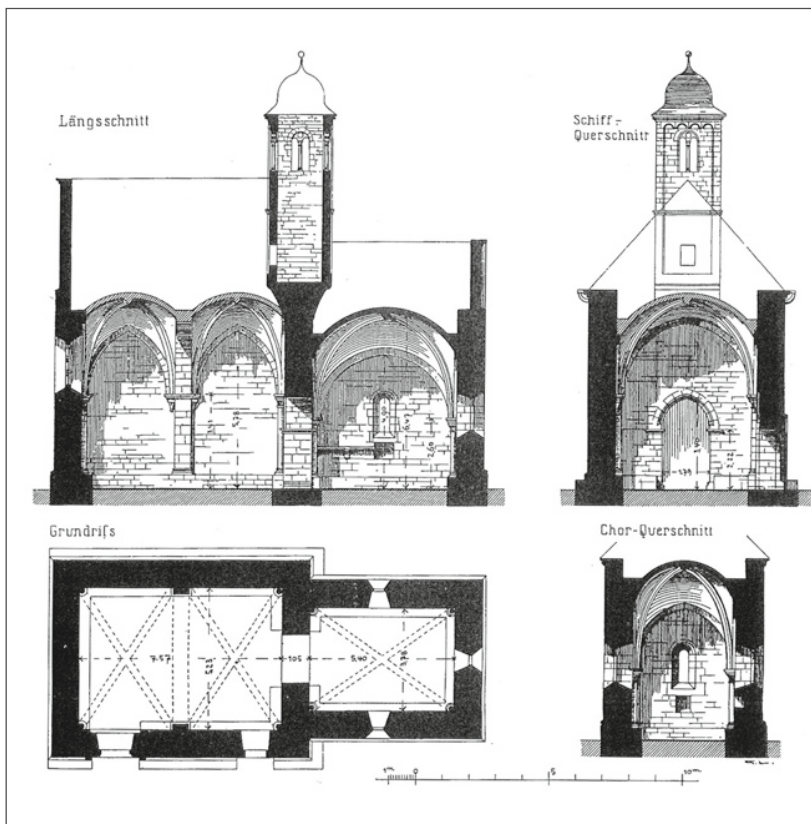


Bild 2
Nikolauskapelle Grundriss und Querschnitt, 1936

1 Das Gebäude

Von 1521 bis 1935 stand die Nikolauskapelle im Verbund mit Wohn- und Wirtschaftsgebäuden des ehemaligen Magdalenenhofes. Dieser wurde 1935 abgerissen und ist aber noch an der Südseite der Kapelle durch erhaltene, steinerne Torpfosten in Teilen nachvollziehbar.

Die heute freistehende, steinsichtige Kapelle besteht aus einem zweijochigen Langhaus, an das der eingezogene rechteckige Chor anschließt. Über dem als Spitzbogen ausgeführten Chorbogen erhebt sich der Kirchturm mit quadratischem Grundriss und barocker Haube (Bild 1).

Die Grundfläche des Kirchenbaus beträgt ca. 16 m in der Länge und 7,23 m in der Breite. Das Langhaus und der Chor werden von Kreuzrippengewölben überspannt (Bild 2). Im Gegensatz zum Langhausgewölbe, das 1924 nach Zerstörung wieder errichtet wurde, ist das bauzeitliche Chorgewölbe erhalten geblieben. Wann das Kirchenschiffgewölbe zerstört wurde und welches Ausmaß



Bild 3
Ansicht von Südwesten
um 1900

Bild 4
Blick von Westen
auf den Chorbogen

die Zerstörung hatte ist nicht bekannt. Remling berichtet 1836 von einem ruinösen Zustand der Nikolauskapelle [5]. Bild 3 zeigt eine Ansicht der Kapelle von Südwesten um 1900.

Besondere Architekturdetails im Chor sind die massiv wirkenden Gewölberippen mit kleeblattförmigem Querschnitt, die niedrigen Ecksäulen mit Palmettenblattwerk verzierten Kapitellen (Ostseite) und attischen Basen mit Ecksporn (Bilder 4 und 5). Im Kirchenschiff sind die Kapitelle der Ostseite ebenfalls mit Blattwerk verziert, an der Westseite hingegen schlicht in Kelchform ausgearbeitet. An den Langhaus- und Chorwänden erhalten ist eine umlaufende Steinbank, die nur durch den Chorbogen unterbrochen wird. Der Bodenbelag besteht aus großformatigen Sandsteinplatten, die 2013/14 im Schiff in Zuge der Einbringung einer kapillarbrechenden Schicht neu versetzt wurden. Einflüsse auf die genannte Bauzier werden sowohl aus dem benachbarten Elsass als auch den kulturhistorisch bedeutenden Zentren Worms und Speyer in der Fachliteratur diskutiert.



Bild 5
Blick von Westen
in den Chorraum

**Bild 6**

Chor Nordwand Hl. Nikolaus,
1935

**Bild 7**

Chor Nordwand Hl. Nikolaus,
1974

2 Die Wandmalereien

An den Wand- und Gewölbeflächen im Chor sind Wandmalerei- und Fassungsfragmente erhalten, die nach heutigem Kenntnisstand mehrfach überarbeitet wurden und ihren Ursprung vermutlich im Beginn des 13. Jahrhunderts haben. Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts sind auf der Nordwand die figürliche Darstellung eines Bischofs (Bilder 6 und 7) und auf der Südwand die Darstellung eines Engels sichtbar [1]. Diese werden als Hl. Nikolaus, Patron der Kapelle, und als Erzengel Michael interpretiert. 1948 konnten im Rahmen einer Untersuchung der Gewölbe und der Wandflächen durch Ernst Pfau Malereifragmente im Gewölbe freigelegt werden. Dabei handelte es sich in den nördlichen und südlichen Gewölbefeldern um stehende Personen in Priestergewändern. Zusätzlich wird im Jahresbericht der Denkmalpflege 1945/46 eine Mariendarstellung im östlichen Giebfeld erwähnt, die nach Glatz [4] bereits Ende der 1979er- bzw. Anfang der 1980er-Jahre nicht mehr erkennbar war. Bei der heutigen Betrachtung vom Boden aus, wirken die Malereifragmente stark reduziert, stellenweise farbschwach und schemenhaft, so dass die Darstellungen für den Betrachter nur schwer ablesbar sind.

3 Restaurierungsgeschichte Wandmalereien

1924 erfolgte eine Restaurierung der Kapelle durch die benachbarte Heil- und Pflgeanstalt Klingemünster (heute Pfalzkrlinikum), bei der das zerstörte Gewölbe des Schiffs wieder hergestellt wurde [3]. 1948 untersuchte Ernst Pfau aus Bad Dürkheim die gesamten Wand- und Gewölbeflächen des Chores und konnte zusätzliche Malereifragmente im Gewölbe freilegen und an den Wandflächen weitere Fragmente erkennen. Die letzte nachweisbare Restaurierung fand 1980 durch den Herxheimer Restaurator Otto Schulz statt, der die Wandflächen der Nord- und Südseite sowie das nördliche und südliche Gewölbesegeel bearbeitete. Eine Dokumentation zu den ausgeführten Arbeitsschritten von Schulz ist leider nicht vorhanden.



4 Restauratorische Untersuchung der Wandmalereien 2017

Im Januar 2017 konnte auf Anregung der Landesdenkmalpflege Rheinland-Pfalz und durch die Finanzierung der Burg Landeck Stiftung eine Untersuchung des Wandmalereibestandes durch die Restauratorin Brigitte Schön durchgeführt werden. Um den Kostenrahmen für die gemeinnützige Stiftung möglichst gering zu halten, wurde ein Arbeitsgerüst in Eigenleistung im Chor errichtet. Von diesem aus waren die Wandflächen komplett, die Gewölbe hingegen nur an den Segelenden erreichbar. Ziel der Untersuchung war die Bestands- und Zustandserfassung der Wandmalereifragmente und die Formulierung von Konservierungsmaßnahmen zu ihrem langfristigen Erhalt. Naturwissenschaftliche Untersuchungen wie Pigment- und Bindemittelanalysen waren zum beschriebenen Zeitpunkt nicht Bestandteil der Untersuchung.

4.1 Nord- und Südwand

Begleitend zur Untersuchung vor Ort wurde eine Archivrecherche durchgeführt, die Fotografien der Wandmalereien aus den Jahren 1935 und 1974 hervorbrachte. Im Vergleich mit aktuellen Aufnahmen von 2017 (Bild 8) ist erkennbar, dass der 1935 fotografierte Bestand bereits sehr fragmentarisch war und sowohl vor 1974 (E. Pfau 1948) als auch nach 1974 (O. Schulz 1980) überarbeitet und ergänzt wurde. So ist beispielsweise im Foto des Hl. Nikolaus von Glatz 1974 oberhalb der als Stifterfigur anzusprechenden, knienden Figur am rechten Bildrand (Bild 7) der Schriftzug „ANSELM“ lesbar, wohingegen dieser 1935 nicht erkennbar war (Bild 6). Zusätzlich erscheinen einige Malereifehlstellen 1974 wieder geschlossener als im Jahre 1935. Im Vergleich der Fotos von 1974 und 2017 fällt zusätzlich auf, dass der Kopf des Hl. Nikolaus, der Nimbus und die Krümme ergänzt wurden. Hierbei handelt es sich, wie es sich später vom Gerüst aus zeigte, um zeichnerische Ergänzungen mit Graphit (Bleistift), die der Restaurierung von Otto Schulz 1980 zuzuschreiben sind (Bild 9). In vergleichbarer Weise belegen die historischen Fotografien ebenfalls die Überarbeitungen der Darstellung des Hl. Michael an der Südwand. Laut Schön

Bild 8

Chor Nordwand Hl. Nikolaus, 2017

Bild 9

Chor Nordwand, Detail Hl. Nikolaus, Kopf, Nimbus und Krümme mit Graphit zeichnerisch ergänzt wohl 1980, deutlich erkennbar ist die Textur der unter der Malschicht liegenden Kalktünche, 2017



Bild 10
Chor Westwand, schematische
Darstellung der nach-
gewiesenen Farbquadrate in
ocker, rot und schwarz



Bild 11
Chor Westwand,
Detail oberer Wandanschluss
an den Gurtbogen

handelt es sich bei den Malereifragmenten um die älteste, nachweisbare Ausmalung. Diese liegt mit Grundierung auf einem 0,6–1,0 cm dicken, bauzeitlichen Kalkputz mit Kalktünche [6].

4.2 Westwand

Ergänzend zu den bereits 1888 [1] publizierten figürlichen Malereien an den Chorwänden konnte im Rahmen der Untersuchung 2017 an der Westwand, sowie in geringerem Umfang auch an allen anderen Wandflächen, ein fragmentarischer Bestand an ockerfarbenen, roten und schwarzen Quadraten identifiziert werden, der als eine schachbrettartige Dekorationsmalerei interpretiert werden kann (Bild 10). Die erkennbaren Quadrate haben eine Kantenlänge von 24 × 24 cm und sind durch farblich variierende Konturlinien in schwarz, ocker oder rot getrennt. Schattierungen oder diagonale Linien innerhalb der Quadrate, die eine dreidimensionale Wirkung erzielen sollen konnten nicht nachgewiesen werden.

Den Anschluss an den Gurtbogen bildete ein ca. 4 cm breites rotes Band. Daran folgten ein ca. 2 cm breiter, unbemalter Streifen im kalkweißen Untergrundton und die äußere, schwarze Konturlinie der schachbrettartigen Malerei. Der Gurtbogen war in Analogie zum roten Begleitband vermutlich ebenfalls rot gefasst (Bild 11).

Eine leichte Verbesserung des Erscheinungsbildes könnte durch die vorsichtige Abnahme lose aufliegender Verschmutzungen in Kombination mit der notwendigen Malschichtfestigung erreicht werden. Eine verbesserte Beleuchtung würde diese Wirkung zusätzlich unterstützen. Da an den Wandflächen keine weiteren figürlichen Fragmente vorhanden sind und detaillierte Informationen über das Bildprogramm fehlen, sind eine Rekonstruktion, Teilrekonstruktion oder die Ausführung von flächigen Retuschen zur Vervollständigung der Malereien nach restaurierungsethischen Grundsätzen auszuschließen, da hierzu jegliche Grundlage fehlt. Vielmehr sollte ein Vermittlungskonzept vor Ort entwickelt und umgesetzt werden, das dem Betrachter Hilfestellungen bietet, um den vorgefundenen Zustand des Chores und die Darstellungen verstehen zu können. Hierbei könnten z. B. Detailaufnahme der zeichnerischen Ergänzungen von 1948 sowie Abbildungen von Vergleichsobjekten und Informationstexte eingesetzt werden. Wenn weitere Erkenntnisse über die Fassungsabfolge und die Gewölbeausmalung vorliegen, könnte zusätzlich eine temporäre bzw. manuell zuschaltbare Lichtprojektion in Betracht gezogen werden, die den Eindruck der nachgewiesenen quadratischen Ausmalung im Chorraum vermittelt ohne in den überlieferten Bestand einzugreifen. Als unabdingbarer Schritt muss allerdings die Konservierung des Bestandes erfolgen, damit dieser für die Nachwelt erhalten werden kann.

5 Zukünftige Umgang mit den Wandmalereien

Seitens der Landesdenkmalpflege Rheinland-Pfalz wurde die Empfehlung ausgesprochen, die Wand- und Gewölbeausmalereien konservieren zu lassen und die Malereifragmente in den Gewölbesiegeln ergänzend zu untersuchen. Vielleicht lassen sich hierdurch die zeitliche Abfolge und die Zusammenhänge zwischen den figürlichen Darstellungen und der überwiegend am Chorbogen erhaltenen Dekorationsmalerei klären. Die zeichnerischen Ergänzungen und Überarbeitungen aus den vorherigen Restaurierungen sind als überlieferter Bestandteile der Malerei zu sehen und sind ebenfalls als erhaltenswert einzustufen.

Literatur

- [1] Breitling Eugen, Kalender für kath. Christen auf das Schaltjahr 1888
- [2] Decker Albert, Der Magdalenenhof bei Klingenmünster und seine frühen Nachbarhöfe, 1950
- [3] Ekardt Anton, Die Kunstdenkmäler der Pfalz, IV. Bezirksamt Bergzabern, 1936, unveränderter Nachdruck 1976
- [4] Glatz Joachim, Mittelalterliche Wandmalereien in der Pfalz und in Rheinhessen, 1981
- [5] Remling Franz Xaver, Urkundliche Geschichte der ehemaligen Abteien und Klöster im jetzigen Rheinbayern, Neustadt a. d. Haardt, 1836, S. 88ff

- [6] Schön Brigitte, unveröffentlichter Untersuchungsbericht - Nikolauskapelle Klingenmünster, 2017, GDKE Direktion Landesdenkmalpflege, Mainz Erthaler Hof, Restaurierungsarchiv
- [7] Übel Rudolf, Nikolauskapelle und ehemaliger Magdalenenhof bei Klingenmünster,-sakrales Kleinod und vergangene Kostbarkeit, Burg Landeck Stiftung, 2014

Die zuständige Denkmalfachbehörde wurde 2016/17 an diesem Objekt vertreten durch die zuständige Gebietsreferentin Frau Dr. Ulrike Weber und Frau Karin Schinken, die zu dieser Zeit für die Landesdenkmalpflege Rheinland-Pfalz tätig war.

Abbildungen

Bilder 1, 4, 5: K. Schinken

Bild 2: A. Ekardt 1936

Bild 3: Burg Landeck Stiftung

Bilder 6, 8–11: B. Schön

Bild 7: J. Glatz

Mag. art., B. Arch. Matea **Ban**
Technische Universität Wien
Institut für Geotechnik
Forschungsbereich für Ingenieurgeologie
matea.ban@tuwien.ac.at

Restaurator (M.A.) Benjamin **Hübner**
Konservierung und Restaurierung -Stein-
Siefertstr. 7, 14467 Potsdam
benjamin_huebner@gmx.de

Dr.-Ing. Andreas **Bruschke**
MESSBILDSTELLE
Gesellschaft für Photogrammetrie und
Architekturvermessung mbH
Altplauen 19 (Bienertmühle), 01187 Dresden
andreas.bruschke@messbildstelle.de
www.messbildstelle.de

Dipl.-Ing. Ludolf **Krontal**
Marx Krontal GmbH
Uhlemeyerstraße 9+11, 30175 Hannover
www.marxkrontal.com
info@marxkrontal.com

Dipl.-Ing. Rüdiger **Burkhardt**
Ingenieurbüro f. Bauwerkserhaltung
Weimar GmbH
Zum Hospitalgraben 2, 99425 Weimar
info@ibw-weimar.de

Dipl.- Politologe, M.A. Heiko **Krüger**
Steinrestaurierung Ellwart GmbH & Co. KG
Lüneburger Strasse SBB 405, 10557 Berlin
Färbergasse 8 A, 96052 Bamberg
www.ellwart-steinrestaurierung.de
krueger@kulturerben.com

Dr. rer. nat. Petra **Egloffstein**
Diplom-Mineralogin
Institut für Steinkonservierung e. V.
Große Langgasse 29, 55116 Mainz
www.ifs-mainz.de
egloffstein@ifs-mainz.de

Mag. art. Elisabeth **Mascha**
Universität für angewandte Kunst Wien
Institut für Kunst und Technologie
Abteilung für Naturwissenschaften
in der Konservierung
elisabeth.mascha@uni-ak.ac.at

Dipl.-Ing. Architekt Ulrich **Ellwart**
Steinmetz
Steinrestaurierung Ellwart GmbH & Co. KG
Lüneburger Straße SBB 405, 10557 Berlin
Färbergasse 8 A, 96052 Bamberg
www.ellwart-steinrestaurierung.de
info@ellwart-steinrestaurierung.de

Prof. Dr. Jeannine **Meinhardt**
Studiengang Konservierung und Restaurierung
Stein, Fachhochschule Potsdam,
Kiepenheuerallee 5, 14469 Potsdam
meinhardt@fh-potsdam.de

M.Sc. Falk **Hoffmann-Berling**
Marx Krontal GmbH
Uhlemeyerstraße 9+11, 30175 Hannover
www.marxkrontal.com
info@marxkrontal.com

Rita **Reich**
Freie Journalistin
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
beim Landeckverein
ritareich@gmx.de

Restauratorin (M.A.) Karin **Schinken**
Landesamt für Denkmalpflege B.-W.
Berliner Straße 12, 73728 Esslingen a. Neckar
karin.schinken@rps.bwl.de

Dipl.-Ing. (FH) Architektin Doris **Stolle**
Stabsstelle Bau und Technik
Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz
Festung Ehrenbreitstein, 56077 Koblenz
doris.stolle@gdke.rlp.de

Dipl.-Rest. (M.A.) Katja **Schmeikal**
Studiengang Konservierung und Restaurierung
Stein, Fachhochschule Potsdam
Kiepenheuerallee 5, 14469 Potsdam
schmeikal@fh-potsdam.de

Dipl.-Inf. (FH) Sebastian **Vetter**
fokus GmbH Leipzig
Lauchstädter Straße 20, 04229 Leipzig
www.fokus-GmbH-Leipzig.de
vetter@fokus-gmbh-leipzig.de

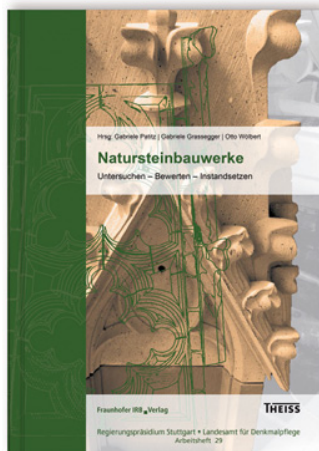
Johannes **Schubert**
Leiter der Dombauhütte Xanten
Dombauhütte St. Viktor
Verein zur Erhaltung des Xantener Domes e. V.
Kapitel 10, 46509 Xanten
dombau@web.de

Prof. Dr. Johannes **Weber**
Universität für angewandte Kunst Wien
Institut für Kunst und Technologie
Abteilung für Naturwissenschaften
in der Konservierung
johannes.weber@uni-ak.ac.at

Dipl.-Ing. Gunnar **Siedler**
fokus GmbH Leipzig
Lauchstädter Straße 20, 04229 Leipzig
www.fokus-GmbH-Leipzig.de
siedler@fokus-gmbh-leipzig.de

Direkt online bestellen:
www.baufachinformation.de

Umfassendes Wissen für Natursteinbauwerke



Natursteinbauwerke

Untersuchen – Bewerten – Instandsetzen

Die Bausubstanz vieler Natursteinbauwerke ist durch Umwelteinflüsse gefährdet. Für die Erfassung und Bewertung von Schäden sowie für die Planung und Ausführung von Instandsetzungen ist ein umfassendes Fachwissen erforderlich, das dieses Buch liefert. Es befasst sich ausführlich mit der Bestandsaufnahme am Gebäude, der Kartierung von Schäden sowie geeigneten Sanierungsmaßnahmen. Die zahlreichen Autoren gehen dabei gezielt auch auf planerische Aspekte, Strategien zur Schadensprävention und aktuelle Normen ein.

Hrsg.: Gabriele Patitz, Gabriele Grassegger, Otto Wölbert

2014, 300 Seiten, zahlr. Abb. und Tab., Softcover
ISBN 978-3-8167-9196-6



Fraunhofer IRB Verlag
Der Fachverlag zum Planen und Bauen

Nobelstraße 12 ■ 70569 Stuttgart ■ irb@irb.fraunhofer.de ■ www.baufachinformation.de

Direkt online bestellen:
www.baufachinformation.de

Natursteinbauwerke im Mittelpunkt



Natursteinsanierung Stuttgart 2017

Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse
und messtechnische Erfassungen

In diesem Band stehen Natursteinbauwerke und deren Erhaltung im Mittelpunkt. An verschiedenen Objekten wird gezeigt, wie wichtig solide Planungen und Voruntersuchungen für eine gelungene Ausführung sind. Im Tagungsband von 2017 stellen Gewölbesicherungen einen Schwerpunkt dar. Dass organische und anorganische Komponenten von Verschmutzungen auf Bauwerksfassaden Folgen für die Reinigungstechnik haben, wird vorgestellt. Die Erfahrungsberichte aus der Praxis zeigen die täglichen Herausforderungen bei Arbeiten an denkmalgeschützten Bauwerken.

Hrsg.: Gabriele Patitz, Gabriele Grassegger, Otto Wölbert

2017, 112 Seiten, 168 Abb. u. 8 Tab., Softcover
ISBN 978-3-8167-9863-7

Zur Vervollständigung Ihrer Bibliothek – die Tagungsbände der Jahre 2010 bis 2016

Natursteinsanierung Stuttgart 2010

2010, 196 Seiten, zahlr. Abb. u. Tab., Softcover
ISBN 978-3-8167-8254-4

Natursteinsanierung Stuttgart 2011

2011, 156 Seiten, zahlr. Abb. u. Tab., Softcover
ISBN 978-3-8167-8461-6

Natursteinsanierung Stuttgart 2012

2012, 160 Seiten, zahlr. Abb. u. Tab., Softcover
ISBN 978-3-8167-8660-3

Natursteinsanierung Stuttgart 2013

2013, 120 Seiten, zahlr. Abb. u. Tab., Softcover
ISBN 978-3-8167-8924-6

Natursteinsanierung Stuttgart 2014

2014, 128 S., zahlr. zahlr. Abb. u. Tab., Softcover
ISBN 978-3-8167-9167-6

Natursteinsanierung Stuttgart 2015

2015, 136 S., zahlr. Abb. u. Tab., Softcover
ISBN 978-3-8167-9404-2

Natursteinsanierung Stuttgart 2016

2016, 132 Seiten, zahlr. teilw. farb. Abb. u. Tab., Softcover
ISBN 978-3-8167-9598-8

Fraunhofer IRB Verlag

Der Fachverlag zum Planen und Bauen

Nobelstraße 12 ■ 70569 Stuttgart ■ irb@irb.fraunhofer.de ■ www.baufachinformation.de

ISBN 978-3-7388-0098-2



9 783738 800982



Hochschule
für Technik
Stuttgart

Fakultät B, Bauingenieurwesen



IGP Ingenieurbüro
Dr. Ing. Gabriele Patitz

in Zusammenarbeit mit



Baden-Württemberg

REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTART
LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE

