

# naturstein sanierung stuttgart 2014

Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse  
und messtechnische Erfassungen

7. März 2014

Fraunhofer IRB Verlag

<https://doi.org/10.51202/0793019791993> - Generiert durch IP 216.78.216.36, am 21.01.2025, 21:29:54. © 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 2014

**Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen  
sowie Sanierungsbeispiele**

Tagung am 7. März 2014 in Stuttgart

## Herausgeber

### **Dr.-Ing. Gabriele Patitz**

Ingenieurbüro IGP für Bauwerksdiagnostik und Schadensgutachten  
Alter Brauhof 11, 76137 Karlsruhe  
Telefon: (0721) 3 84 41 98  
Telefax: (0721) 3 84 41 99  
Email: mail@gabrielepatitz.de  
www.gabrielepatitz.de

### **Prof. Dr. Gabriele Grassegger**

Fakultät Bauingenieurwesen, Fachgebiet: Bauchemie und Baustoffkunde  
Hochschule für Technik (HFT)  
Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart

## mit Unterstützung des

Landesamtes für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart  
FB Restaurierung, Otto Wölbert  
Berliner Straße 12, 73726 Esslingen am Neckar

## Satz und Layout

**Manuela Gantner** – punkt, STRICH – Karlsruhe

## Druck und Bindung

**Fraunhofer IRB Verlag** – Stuttgart

## Einband

Foto: Bauornamentik am Berner Münster (G. Patitz, Karlsruhe)  
Fotogrammetrie: Berner Münster, Ansicht von Osten (Berner Münster-Stiftung, Bern)

## 1. Auflage

2014 Fraunhofer IRB Verlag,  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

ISBN (Print): 978-3-8167-9167-6

ISBN (E-Book): 978-3-8167-9168-3

Alle Rechte vorbehalten.

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

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

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

**Liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer, liebe Leserinnen und Leser,**

wir können dieses Jahr auf 20 erfolgreiche Veranstaltungen der Fachtagung Natursteinsanierung zurückblicken. Die Tagung wurde erstmalig 1985 in Bern durch Herrn Koblischek ins Leben gerufen und ausgerichtet. Seit 2004 findet dieses Treffen von Denkmalpflegern, Restauratoren, Architekten, Ingenieuren, Steinmetzen, Baubehörden und ausführenden Baufirmen sowie Kollegen aus der Forschung und Lehre in Stuttgart statt.

Inzwischen hat sich die jährliche Tagung im März zu einer festen Institution entwickelt. Wir begrüßen zahlreiche Gäste und Referenten aus ganz Deutschland, der Schweiz und Österreich.

Diesen Anlass nutzend möchten wir uns hier bei allen Referenten, Ausstellern und Mitarbeitern ganz herzlich für Ihre Mitarbeit, Ideen und Unterstützung bedanken. Gemeinsam mit Ihnen werden wir auch zukünftig dieses Forum nutzen, um neue Ergebnisse aus der Forschung und Entwicklung, deren praktische Umsetzung und Erfahrungen an Bauwerken und Bauteilen aus Naturstein vorzustellen und zu diskutieren.

Dieses Jahr steht das Berner Münster in unserem Fokus. In zwei Beiträgen wird die Arbeitsweise der Münsterbauhütte und der Berner Münster-Stiftung vorgestellt. Bei der Exkursion wird durch Fachführungen auf die praktische Umsetzung der Arbeiten am Naturstein eingegangen.

Weitere Themen sind die Rolle des Architekten bei der Planung und Durchführung steinrestauratorischer Arbeiten am Beispiel der Veste Heldburg, eine Beurteilung heutiger moderner Bauaufnahmefethoden im Bezug zu bisherigen Forderungen nach Genauigkeitsstufen – Sind diese noch zeitgemäß?

Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von erfahrenen Spezialisten aus den Bereichen Voruntersuchungen, Planung und Ausführung ist für die erfolgreiche Erhaltung und Instandsetzung insbesondere bei wertvollen historischen Objekten unerlässlich. Diese Herangehensweise stellen wir hier an Bogenbrücken aus Natursteinmauerwerk in mehreren Beiträgen vor. Am aktuellen Beispiel der Steinernen Brücke in Regensburg, Welterbestätte der UNESCO, wird die Frage aufgeworfen ob es sich hierbei um ein Museumsstück oder ein Verkehrsbauwerk handelt. Im diesem Spannungsfeld stehen alle Beteiligten mit ihren Untersuchungen, Bewertungen und Instandsetzungsvorschlägen.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Fachtagung und eine ebenso inspirierende Lektüre des Tagungsbandes.

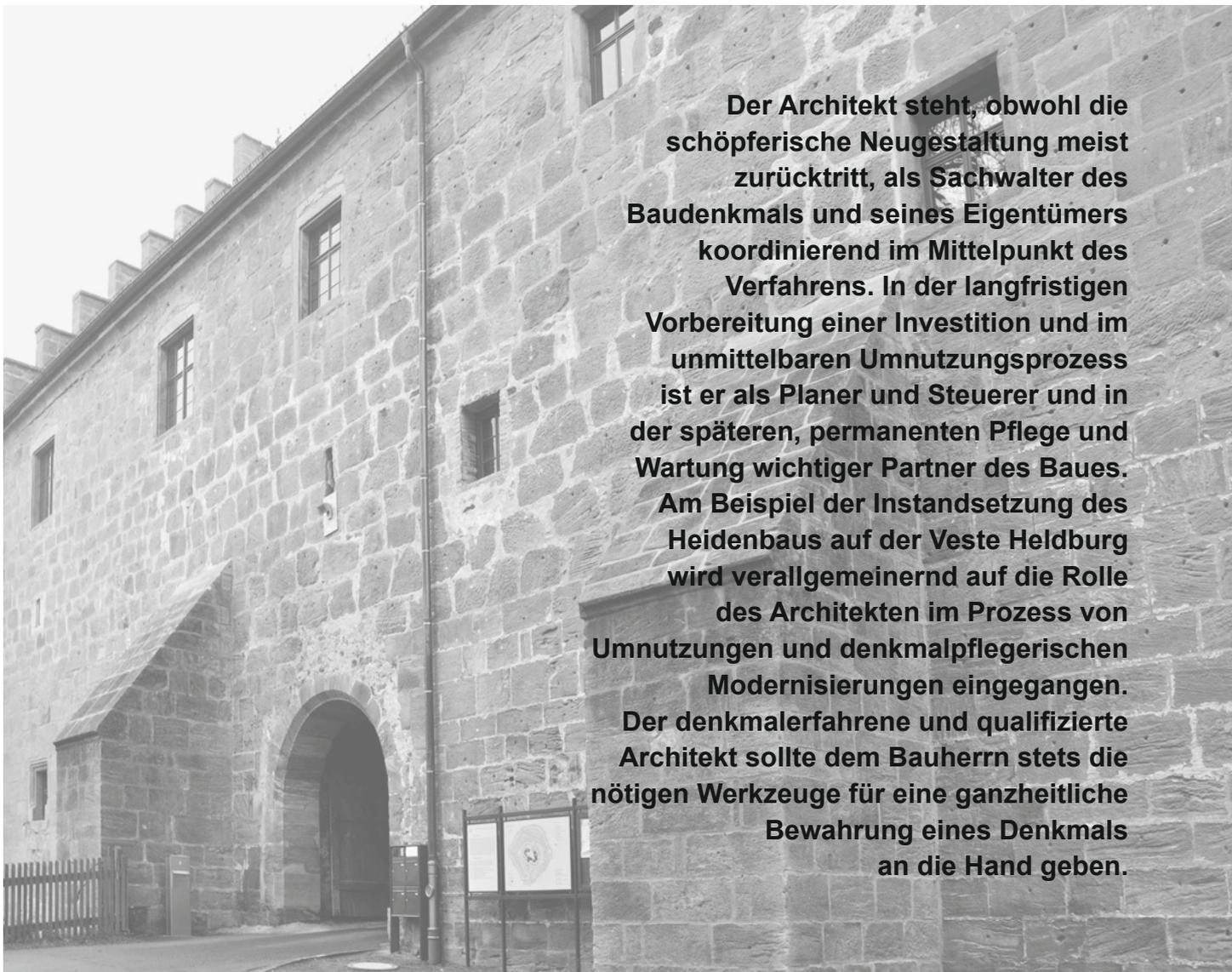


Jörg Möser	Die Rolle des Architekten bei der Planung und Durchführung steinrestauratorischer Arbeiten am Beispiel des Heidenbaus der Veste Heldburg	7
Andreas Brusckhe	Hoher Dom zu Fulda und Porta Nigra in Trier: Was können heutige Bauaufnahmefethoden leisten und sind die „Genauigkeitsstufen“ noch zeitgemäß?	21
Andreas Bewer Gabriele Patitz Ralf Schuster Eberhard Wendler Sylvia Stürmer	Interdisziplinäre Bestandserfassung und Bewertung einer denkmalgeschützten Bogenbrücke aus Natursteinen mit Instandsetzungs- und Ertüchtigungskonzept	33
Ralph Egermann	Museumsstück oder Verkehrsbauwerk? Aspekte zur Instandsetzung der Steinernen Brücke in Regensburg	57
Annette Loeffel Christoph Schläppi Peter Völkle	Baupflege am Berner Münster	75
Hans-Dieter Jordan Erich Erhard	Konstruktive Restauration von Ingenieurbauwerken – Werkbericht über die Instandsetzungsarbeiten am Bahnviadukt Selbach	101
Markus Sandner Sebastian Sandner	Historisches Waldschlösschen Dresden – Restaurierung der Sandsteinfassade	111
	Autorenverzeichnis	126



# Die Rolle des Architekten bei der Planung und Durchführung steinrestauratorischer Arbeiten am Beispiel des Heidenbaus der Veste Heldburg

von Jörg Möser



Der Architekt steht, obwohl die schöpferische Neugestaltung meist zurücktritt, als Sachwalter des Baudenkmals und seines Eigentümers koordinierend im Mittelpunkt des Verfahrens. In der langfristigen Vorbereitung einer Investition und im unmittelbaren Umnutzungsprozess ist er als Planer und Steuerer und in der späteren, permanenten Pflege und Wartung wichtiger Partner des Baues. Am Beispiel der Instandsetzung des Heidenbaus auf der Veste Heldburg wird verallgemeinernd auf die Rolle des Architekten im Prozess von Umnutzungen und denkmalpflegerischen Modernisierungen eingegangen. Der denkmalerfahrene und qualifizierte Architekt sollte dem Bauherrn stets die nötigen Werkzeuge für eine ganzheitliche Bewahrung eines Denkmals an die Hand geben.

## 1 Architektur oder Denkmalpflege

„Die Arbeit des Architekten in der Denkmalpflege sieht man nicht – wenn sie gut gemacht ist.“ Dieses oft benutzte Diktum beschränkt die Sanierungstätigkeit auf eine pure Schadensermittlung, Ausschreibung und Bauleitungsarbeit. Die Gestaltungsfragen, wie Farbfassungen u. ä., klärt der zuständige Denkmalpfleger bestenfalls in Abstimmung mit dem Restaurator. Der Architekt kann das dann ausschreiben und überwachen. So oder ähnlich lauten die des Öfteren geäußerten Meinungen.

Auch wenn bei der Modernisierung eines Baudenkmals nicht in jedem Fall moderne Gestaltungselemente beim notwendigen Ersatz von verlorenen Bauteilen oder Ausstattungen zum Tragen kommen oder funktionale Erweiterungen erforderlich sind, die dann im Sinne einer Architekturentwicklung stets zeitgemäß sein sollten, greift diese Einschätzung zu kurz. Nicht erst heute werden Umbau- und Modernisierungsaufgaben als Architektenleistungen zweiter Klasse tituliert<sup>1</sup>. In aktuellen Diskursen kommt nicht selten gar das Verdikt zustande, dass „modern Gebautes“ zur *Architektur*, Rekonstruiertes und Erhaltenes zur *Denkmalpflege* zuzuordnen sei<sup>2</sup>.

## 2 Rolle des Architekten

Es lohnt sich, bei einer apostrophierten Scheidung in zwei Fachgebiete die grundsätzliche Zielsetzung der Architektenarbeit zu beachten. Gebäude, die der Mensch benutzt – egal wie alt –, sind stets Werke der *Architektur*, sind also Teil des *Prozesses und ein Ergebnis der künstlichen und künstlerischen Gestaltung der baulichen Umwelt für die Lebenstätigkeiten des Menschen*. Veränderungen, Reparaturen und Erneuerungen sind permanent. Grundsatz der Denkmalpflege ist es, *Baudenkmale als Zeugnisse vergangener Zeiten und Kulturen zu erhalten. Die Aufgabe der Denkmalpflege besteht darin, diese Zeugnisse möglichst unverfälscht in ihrer vorhandenen Substanz zu sichern und an nachfolgende Generationen als „echtes“ Kulturerbe weiterzugeben*<sup>3</sup>.

1 Siehe dazu: Theresia Gürtler Berger: Umnutzung, in: Beiträge zur Instandsetzung von Baudenkmalen des 20. Jahrhunderts, <http://www.denkmalpraxismoderne.de>; Wüstenrot Stiftung, Gemeinschaft der Freunde Deutscher Eigenheimverein e. V., Ludwigsburg, 2011

2 So vielfach bewertet, u. a. bei: Oskar Spital-Frenking: *Architektur und Denkmal; Der Umgang mit bestehender Bausubstanz: Entwicklungen, Positionen, Projekte*, Leinfeld-Echterdingen, 2000

3 So z. B. beschrieben auf der Internetseite des Landesamtes für Denkmalpflege Baden-Württemberg im Regierungspräsidium Stuttgart, Referat 81, Fachgebiet Öffentlichkeitsarbeit, Berliner Straße 12, 73728 Esslingen (Neckar); Stand: 30.10.2013

Jedes Bauwerk ist an den utilitären Gebrauch und die ästhetische Kontemplation und ihren Symbolgehalt gebunden, an *Gebrauch und Wahrnehmung* im Sinne Walter Benjamins<sup>4</sup>. Neben dem Erhalt und der Pflege muss sich jedes Bauwerk weiterentwickeln.

Ergo ist die *Gesamtheit aller Maßnahmen des Menschen zur Pflege, Konservierung und Wiederherstellung von denkmalgeschützter Bausubstanz* – also Denkmalpflege – ein inhärenter Bestandteil des architektonischen Schaffens an einem Bauwerk, von der ersten Entwurfsidee bis zur Entsorgung des Abbruchmaterials.

Um- oder Neunutzung bestehender Bausubstanz ist heute eine der Hauptaufgaben für Architekten, Bauherren und Investoren und Alltagsarbeit für die Denkmalpflege. Nichts liegt dabei näher, den Architekten, früher den Baumeister, im Mittelpunkt dieses Prozesses zu sehen.

Aus der Erfahrung zahlreicher Projekte soll u. a. mit dem Beispiel der Instandsetzung und Umnutzung des Heidenbaus auf der Veste Heldburg auf die zentrale Rolle des Architekten näher eingegangen werden.

Er sollte im besten Falle im Mittelpunkt als Sachwalter des Baudenkmals und seines Eigentümers stehen und in allen Schritten

- in der langfristigen Vorbereitung einer Investition (Kaufberatung, Bewertung, Nutzungspotential u. a.)
- im unmittelbaren Umnutzungsprozess als Planer und Steuerer des Prozesses sowie
- in der späteren, permanenten Pflege und Wartung des Baues

dem Bauherrn die nötigen Werkzeuge in die Hand geben.

Nicht immer gibt es, wie in diesem Fall die Stiftung Thüringer Schlösser und Gärten Rudolstadt als Bauherr, ein professionelles Fachorgan, das die erforderlichen Schritte beherrscht.

## 3 Zur Baugeschichte des Heidenbau der Veste Heldburg

Der sogenannte Heidenbau ist ein Bauwerk auf der Veste Heldburg, eine über die Zeiten oft veränderte hochmittelalterliche Burganlage, und als Höhenburg

4 Walter Benjamin: *Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit* [1936] Walter Benjamin: *Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit*; in: *Allegorien kultureller Erfahrungen*, Reclam-Verlag, Leipzig, 1984, S. 414 – Bei einer Rezeption ohne – zugegebenermaßen notwendige – Vorbildung erscheinen auch der Campanile in Venedig (1907) und die Michaeliskirche in Hamburg (1912) als „alte Originale“.

zu bezeichnen. Vermutlich im 12. bis 13. Jahrhundert erbaut wird sie früh wegen ihrer exponierten Lage „Fränkische Leuchte“ genannt als Pendant zur „Fränkischen Krone“, der Veste Coburg. Die Baugeschichte der Burg und der Schlossanlage ist laufender Forschungsgegenstand<sup>5</sup>.

Am Anfang des 14. Jahrhunderts ist die Burg im Besitz der Grafen von Henneberg-Schleusingen nachweisbar und diente vielleicht als Ministerialen-, Amts- oder Gerichtssitz.

Ab 1374 im Besitz der Wettiner ließ nach zahlreichen kleineren Veränderungen Kurfürst Johann Friedrich der Mittlere die Veste ab 1565 zur herzoglichen Resi-

denz mit dem sogenannten *Französischen Bau* ausbauen (Abb. 1).

Nach mehreren Eroberungen und Plünderungen im Dreißigjährigen Krieg wurde die Anlage neu befestigt und nach 1776 als Residenz der ernestinischen Herzöge von Sachsen-Hildburghausen genutzt. Nach 1871 ging sie in das Privateigentum des Meininger Fürstenhauses Herzog Georgs II. von Sachsen-Meiningen über, der sie 1874–1898 umfassend erneuern und ausstatten ließ. Nach dem Zweiten Weltkrieg lag die Veste Heldburg im Grenzgebiet der DDR und wurde bis 1982 als Amtsgericht, Schule und Kinderheim genutzt. Im Jahre 1982 beschädigte ein Großbrand den Französischen Bau stark und vernichtete nahezu die gesamte Innenausstattung. Der Wiederaufbau des Rohbaus der Brandruine begann 1990 und war 2008 abgeschlossen (Abb. 2).

Der Heidenbau, der von dem Brand 1982 nur mittelbar betroffen war, ist von einer sehr heterogenen Nutzungsgeschichte geprägt. Die ursprüngliche mittelalterliche Bauabsicht als sehr großer Bau von 16 × 38 m Grundfläche kann nur erahnt werden. Ihm

5 Als erste umfassende Arbeit zur Baugeschichte ist die der Universität Bamberg vorgelegte Magisterarbeit von Hagenguth, Claudia zu nennen: Veste Heldburg, Ansätze zur Rekonstruktion der Burganlage im 16. Jahrhundert, Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Prof. Dr. Ullrich Großmann, Bamberg 2006, unveröffentlichtes Manuskript; aktuell vorgelegt u. a.: Hagenguth, Claudia, Die Baugeschichte der Veste Heldburg in Mittelalter und Früher Neuzeit, in: Die Veste Heldburg, Beiträge zur Erforschung und Sanierung, Berichte der Stiftung Thüringer Schlösser und Gärten, Petersberg, 2013

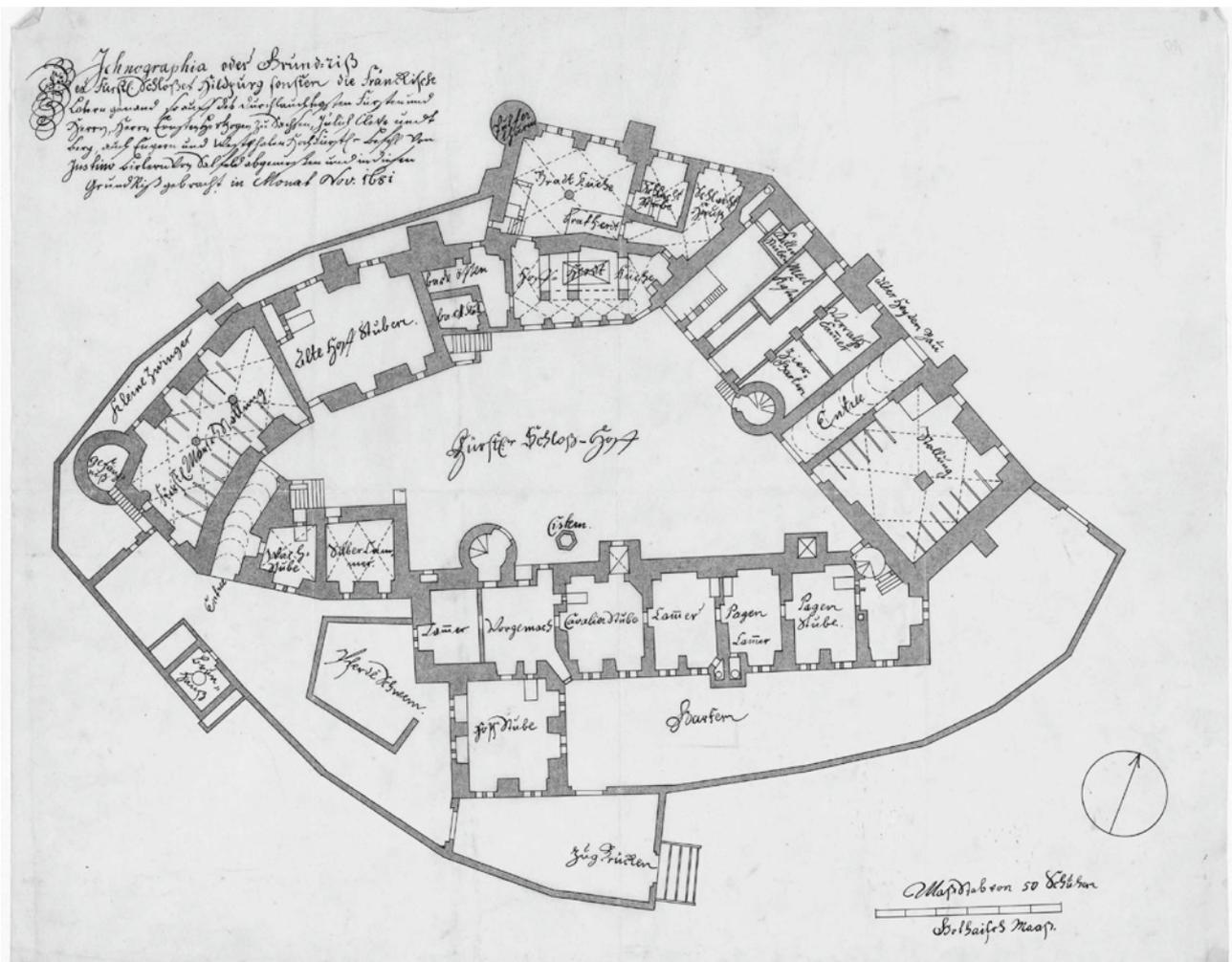


Abb. 1: Veste Heldburg, Bestandsaufnahme in einem Inventar von 1681, ThStA Meiningen, Hofbauamt Mappe 11, Blatt 6



Abb. 2: Veste Heldburg, Luftaufnahme, Zustand 2008, Aufnahme STSG Rudolstadt

kommt aber allein wegen der Größe eine gewisse historische Bedeutung zu (Abb. 3).

Über die Jahrhunderte wurde er mehrfach umgebaut und repariert (so die hofseitige Fachwerkwand und der Dachstuhl 1832ff.) und enthielt neben Wirtschaftsfunktionen für etwa 300 Jahre die Schlosskappelle, deren Ausstattung jedoch nicht bekannt ist (Abb. 4). Prägend für die heute erlebbare Architektur des Außenbaus, der hier im Vordergrund stehen soll, sind die großformatigen Sandsteinquader aus verschiedenen Epochen, die auch nach der letzten Restaurierungsphase 2009–2011<sup>6</sup> unverputzt sind (Abb. 5).

6 Leitender Restaurator und verantwortlich für die bauhistorischen Dokumentationen war Jürgen Schulz, Winne/Breitungen.

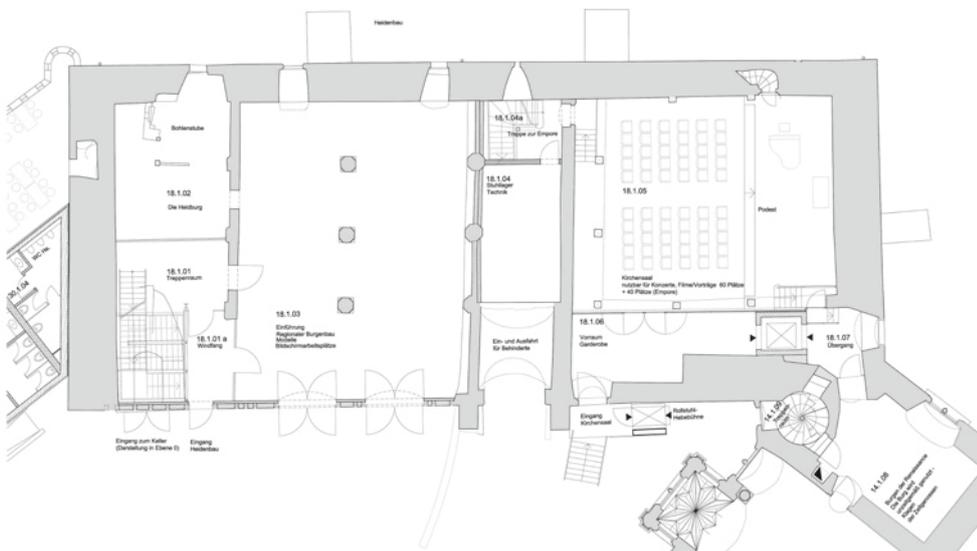


Abb. 3: Entwurfsplanung, Grundriss Erdgeschoss, o. M., Zeichnung Architektengemeinschaft Milde + Möser, 2009

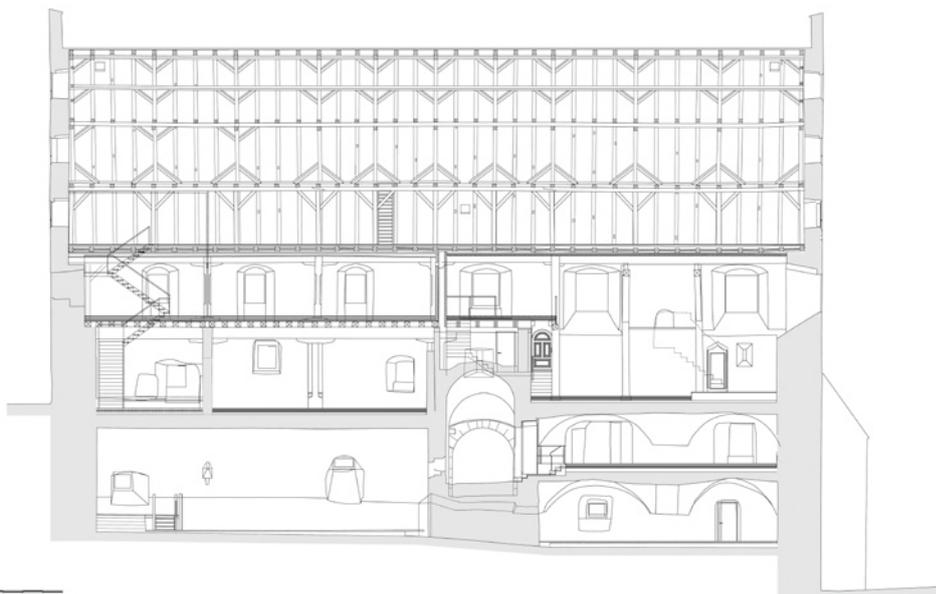


Abb. 4: Entwurfsplanung, Längsschnitt, o. M., Zeichnung Architektengemeinschaft Milde + Möser, 2009



Abb. 5: Veste Heldburg, Heidenbau, Ansicht von Süden, Zustand 2009

#### 4 Methodik der Planungsvorbereitung

Die Grundlagen des architektonischen und denkmalpflegerischen Erfolges und der Nachhaltigkeit werden in der Rezeption der architektonischen und räumlichen Qualität und der Funktionalität, dem Erkennen und Interpretieren des baulichen Wesens, seiner Struktur und Materialität, der Systematik und auch den Grenzen des Bauwerks gelegt.

Der Heidenbau, der vielfältige Nutzungen u. a. als Lagerhaus, Kirche und Wohnstätte hatte, erfährt seine Um- bzw. Neunutzung als Revitalisierung aus seinem gewachsenen Baubestand heraus. Diese orientiert sich an dessen Bauweise und Gefüge, dem räumlichen, geistigen und materiellen Angebot. Die Grenzen, die das Gebäude vorgibt, werden so zum ausschöpfbaren Potential.

Bei größeren Investitionsvolumen, wo meist eine spezielle Projektsteuerung besteht, oder bei spezialisierten Bauverwaltungen, wie die der Stiftung in Rudolstadt, verlagern sich die Schwerpunkte. Bei Privateigentümern oder Bauämtern ohne dezidierte Denkmalqualifikation hat der Architekt die Rolle des Gesamtkoordinators zu erfüllen. Auch wenn die Schwerpunkte in jedem Projekt differieren, sind allgemeine Aufgabenstellungen und Arbeitsinhalte gleich.

Der Architekt muss als universeller Lenker des Gesamtprozesses in Vorbereitung, Kommunikation und Controlling alle Planungsschritte beherrschen, um einen ganzheitlichen Erfolg zu erreichen. Die Unterbewertung von einzelnen Teilen birgt stets die Gefahr, den Erfolg in technischer, ästhetischer und wirtschaftlicher Sicht zu gefährden.

Anhand der allgemeinen Arbeitsmethodik des Verfassers soll, untersetzt mit Beispielen des Heidenbaus,

auf bestimmte Schritte vor dem eigentlichen Planungsprozess (die projektspezifisch variieren) eingegangen werden:

##### 1. Grundsätzliche Zielstellungen, Nutzungskonzept, Investitionsplan

Hier ist häufig eine langwierige und differenzierte Vorbereitungsphase mit Gebäudebewertung, Kaufberatung, Investitionsplanung, Klärung von generellen Nutzungsmöglichkeiten, übergeordneten Planungsprämissen, Recherche nach vorhandenen Unterlagen und nicht zuletzt einem robusten Gerüst für die Planung, Bauumsetzung und Wartung des Bauwerks zu leisten. In dieser Phase ist häufig die Konsultation von Fachleuten und der Denkmalbehörde ratsam (Abb. 6).

##### 2. Bauaufnahme als Dokumentation und Planungsinstrument

Die Definition von Anforderungen und Ansprüchen an eine qualifizierte Bauaufnahme und die wirtschaftliche und fachliche Vergleichbarkeit von Bauaufnahmen ist ein allgemeines Desiderat. Hierfür fehlen trotz einschlägiger Empfehlungen häufig genaue Arbeitsgrundlagen und die nötige Erfahrung beim Bauherrn.

Effektiv ist eine vorbereitende Aufgabenstellung und Ausschreibung unter qualifizierten Vermessern mit allen benötigten Inhalten, Genauigkeitsgraden, Aufnahmebestandteilen, Fixierung der aufzunehmenden Bauteile, Ausstattungen, Befunde, Schäden und Konstruktionen. Maßstäbe, Aufnahmetechniken, Arbeitsbereich und Darstellungskriterien (Layerstrukturen u.ä.) sollten vom Architekten vorgegeben werden (Abb. 7).

Dabei muss geprüft sein, welche Bauwerksteile aufgenommen werden sollen, welche Inhaltstiefe (nicht immer ist eine Genauigkeit von  $\pm 1$  cm notwendig), welche Details und Oberflächen erreicht werden müssen. Die Terminabfolge und Wirtschaftlichkeit muss beachtet werden.

Gerade aus Kostengründen sollte überlegt werden, ob entzerrte Messbilder, stein- und fugengerechte Aufnahmen o. a. erforderlich sind (Abb. 8).

##### 3. Erstellung eines Raumbuchs und Detaildokumentationen

Die umfassende Aufnahme der Ausstattungen und Oberflächen in einem Raumbuch ist gerade bei größeren Bauten ein Gebot der Gründlichkeit und ein effektives Werkzeug für die gesamte Voruntersuchung, die Planung und Bauüberwachung.

Die fotografische und beschreibende Aufnahme nach einer festzulegenden, verbindlichen Nomenklatur (Bauwerksteil, Geschoss, Raum, Wandbe-



Abb. 6: Plan des Heidenbaues in einem Inventar von Wilhelmi 1667, Staatsarchiv Coburg, Plansammlung Veste Heldburg, Plan 1149 li



Abb. 7: Ansicht von Nordosten, o. M., Bauaufnahme Messbildstelle Dresden, 2008



Abb. 8: Ansicht von Nordosten, entzerrtes Messbild, o.M., Büro für Bauten- und Kunstgutforschung Erfurt, 2008

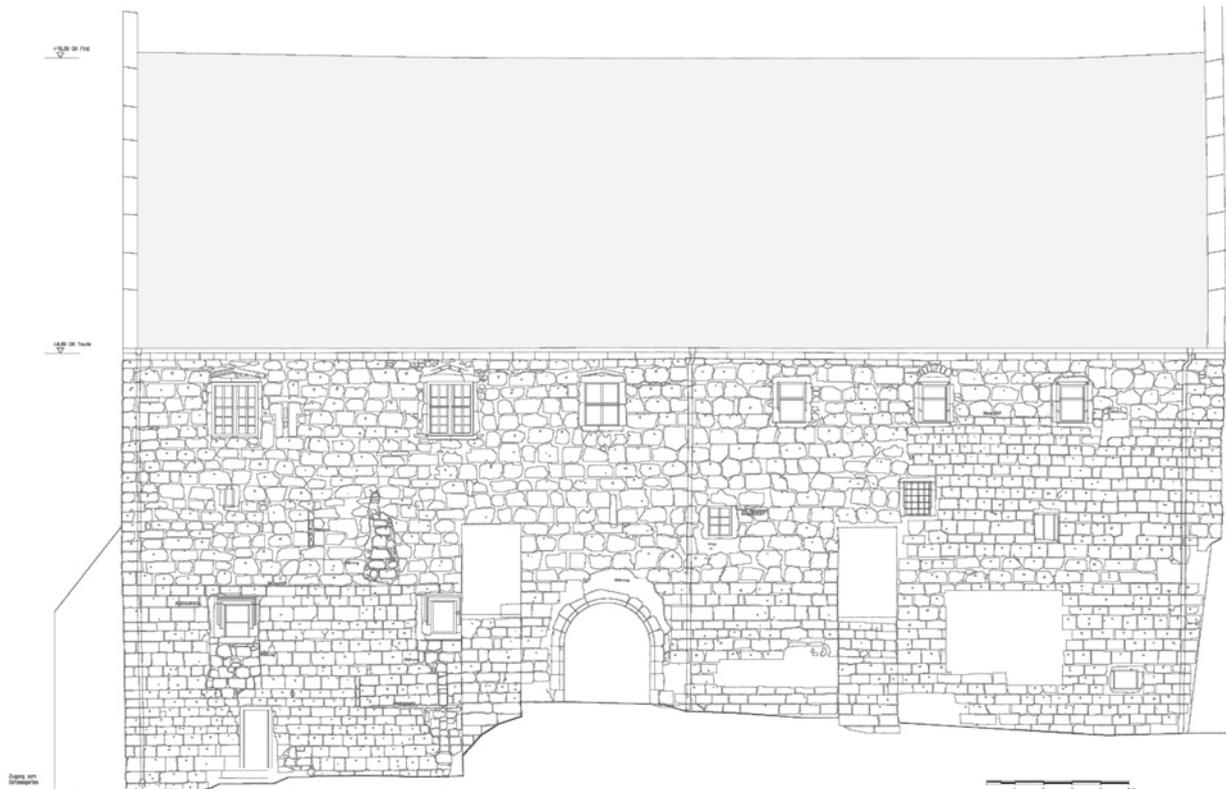


Abb. 9: Ansicht von Nordosten, o.M., steingerechte Aufnahme des Quadermauerwerks, Architektengemeinschaft Milde + Möser, 2010

reich, Türen/Fenster usw.) ist mittels Datenbanken und digitaler Verarbeitung wirtschaftlich immer vertretbar und für spätere Fragestellungen oft ein unersetzbares Hilfsmittel. In dieser Phase sind auch vertiefende und weiterführende Bauaufnahmen zu leisten, wie etwa eine fugengerechte Aufnahme der steinsichtigen Fassade als Werkzeug für alle folgenden Spezialisten (Abb. 9).

4. Historische Bauforschung, Erfassung von Schäden und baulichen Befunden

Nachdem die vorangegangenen Schritte meist vom Vermessungsingenieur und vom Architekten geleistet werden können, sind nachfolgend Spezialisten gefragt, deren Einbeziehung in puncto Notwendigkeit, Wirtschaftlichkeit, Terminabfolge, Abstimmung und Ergebnisverwertung für den Bauherrn frühzeitig in der Phase der Investitionsvorbereitung geplant und empfohlen werden muss. Die Grundlagen, Inhalte und Finanzrahmen dieser Voruntersuchungen müssen vom Architekten ebenfalls geplant und überwacht werden.

Im Ergebnis der Spezialuntersuchungen sind wichtige Ergebnisse zum Baualter und zur -abfolge, Konstruktionsdetails, Bauschäden, Umbauspuren, Verformungen u.v.m. als wichtige Planungsgrundlagen verfügbar, die untereinander abgestimmt und gegenseitig verfügbar sein müssen (Abb. 10)<sup>7</sup>.

5. Restauratorische Farb- und Putzuntersuchungen  
 Restauratorische Grundlagenermittlungen mit Farb- und Fassungsuntersuchungen sind häufig parallel zu den detaillierten Erfassungen zu leisten und stellen einen unabdingbaren Bestandteil für die Bewertung der Denkmalwürdigkeit und daraus folgenden Planungsgrundlagen dar.

Farbbefunde und Aussagen über bauliche Veränderungen und Baufugen sind für alle Planungsfragen wie Baualtersbestimmungen, Oberflächenbehandlung, Installationen und Bauöffnungen von großer Bedeutung. Auch hier müssen eine klare Zieldefinition, Nomenklatur sowie Finanz- und Zeitrahmen gesetzt werden (Abb. 11, 12).

6. Statische Begutachtung, Steinzustandserfassung, Holzzustand, Spezialgutachten usw.

Der bauhistorischen Erfassung und Auswertung folgt eine auf die Planungsanforderungen abgestimmte Detailrecherche, spezialisierte Schadensaufnahme und -bewertung verschiedener Fachingenieure wie Holzschadensgutachten, Schadstoffuntersuchungen, Bauphysik, Baugrunderkundung und -bewertung u. v. a. Am Heidenbau wurde nach Vorlage der Bauaufnahme und restauratorischen Dokumentation eine umfassende und dezidierte Steinzustandserfassung durchgeführt<sup>8</sup> (Abb. 13, 14). Nach der späteren Festlegung der konservatorischen und architektonischen Ziele konnte auf der Basis eine detaillierte Zielplanung für die steinkonservatorischen Arbeiten erstellt und unter Fachfirmen vergeben werden.

In dieser Phase wurden alle benötigten Spezialgutachten mit Aussagen zum Baugrund, zu bauphysikalischen Fragen der anstehenden Felsen innerhalb der Kellerräume (Abb. 15), zu Kontaminationen, Fledermauspopulationen u.a. gewonnen werden.

Aufgaben in der Projektsteuerung der fachlich Beteiligten	
Restaurator	1. Vorschläge für geeignete Fachleute 2. Erarbeitung Aufgabenstellung, Zieldefinition, Nomenklatur des Objektes 3. Honorarvorschläge, Angebote 4. Koordination/Kontrolle von: • Terminen (Projektlaufplan) • Inhalten (Abgleich mit Fachbehörden) • fachliche Qualität • Einhaltung des Finanzrahmens (Zahlplan, Controlling) 5. Erreichen definierter Untersuchungsziele 6. Nutzbarkeit der Ergebnisse für Beteiligte 7. Einarbeitung in andere Fachprojekte
Bauforscher	
Bauphysiker	
Statiker	
Brandschutz	
Fachingenieur für Steinbearbeitung	
Energieberater	
Holzschutz	
Fachplaner für Technik	

7 Die Dokumentation der Befunde und Ihre Auswertung wurde unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Stefan Breiting von der Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Fakultät Geistes- und Kulturwissenschaften, Institut für Archäologie, Denkmalkunde und Kunstgeschichte, Professur für Bauforschung und Baugeschichte vorgenommen: FORSCHUNGSPROJEKT „VESTE HELDBURG“ – Raumbuch Heidenbau, Bamberg 2010; unveröffentlichtes Manuskript

8 Federführend für Fragen der steinkonservatorischen Planung war Restaurator Jürgen Scheidemann, Friedrichroda. Das Gutachten wurde 2010 erstellt.



Abb. 10: Ansicht von Südosten, o. M., Detailaufnahme des Quadermauerwerks und des Fensters im Südgiebel, Bauaufnahme und Befunddokumentation Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Prof. Dr.-Ing. Stefan Breitling, Cand. Arch. Philipp-Sebastian Jansen 2009

Veste Heldburg, Heidenbau, nordöstliche Fassade

Leistungsbereiche

Sicherung und Restaurierung historischer Putz- und Fugenputzbestand und von monochromen Fassungsfragmenten

-  Bauphase um 1508
-  jüngere Bauphase (16. Jh.?)
-  rote Farbfassungsfragmente auf weißer Grundierung
-  jüngere Bauphase (19. Jh.)

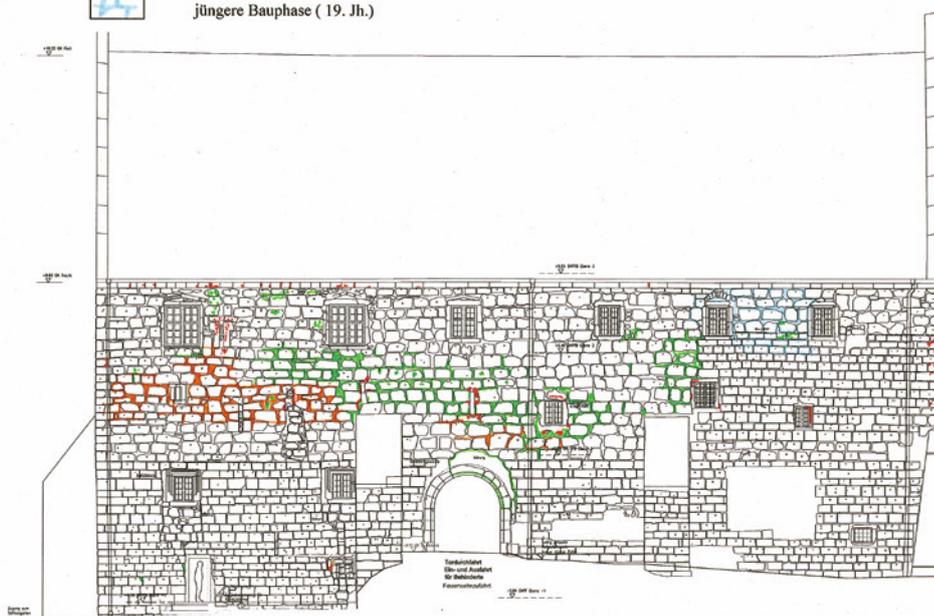
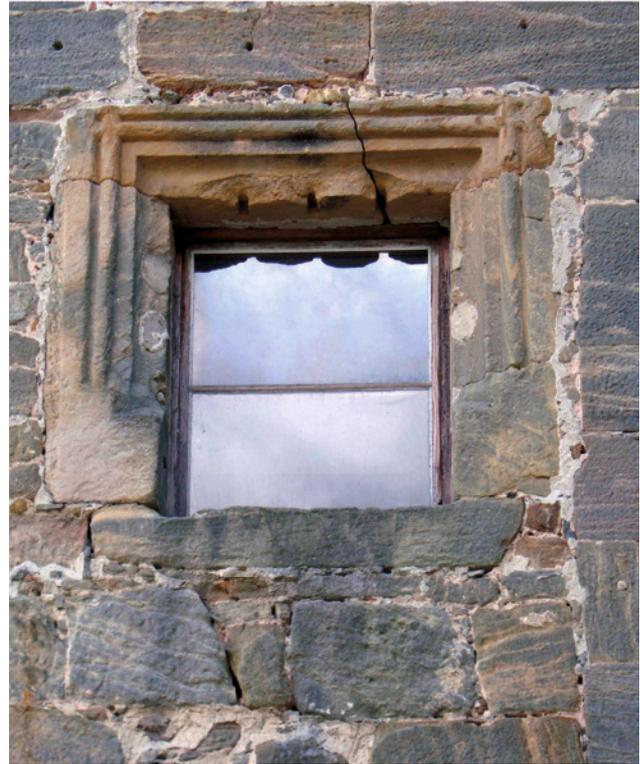


Abb. 11: Ansicht von Nordosten, o. M., restauratorische Dokumentation von Farbbefunden auf den Fugenmörteln und Quaderflächen, Dipl.-Rest. Jürgen Scholz, 2010



**Abb. 12: Polychromie auf einem Pfeiler im Erdgeschoss, Zustand 2009**



**Abb. 13: Fenstergewände am Südgiebel vor der Restaurierung, Zustand 2009**



**Abb. 14: Zustand des mittelalterlichen Quadermauerwerks an der Nordostfassade vor der Restaurierung, Zustand 2009**



**Abb. 15: Anstehender abgearbeiteter Felsen zum Einbau der Gewölbe im zweiten Untergeschoss, Zustand 2009**

Gerade bei einer größeren Anzahl von Spezialuntersuchungen ist vor Projektbeginn der Umfang, der Zeit- und Finanzrahmen, eine eindeutige Nomenklatur und dezidierte Aufgabenstellungen, die Fragen benachbarter Fachgebiete enthalten, aufzustellen. Ein klar definierter Arbeitsrahmen schützt vor unnützen Untersuchungen oder nachträglichen Honorarkosten. Kompetenzen in der Vorbereitung, der Kommunikation und im Controlling sind in der planungsvorbereitenden Phase sehr häufig nicht klar geregelt. Hier liegt eine Kernaufgabe des Architekten, für die nötige Erfahrungen und Qualifizierungen vorhanden sein müssen.

## 7. Archivalische Recherchen

Die möglichst umfassende Recherche nach älteren oder unbekanntem Unterlagen, Plänen und Schriftgut ist in der Denkmalpflege eine notwendige und nützliche Leistung, die nicht selten wertvolle Aussagen zu verlorenen oder verdeckten Bauteilen liefert. Die Bewertung der Denkmalwürdigkeit wird durch eine umfassende historische Kenntnis des Bauwerks unterstützt. In der Praxis ist hier häufig der finanzielle Rahmen zu gering geplant, was der Qualität schadet (Abb. 16).

## 8. Archäologische Grabungen

Die Notwendigkeit von archäologischen Sondierungen und Dokumentationen ergibt sich aus erforderlichen Eingriffen in den Baugrund. Sie können und müssen rechtzeitig geplant und mit den Denkmalbehörden abgestimmt werden. Der Nutzen dieser Dokumentationen kommt denen der vorangegangenen Punkte gleich.

## 9. Baugeschichtliche Auswertung und Fixierung der denkmalpflegerischen Zielstellung

Der fachliche und administrative Kontakt zu den zuständigen Denkmalbehörden ist sinnvollerweise bereits in der Frühphase jedes Projektes zu suchen. In aller Regel zahlt sich eine enge Abstimmung bei der Erarbeitung der Aufgabenstellungen, der Auswahl an Spezialisten und der Planungsziele durch eine hohe Effizienz bei der Planung und Umsetzung aus. Die Auswertung und Zusammenfassung aller Recherchen mündet in die Erarbeitung der denkmalpflegerischen Zielstellung, die unbedingt in die Hand des erfahrenen Architekten gehört, da nur die Symbiose aller Aspekte des Bauwerks und der Planungsziele eine Basis für den Erfolg sein kann. Beispielsweise die Vernachlässigung bestimmter technischer Planungsanforderungen und Vorschriften zugunsten einer weitgehenden Befundkonservierung kann zu einem Ungleichgewicht im Gesamtprojekt führen. Der Architekt sollte auch nach der umfassenden Befunddokumentation federführend an der architektonischen Zielstellung mitwirken, wo neben Fragen der Befundkonservierung und -präsentation auch ästhetische und funktionale Aspekte erfüllt sein müssen. Eine intensive Abstimmung mit Bestätigung der Zielstellung durch das Denkmalamt ist unabdingbar<sup>9</sup>.

Man darf nicht außer Acht lassen, dass neben allen konservatorischen Anstrengungen immer ein überzeugendes architektonisches Ergebnis – in ästhetischer, technischer und wirtschaftlicher Hinsicht – geliefert werden muss!

Beim Heidenbau, bei dem die mittelalterliche Erstfassung trotz intensiver Forschung nicht bekannt ist und viele Bauphasen nebeneinander stehen, gilt konzeptionell:

- Das Baudenkmal ist in seiner Zeit das Ergebnis des ursprünglich geschaffenen Werkes (das nicht bekannt ist) und seiner durchlaufenen

<sup>9</sup> Dem Landeskonservator des Thüringer Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie, Holger Reinhardt und dem zuständigen Referenten, Kim Kappes sei an dieser Stelle für viele wertvolle Hinweise und die hervorragende Kooperation gedankt.

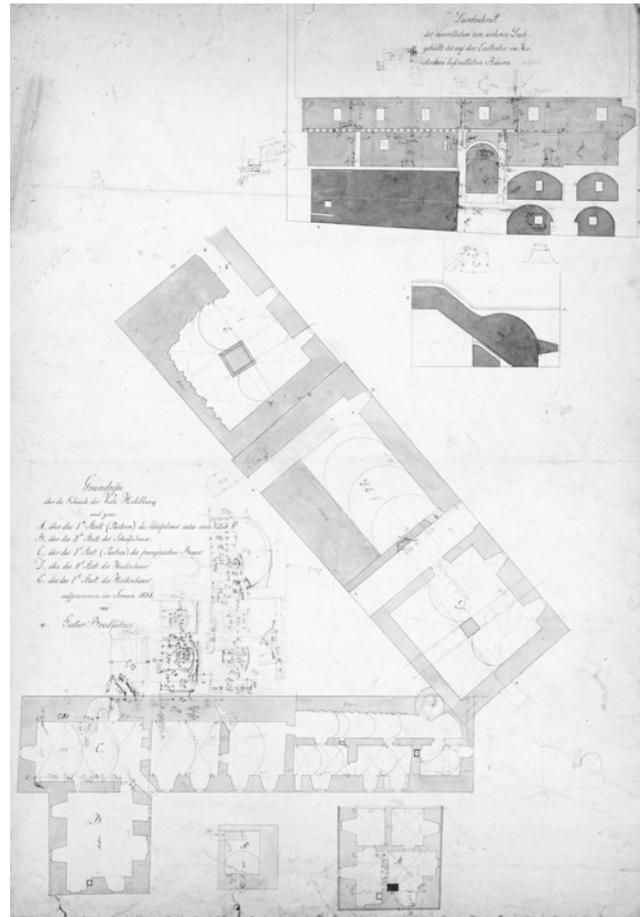


Abb. 16: Bestandsplan des Heidenbaus mit Grundriss und Längsschnitt, aufgenommen von Gustav Brodführer 1838, ThStA Meiningen, Hofbauamt Mappe 11 Blatt I

Geschichte, die alle planmäßigen Umbauten, Reparaturen und Restaurierungen (die selbst als Schutzobjekt gelten) sowie Alterungs- und Verfallserscheinungen einschließt.

- Der Heidenbau entspricht wie jedes Denkmal „einerseits seiner idealen künstlerischen (oder technischen) Urfassung (oder eine Sequenz aufeinander folgender), die uns ... nur in Resten erhalten bzw. erkennbar, nur (in Spuren) ... zugänglich und daher ebenfalls historischem Wandel unterworfen ist und andererseits eine reale, historisch gewordene Fassung.“<sup>10</sup>
- Das überlieferte Werk mitsamt seinen Überformungen und Fehlstellen ist als Denkmalbestandteil entweder als solches vorhanden oder

<sup>10</sup> Prof. Thomas Will lieferte dazu letzters eine fundierte Auseinandersetzung, in: Will, Thomas: Zur Werktreue in der Denkmalpflege, in: Bildung und Denkmalpflege, 78. Tag für Denkmalpflege. Jahrestagung der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland, Brandenburg an der Havel 2010 (Forschungen und Beiträge zur Denkmalpflege im Land Brandenburg Bd. 12, hrsg. von Detlev Karg), Worms 2010, p. 102–106.

aber, wenn entscheidende Teile fehlen, gar nicht! Es kann dann als Denkmal auch nicht durch noch so gut gemeinte Abbilder zurückgeholt werden. Die Konservierung von Befunden und Fassungsresten allein reicht häufig nicht, um eine vollwertige ästhetische Raumfassung zu erreichen. Eine architektonische Konzeption, ob unter Verwendung moderner oder tradierter Elemente, ist immer notwendig.



**Abb. 17:** Erdgeschoss, Zustand des mittelalterlichen Quadermauerwerks im Inneren nach der Restaurierung mit konservierten Putzbefunden, Zustand 2011



**Abb. 18:** Zustand des Quadermauerwerks am Nordwestgiebel nach der Restaurierung; Im unteren Bereich ist der mittelalterliche Bestand erhalten, der Treppengiebel wurde 1832 ff. erneuert, Zustand 2011

10. Weiterführung der Bauaufnahme und vertiefende Dokumentationen zu Schäden und Befunden während der Planung und Bauphase
11. Aufstellen von Pflege- und Bauunterhaltsplänen für eine laufende Wartung aller Bauteile mit Fristen, Inhalten, Verantwortlichkeiten, Kostenrahmen usw.

## 5 Sanierungsarbeiten am Quaderbauwerk des Heidenbaus

Die konservatorischen Prämissen für den Sandsteinbau waren:

- umfassende Erkundung, Dokumentation und Sicherung aller erhaltenswerten historischen Bauteile und Oberflächen, baulicher und technischer Einbauten sowie deren wirkungsvoller Schutz vor Übernutzung, Verschleiß und Witterungseinflüssen,
- Herausarbeitung der überformten Raumstrukturen des Steinbaues nach dem letzten prägenden Umbau nach 1832 und ihre Einbindung in die funktionelle Disposition des Museums mit modernen Gestaltungsmitteln (Abb. 17),
- Rückführung aller nach dem Brand von 1982 geborgenen und deponierten Bau- und Ausstattungselemente und ihre Wiederverwendung möglichst am originalen Einbauort im Wirkungszusammenhang mit den bewahrten festen Befunden, die als greifbares Zeugnis der Baugeschichte präsentiert werden, Respektierung und Einbeziehung charakterisierender Umbauphasen vom frühen 16. Jahrhundert bis zum Wiederaufbau ab 1990,
- differenzierende Architektur- und Restaurierungsstrategie je nach Erhaltungszustand und Aussagefähigkeit der Räume und Befunde, daher die Minimierung von baulichen Veränderungen und Eingriffen in die Fassade, keine Entwertungen des Denkmals durch zu deutliche ästhetische Wirkung moderner Bauteile,
- Verzicht auf alle Rekonstruktionen einer von mehreren nachgewiesenen, früheren Putzfassungen und Präsentation des unverputzten Quadermauerwerks (Abb. 18).

Als Ziel der Sanierung galten die Herstellung der Raumstrukturen sowie deren umfassende Aufwertung für museale Zwecke. Die Remisen im Erdgeschoss, die als Turnhalle zweckentfremdete frühere Schlosskapelle und der große historische Speicherraum im Obergeschoss sind die Haupträume. Die vorhandenen überwölbten Bereiche in den unteren Ebenen wurden in das Nutzungskonzept einbezogen. Das

Dachgeschoss hat keine Nutzung erhalten. Notwendige Treppen zur Erschließung und Brandschutzgewähr wurden ebenso wie der alle Ebenen erschließende Aufzug so schonend wie möglich eingeordnet. Trotz allen Bemühens um minimale Eingriffe mussten der fehlende Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 und eine Verbesserung der Wärmedämmeigenschaften sowie umfangreiche Brandschutzertüchtigungen erreicht werden. Das Prinzip, neue Raumabgren-



**Abb. 19: Erdgeschoss, ehemalige Schlosskirche mit den erhaltenen tragenden Holzbauteilen von 1509 f. – heute als Veranstaltungssaal genutzt – nach Abschluss der Restaurierung, Zustand 2011**



**Abb. 20: Detail des Quadermauerwerks am Nordwestgiebel nach der Restaurierung; die Ansätze früherer Gewölbeansätze des Küchenbaus sind ablesbar, Zustand 2011**

zungen mit neuen Konstruktionen und Materialien zu gestalten, konnte genau wie die strikt abgesetzte Behandlung neuer Wand- und Fußbodenoberflächen umgesetzt werden (Abb. 19).

Für die Fassaden wurden traditionelle Arbeitsschritte zur Konservierung durchgeführt:

1. Bestandserfassung und Dokumentation mit Vermessung, steingerechter Bauaufnahme, Schadenskartierung, farbreinstauratorische Untersuchung und dezidierte Bauphasenuntersuchung.
2. Nachdem statische Gründungs- oder Bauwerksertüchtigungen nicht nötig waren, wurden unter Anleitung des Fachingenieurs alle erhaltenen Spuren und Oberflächen handwerklich gesichert.
3. Auf eine Wiederherstellung oder Rekonstruktion von gestörten Bauformen oder Fassadenbereichen wurde bewusst verzichtet. Das galt auch für einzelne Fenstergewände oder Portale. Die Fassade als Produkt laufender Verfalls- und Reparaturvorgänge ohne klare architektonische Gliederung wurde als Relikt bewahrt.
4. Dazu wurden traditionell alle Fläche schonend mit Heißdampf gereinigt, lose Stein- und Fugenteile entfernt und materialgerecht mit Steinersatzmörtel oder Vierungen ergänzt. Verfugungen wurden ergänzt. Risse in Fensterstürzen oder ähnliches wurden traditionell vernadelt.
5. Im Gesamterscheinungsbild waren vom Restaurator Farbunterschiede des neuen Materials nicht gewünscht, so wurden neben der Festigung der Fassungsreste auf den Fugenmörteln neue Steinflächen, Fugen und Ersatzstellen farblich angepasst (Abb. 20).

## 6 Ständige Pflege und Unterhalt Wartungshandbuch

Ein nicht zu unterschätzender Bestandteil der Arbeit des Architekten ist die Planung und Vorbereitung langfristiger Vorsorgepläne nach Abschluss der eigentlichen Modernisierungsmaßnahmen. Da gerade im Denkmalpflegespektrum nicht immer Technologien und Materialien zum Einsatz kommen können, die eine ähnliche Langlebigkeit wie heutige Baustoffe haben, besteht bei fast allen Baudenkmalen die Notwendigkeit eines erhöhten Pflegeaufwandes. Das Bewusstsein dafür und die Bereitstellung entsprechender Mittel ist bei vielen privaten, aber auch öffentlichen Bauherren nicht genug entwickelt. Der Architekt muss auch für die Nutzungszeit hinreichende Pflegemaßnahmen planen und dem Eigentümer als Arbeitshilfe an die Hand geben. Ob dies in einem

sogenannten Nutzerhandbuch festgehalten ist oder ein entsprechender Pflegplan aufgestellt wird, ist unerheblich.

Wichtig ist, dass der Eigentümer konkrete Angaben für Wartungs- und Pflegeintervalle verschiedener Bauteile und Gewerke, aber auch Kontrollfristen für technische Anlagen und alle Bauteile aufgezeigt bekommt. Die langfristige Planung von Finanzmitteln ist dabei ebenso von Vorteil wie der Abschluss mehrjähriger Wartungsverträge mit Restauratoren und Handwerksfirmen.

### Fazit

Nur mit einem professionellen Bauherrn wie die Stiftung Thüringer Schlösser und Gärten Rudolstadt, die über qualifiziertes, denkmalerfahrenes Fachpersonal in einer Bauabteilung verfügt, sind spezifische Planungsabläufe mit Einbindung von Fachleuten verschiedener Disziplinen effektiv und denkmalgerecht zu absolvieren.

Bei anderen Konstellationen fallen dem Architekten, der über entsprechende Fachkenntnisse und Erfahrungen verfügen muss, besondere Koordinierungsaufgaben nicht in der Planung, sondern auch in der vorbereitenden Untersuchungsphase zu. Können diese im Einklang mit dem Bauherrn organisiert werden, ergeben sich erhebliche Gewinne für das Denkmal und die Gesamtinvestition.

### Abbildungen

Abb. 1, 16: Thüringer Hauptstaatsarchiv Meiningen, Plansammlung

Abb. 6: Staatsarchiv Coburg, Plansammlung Veste Heldburg

Abb. 7: Messbildstelle Dresden

Abb. 8: Büro für Bauten- und Kunstgutforschung Erfurt

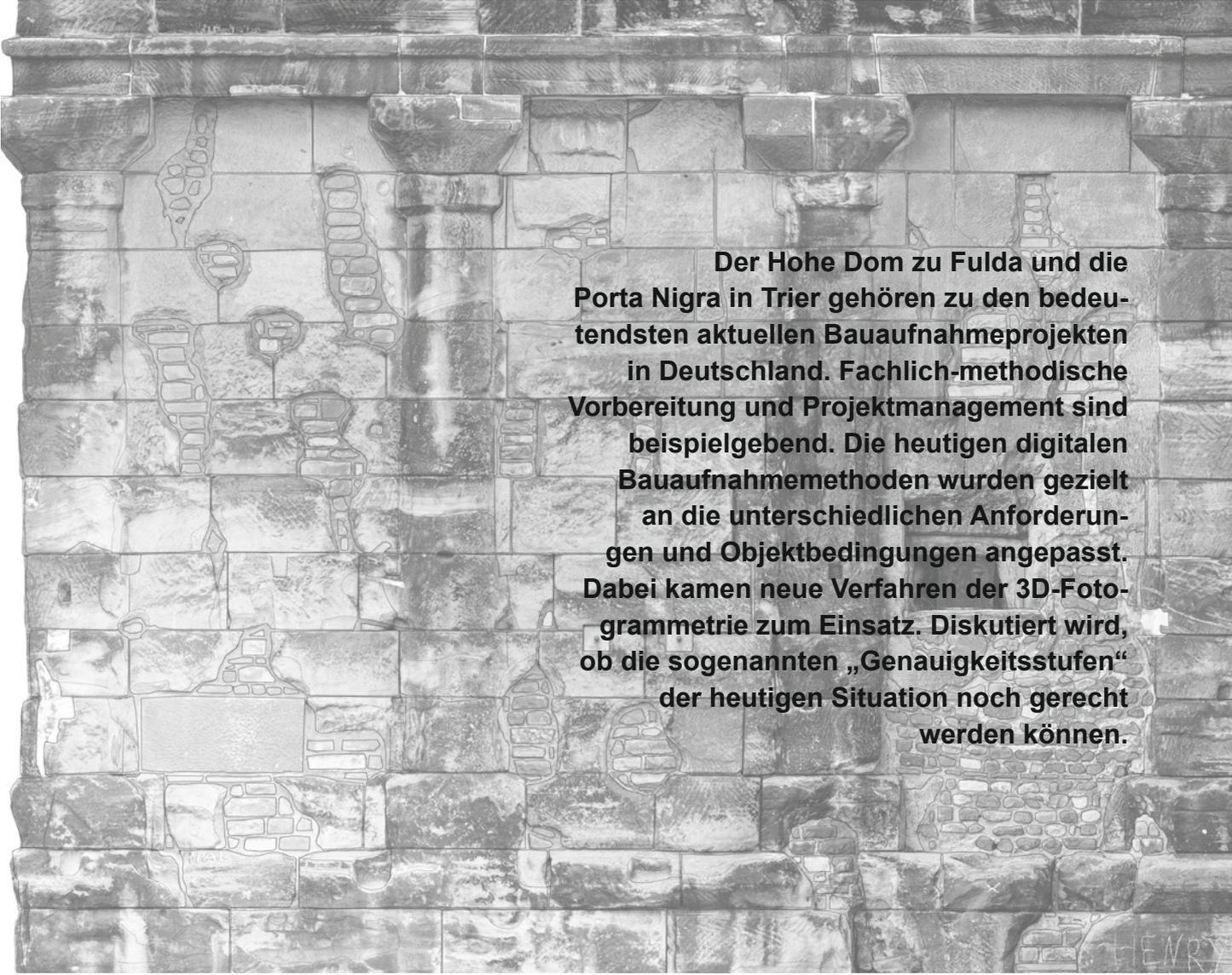
Abb. 10: Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Institut für Archäologie, Denkmalkunde, Kunstgeschichte, Prof. Dr.-Ing. Stefan Breitling

Abb. 11: Diplom-Restaurator Jürgen Scholz, Diplom-Restauratorin Dana Weinberg Winne

Abb. 2, 3, 4, 5, 9, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20: Verfasser

# Hoher Dom zu Fulda und Porta Nigra in Trier: Was können heutige Bauaufnahmefethoden leisten und sind die „Genauigkeitsstufen“ noch zeitgemäß?

von Andreas Brusckke



**Der Hohe Dom zu Fulda und die Porta Nigra in Trier gehören zu den bedeutendsten aktuellen Bauaufnahmeprojekten in Deutschland. Fachlich-methodische Vorbereitung und Projektmanagement sind beispielgebend. Die heutigen digitalen Bauaufnahmefethoden wurden gezielt an die unterschiedlichen Anforderungen und Objektbedingungen angepasst. Dabei kamen neue Verfahren der 3D-Fotogrammetrie zum Einsatz. Diskutiert wird, ob die sogenannten „Genauigkeitsstufen“ der heutigen Situation noch gerecht werden können.**

## 1 Einleitung

Die Digitalisierung der Vermessung, von der Datenerfassung bis zur Auswertung, und völlig neuartige Technologien haben zu einem umfassenden Wandel in der Bauaufnahme geführt. Neben traditionellen Aufmaßzeichnungen werden auch andere Produkte angeboten. Es hat sich auch die Wirtschaftlichkeit von Bauaufnahmen deutlich erhöht. Akzeptanz und Nachfrage nach Vermessungen von Denkmälern, Gebäuden und Ingenieurbauwerken sind infolge dessen gestiegen. Der Bedarf kommt hauptsächlich aus dem Bereich der Sanierungsplanung und Restaurierung. Letztlich werden aber auch für die Instandhaltung, Wartung und Pflege, also im gesamten Lebenszyklus der Denkmäler und Bauwerke zuverlässige Bestandspläne benötigt.

In diesem Beitrag werden zwei bedeutende Projekte beispielhaft präsentiert. Die Aufgabenstellungen für die Bauaufnahme des Doms in Fulda und der Porta Nigra in Trier leiten sich jeweils aus einem anderen Anlass ab. In beiden Fällen sind aber die Konzepte auf eine umfassende und langfristige Sicht angelegt und deshalb beispielhaft. Anhand dieser Projekte wird der Zusammenhang zwischen unterschiedlichen inhaltlichen Anforderungen und den jeweiligen Vermessungskonzepten diskutiert, die für diese Anwendungen besonders geeignet und praxisrelevant sind. Außerdem gibt es neueste und noch weitgehend unbekanntere Entwicklungen vorzustellen.

Neben klaren inhaltlichen Vorgaben wird der Nutzen einer Bauaufnahme für die Sanierungsplanung letztlich auch durch die objekt- und aufgabenbezogenen technologischen Vorgaben entschieden. Mängel, das heißt fehlende oder unkorrekte Informationen zu Baukonstruktionen, Ausstattungen oder denkmalpflegerischen Eigenschaften, maßliche Ungenauigkeiten, die in der Regel erst später während der Baumaßnahme entdeckt werden, können zu Kostensteigerungen und zeitlichen Verzögerungen führen. Es muss die Frage gestellt werden, ob mit der Systematisierung durch die üblichen „Genauigkeitsstufen“ die Aufgabenstellungen für konkrete Projekte noch ausreichend definiert werden können.

## 2 Ein kurzer Abriss heutiger Technologien

Eine umfassende Beschreibung aller in Frage kommenden Methoden kann in diesem Beitrag nicht gegeben werden, dazu ausführlicher in [1]. In Tabelle 1 (S. 23) eine Übersicht mit Darstellung der wesentlichen Eigenschaften.

Es wird wohl kaum eine Situation geben, in der eine Aufgabe ausschließlich mit einem bestimmten Verfahren wirtschaftlich und gleichzeitig mit hohem Anspruch zu lösen ist. Für eine effektive Bearbeitung bei Sicherung hoher Qualität ist in der Regel der Einsatz mehrerer Methoden erforderlich, die sich gegenseitig ergänzen. Die richtige Auswahl setzt natürlich die Kenntnis der Vorteile und Einsatzgrenzen voraus. Für jede Technik gibt es Geräte mit verschiedenen Genauigkeitsklassen. Zum Beispiel kann man heute Photogrammetrie vielleicht auch mit der Handykamera machen, aber sicher nicht wirtschaftlich und ebenso sicher nicht mit der notwendigen Qualität. Insofern erscheint die Diskussion über Low-cost-Verfahren etwas praxisfern und wenig verständlich.

Ob eine Bauaufnahme teuer oder preiswert ist, ist wahrscheinlich am wenigsten durch die Anschaffungskosten für die Technik bedingt, sondern hauptsächlich durch die Qualifikation des Personals und durch eine langfristig hohe Auslastung der Investitionen. Das ist der Grund für die Notwendigkeit der Spezialisierung und Arbeitsteilung. Bauaufnahmen werden also in der Regel nicht selbst, sondern von spezialisierten Büros als Dienstleistung erbracht. Damit gewinnen die genaue Definition der Aufgabenstellung, Absprachen über spezifische Anforderungen und die Organisation der Zusammenarbeit aller Beteiligten – Architekt, Denkmalpfleger, Restaurator, Vermesser/Photogrammeter und auch Bauherr – eine immer größere Bedeutung. Zum Thema Projektsteuerung und Vermessungskonzepte weiter unten.

## 3 3D-Fotogrammetrie

Besonders hervorgehoben und hier näher erklärt werden muss eine neue photogrammetrische Technologie, die erst seit kurzen erprobt und eingesetzt wird, zum Beispiel intensiv für die Herstellung von Orthofotos an der Porta Nigra in Trier.

Matching-Verfahren (automatisierte Verfahren der Bildauswertung) ermöglichen die dreidimensionale Rekonstruktion der aufgenommenen Oberflächen. Sie sind unter dem Begriff Structure-from-Motion (SfM) bekannt geworden. Dabei wird mit >Motion< ausgedrückt, dass bei einer Serie sich stark überlappende Bilder zwischen den Bildern eine Bewegung stattgefunden hat. Die automatische Identifizierung von Referenzpunkten aus dem Vergleich von Texturmerkmalen ist die Grundlage für die gegenseitige Orientierung der Aufnahmen und der anschließenden Berechnung. Das Ergebnis ist eine Punktwolke in der

Tab. 1: Gegenüberstellung der Vermessungsmethoden

Methode	Vorteile	Grenzen
<b>Handaufmaß</b> einfache Messmethoden und Hilfsmittel, ein- und zweidimensionale Messung, Höhen	lange Beobachtungsdauer am Objekt, Auftragung vor Ort, gute Nachbarschaftsgenauigkeit, geringe Investitionen, schnelle Erfassung weniger Punkte	hoher Aufwand für Grundlagennetze, Gerüstbau für nicht zugängliche Bereiche, zeitaufwendig bei großer Informationsdichte
<b>Tachymetrie</b> Geodätische 3D-Vermessung, automatische Datenregistrierung, Ergebnis x, y, z-Koordinaten	Möglichkeit der Interpretation und Zeichnen online am Objekt, hohe Messgeschwindigkeit, berührungslose Vermessung, hohe Zuverlässigkeit durch automatisierten Datenfluss, hohe Genauigkeit	fester Gerätestandpunkt erforderlich, verdeckte Sichten nicht messbar
<b>3D-Scanning</b> 3D-Punktwolken durch Laser- oder Streifenscanner	Beschreibung komplizierter Oberflächenformen, berührungslose Vermessung, Ableitung von 3D-Oberflächenmodellen, Visualisierungsaufgaben	fester Gerätestandpunkt erforderlich, verdeckte Bereiche nicht messbar, hohe Investitionen in Hard- und Software, Interpretation und Auswertung im Computermodell, Bearbeitung extremer Datenmengen
<b>Photogrammetrie</b> Messung und Auswertung in Bildern, 2D-Auswertung in entzerrten Messbildern, 3D-Vermessung mit Mehrbildphotogrammetrie, Stereophotogrammetrie, 3D-Oberflächen und Orthofotos mit SfM	berührungslose Vermessung, Erfassung nicht zugänglicher Bereiche durch Aufnahmen von Plattformen aus, hoher Dokumentationswert, zeitgleiche und schnelle Erfassung der Messpunkte im Bild, sehr hohe Messgeschwindigkeit, kontinuierliche linienweise Auswertung komplizierter Formen durch Stereoauswertung, Orthofotos und Bildpläne	das Objekt muss fotografierbar sein, Interpretation und Auswertung in Bildern



Abb. 1: Aufnahmeserie und photogrammetrisch berechnete Punktwolke am Drususstein

Dichte und Genauigkeit der Auflösung der verwendeten Bilder bzw. eine texturierte 3D-Oberfläche. Abbildung 1 vermittelt einen Eindruck, hier dargestellt ein erster Einsatz am Drususstein in Mainz mit nur einer kleinen Auswahl einer umfangreichen Serie von mehreren 100 Aufnahmen.

Das Verfahren ist durch flexible Aufnahmedispositionen vielseitig einsetzbar, wie die Photogrammetrie grundsätzlich. Durch Aufnahmen von Arbeitsbühnen, Hubschraubern und Multikoptern und beliebige Aufnahmeabstände in Kombination mit variablen Objektivbrennweiten stellt diese Technologie für geeignete

Objekte nicht nur eine Alternative zu 3D-Scannern dar, sondern erschließt neue Aufgabenfelder. Das einzige Aufnahmegerät ist die Digitalkamera – preiswert im Vergleich zu den 3D-Scannern – und verwendbar ohne Stativ, eben von den genannten Aufnahmeplattformen aus. Dieses Verfahren ist erst durch die jetzige Leistungsfähigkeit der heutigen Computertechnik möglich geworden. Parallele Entwicklungen in der Photogrammetrie (Bildmessung) und im Bereich Computer Vision (maschinelle Wahrnehmung von Bildinhalten) haben diese Technik möglich und anwenderrelevant gemacht.

#### 4 Die Bauaufnahme des Hohen Doms zu Fulda

Die geodätische Bestandserfassung des Domes St. Salvator in Fulda wurde durch die MESSBILDSTELLE GmbH gerade rechtzeitig zum Jubiläum im Jahr 2012 fertig gestellt. Die CAD-Zeichnungen wa-

ren auf einem Großbildschirm neben den Messbildern von Albrecht Meydenbauer aus den Kampagnen von 1906 und 1919 in der Ausstellung „300 Jahre Dom zu Fulda“ im Vonderau Museum in Fulda zu sehen, siehe auch der Begleitband [2]. Nach der letzten Gesamtrestaurierung in den 90-er Jahren mutet es vielleicht seltsam an, dass eine umfangreiche Vermessung in Auftrag gegeben wurde. Aktuell stehen keine Restaurierungsmaßnahmen an. Es waren aber die laufenden und zukünftigen Instandhaltungsmaßnahmen, die hier den Bedarf nach vollständigen und zusammenhängenden Bestandsplänen entstehen ließen. Jede einzelne Maßnahme lässt sich leichter planen und verwalten, wenn auf zuverlässige Zeichnungen zurückgegriffen werden kann. Schon während der laufenden Vermessungen wurde dringend auf bestimmte Dachstuhlbereiche gewartet, um dort brandschutztechnische Maßnahmen planen zu können. Insgesamt sind für den Dom 57 Grundrisse,

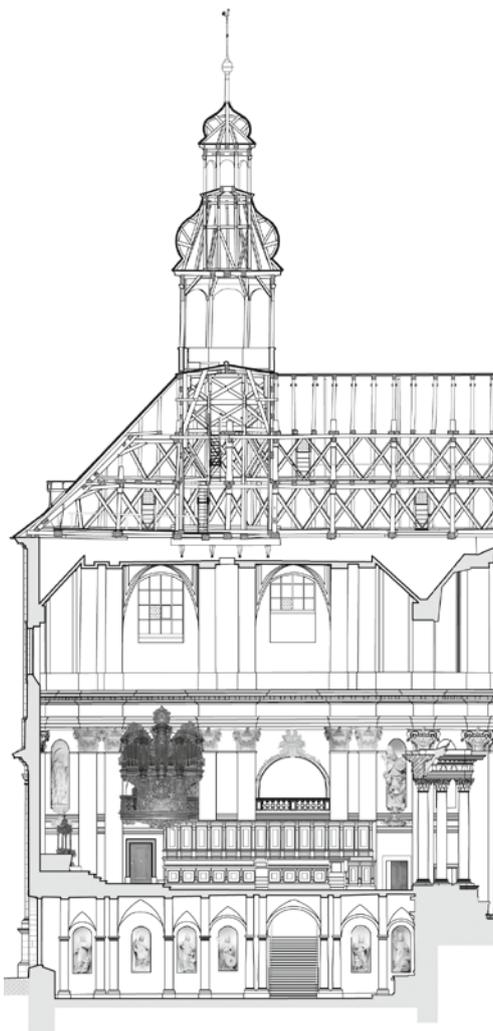


Abb. 2: Hoher Dom in Fulda, Ausschnitt des Längsschnittes mit Bonifatius-Gruft und Hochchor



Abb. 3: Einsatz einer Arbeitsbühne für Messbildaufnahmen in der Vierungskuppel

Schnitte und Ansichten entstanden, die letztlich für den Aufbau eines Wartungs- und Pflegekonzeptes genutzt werden sollen.

Als wirtschaftlichste Methode, zumindest für den Innenbereich, hat sich das tachymetrische Aufmaß erwiesen. Es bietet den unschlagbaren Vorteil, dass Architekturdetails und Befunde direkt am Denkmal erkundet und beobachtet werden können. Während der Messung wird unmittelbar am Notebook gezeichnet. Das ermöglicht eine sichere Interpretation z. B. auch der verschiedensten Architekturprofile, die in einer hohen Detailtreue wiedergegeben werden. Gegebenenfalls können Profile händisch aufgemessen und denn gleich in die CAD-Zeichnung übernommen werden. Das für den Maßstab 1:50 beauftragte Aufmaß kann somit für Ausgaben im Maßstab 1:25 oder größer verwendet werden. Die Fülle der barocken Ausstattungen, wie zum Beispiel Altäre und Epitaphe, wurden durch einmontierte entzerrte Bilder dokumentiert. Abbildung 2 zeigt einem Ausschnitt des Längsschnittes durch die Hauptachse mit Blick nach Nord. Die Punktdichte der tachymetrischen Messung gewährleistet eine genaue Wiedergabe von Schiefstellungen und Verformungen, die möglicherweise durch Kriegsschäden bedingt sind oder ältere Ursachen haben. Da in größerer Höhe die Tachymetrie wegen der zu steilen Zielungen nicht mehr einsetzbar ist, wurden die hohe Vierungskuppel innen und natürlich die Außenfassaden durch Stereomessbilder dokumentiert und photogrammetrisch ausgewertet (Abb. 3). Trotz hoher Bildauflösung und bester Aufnahmepositionen wurde zur Kontrolle der genauen Darstellung der Profile und des Fugenverlaufs ein nachträglicher Ortsvergleich durchgeführt. Der geometrisch exakte Zusammenhang aller Bauteile und Vermessungen wurde durch ein Festpunktnetz außen und innen in allen Räumen gewährleistet. Durch dauerhaft vermarkte aber versteckt angebrachte Festpunkte kann die Vermessung bei Bedarf jederzeit ergänzt werden.

Die Qualität der Ergebnisse wurde vom Auftraggeber zielgerichtet durch eine eigene Projektsteuerung organisiert. Die beteiligten Bewerber hatten mit detaillierten und umfangreichen Unterlagen ihre Eignung für diese Aufgabe nachzuweisen. Mit einer präzisen und erschöpfend formulierten Leistungsbeschreibung lagen kontrollierbare Anforderungen vor. Das Aufmaß einer Seitenkapelle wurde als Muster der Dombaukommission vorgelegt und ohne Beanstandungen bestätigt. Zwischenergebnisse waren regelmäßig vorzulegen, eine mehrtägige Endkontrolle bildete den Abschluss.

## 5 Die Bauaufnahme der Porta Nigra in Trier

Für die Porta Nigra steht im Gegensatz zum Fuldaer Dom eine umfassende Restaurierung an. Natürlich sieht das Bauwerk für den Touristen äußerst stabil aus, doch die Witterung hatte ja unwahrscheinlich viel Zeit, den originalen römischen Partien, den mittelalterlichen Teilen und den späteren Ausbesserungen zuzusetzen. Verschiedenste Schadensbilder sind die Folge. Eine präzise und umfassende Bestandsaufnahme wird aber nicht nur als Grundlage für die Schadenskartierung, der im Zusammenhang stehenden Bauforschung und Erhaltungsplanung gesehen. Darüber hinaus besteht auch die Aufgabe, die neueren archäologischen und bauhistorischen Erkenntnisse der Fachwelt und den Besuchern/-innen zu vermitteln.

Um alle Konstruktionen, Oberflächen und Details an und in der Porta Nigra in der erforderlichen Darstellungstiefe im Maßstab 1:20 erfassen zu können, wurde ein umfassendes Programm aufgestellt. Insgesamt hat die MESSBILDSTELLE GmbH 42 Grundrisse, Vertikalschnitte (vgl. Beispiel Abb. 4) und Fassadenansichten, 152 Wand- und Gewölbeabwicklungen, 155 Wandöffnungen mit Darstellungen von Tür- oder

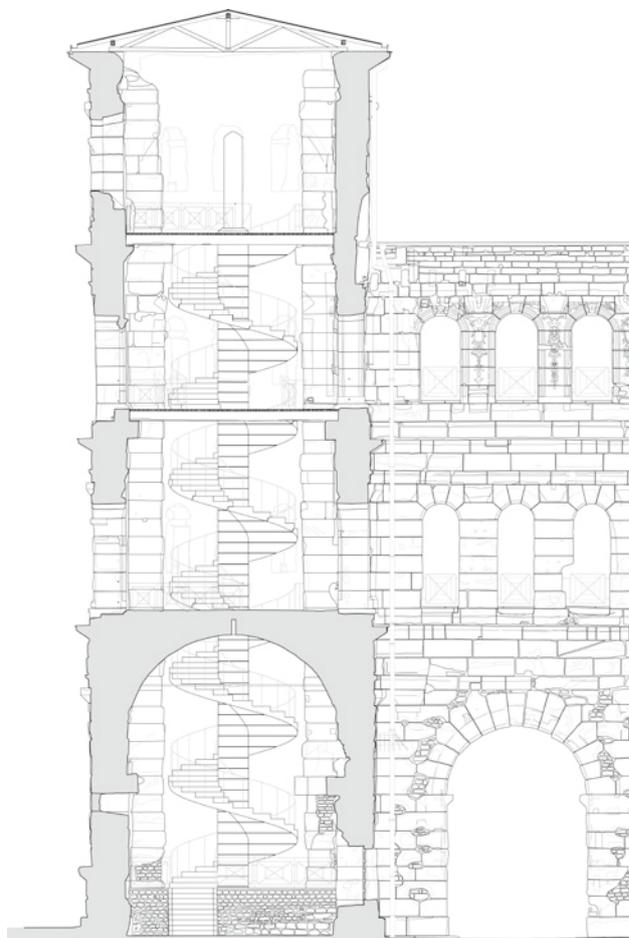


Abb. 4: Porta Nigra, Ausschnitt eines Längsschnittes



Abb. 5: Aufnahme von Messbildern im Torhof der Porta Nigra

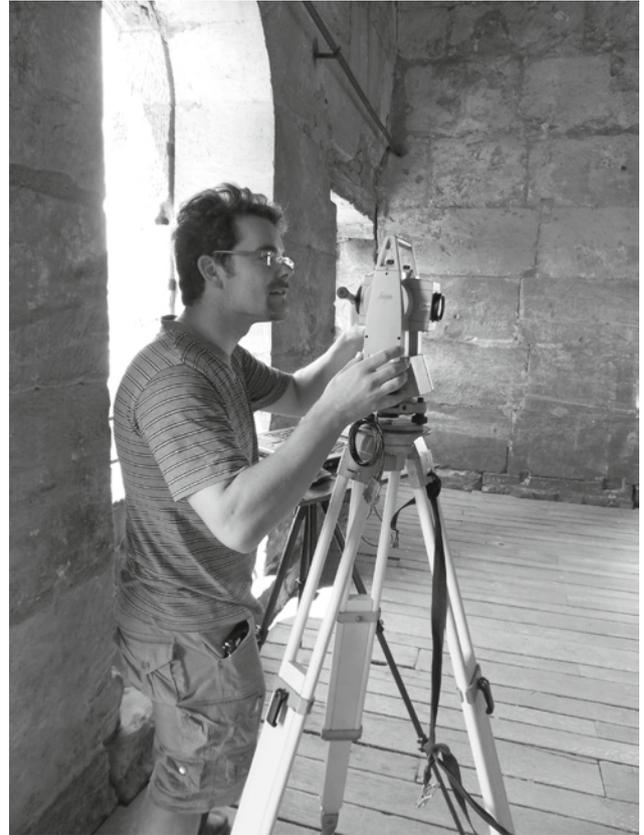


Abb. 6: Tachymeteraufmaß in der Porta Nigra

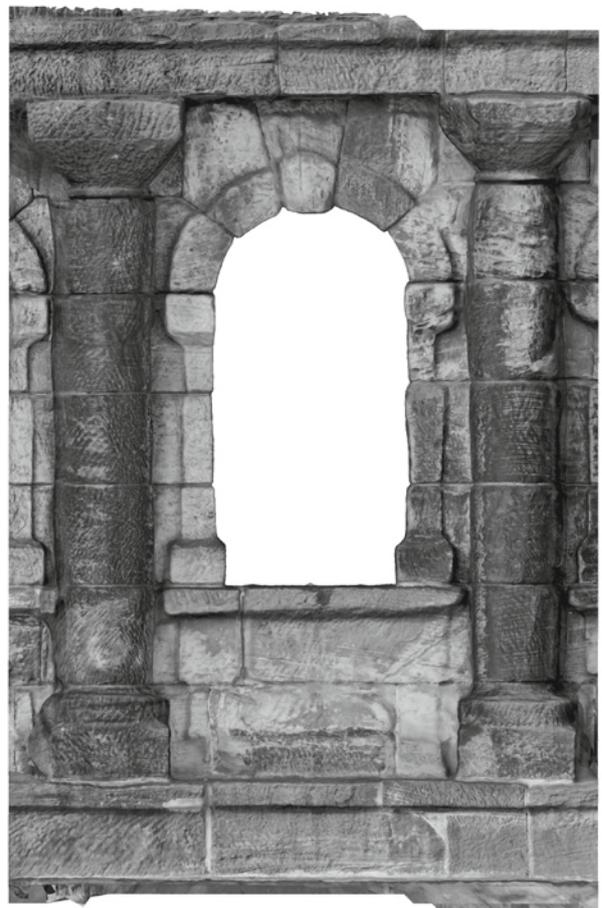


Abb. 7: Texturiertes 3D-Bild und Orthofoto eines Fensterdetails

Fensterlaibung, Sturz und Brüstungen bearbeitet. Zusätzlich im Maßstab 1:5 etwa 50 Ornamentdetails, wie Kapitelle und Friese. Sämtliche genannten Pläne sind sowohl in Form von Zeichnungen als auch in Form von Orthofotos anzufertigen.

Auf Grund des hohen Detailierungsgrades und durch die räumliche Interpretation von Stereomessbildern ist hier die Photogrammetrie die Vorzugsmethode. Die Filmnegative der Messbilder sind gleichzeitig Bestandteil der denkmalpflegerischen Langzeitarchivierung. Für die Messbildaufnahme war ausdrücklich bedecktes Wetter vorgeschrieben, „schwarze“ Steine und Schlagschatten würden sich nicht vertragen, in anderen Abschnitten musste mit zusätzlichem Licht gearbeitet werden (Abb. 5: Aufnahmen von großformatigen Stereoaufnahmen mit Kunstlicht im Torhof). Auf jeden Fall ist für eine frontale Sicht auf die Fassaden und zur Vermeidung von Verdeckungen der Einsatz von Arbeitsbühnen unabdingbar. Auch aus diesem Grund waren Laserscanner auszuschließen. Spolien, die Säulen der Zwerggalerie und die Friese der mittelalterlichen Apsis wurden in Arbeitsgemeinschaft durch die Arctron GmbH für den Maßstab 1:5 durch Streifenlichtscans dokumentiert. Allein aus diesem Grund musste die gesamte Apsis eingerüstet werden. Dachkonstruktionen, die Wendelsteine und andere einfache Konstruktionen wurden selbstverständlich tachymetrisch vermessen (Abb. 6).

Die Besonderheit dieses Projektes besteht aber nicht nur in den hohen inhaltlichen Anforderungen. Hier ist erstmalig die oben beschriebene photogrammetrische SfM-Technologie in großem Umfang für die Herstellung von Orthofotos eingesetzt worden. Gesims, Halbsäulen sowie Vor- und Rücksprünge im Mauerwerk machen es praktisch unmöglich, Bildpläne der Oberflächen durch Entzerrungen und Bildmontagen ohne Verschnitt herzustellen. Es muss hier betont werden, dass die Qualität nicht nur durch die Technologie und durch die dafür erforderliche enorme Rechenleistung bedingt ist, sondern vor allem auch durch das Wissen über Bildaufnahme und -bearbeitung.

Das Projektmanagement von Seiten des Auftraggebers ist ähnlich wie im Projekt in Fulda organisiert. In Anbetracht der bevorstehenden Restaurierung ist hier jedoch das gesamte Team, das für die Voruntersuchung, Bauforschung, Dokumentation und Schadensanalyse zuständig ist, bereits zu Projektbeginn bekannt und tauscht sich regelmäßig aus. Zu Abstimmung aller Sparten wurden drei verschiedene typische Flächen vorab musterhaft bearbeitet.

## 6 Systematisierung der zeichnerischen Bauaufnahme durch Genauigkeitsstufen?

Seit den von Günther Eckstein erstmalig 1986 veröffentlichten „Empfehlungen für Bauaufnahmen“ [3] werden die Anforderungen in die bekannten Genauigkeitsstufen I–IV eingeteilt. Diese Einteilung ist weit verbreitet und hat sich quasi zu einem Standard entwickelt. Sie werden in vielen Publikationen zitiert, zum Beispiel in [4]. Sie werden aber auch regelmäßig in Ausschreibungen als pauschale Spezifikation ohne eine individuelle Anpassung verwendet. Die Anforderungen steigen vom „schematischen Aufmaß“ über „annähernde Wirklichkeitstreue“ zur „Verformungstreue“. Diese Stufe III kann dann noch durch besondere inhaltliche Tiefe zur Stufe IV gesteigert werden.

Traditionell werden aufgrund der Darstellungsmöglichkeiten von Tuschezeichnungen diesen Stufen die Zeichnungsmaßstäbe M 1:100 bis M 1:25 oder größer zugeordnet, gleichzeitig entsprechende pauschale Messgenauigkeiten. In den einleitenden Erläuterungen stellt Eckstein diesen Zusammenhang zwischen Mess- und Darstellungsgenauigkeit her und behandelt die Frage der Generalisierung. Dieser Zusammenhang ist historisch aus dem analogen Zeitalter zu erklären. Dafür gibt es mehrere Begründungen:

- Mit der Genauigkeit, mit der Maße auf einem Papierplan abgegriffen werden können, braucht auch nur gemessen werden.
- Genauer benötigte Maße sind direkt zu messen und müssen angeschrieben werden.
- Ein höhere Darstellungstiefe braucht einen größeren Maßstab, sonst laufen die Linien eventuell zusammen.
- Mit händischen Aufmaßmethoden kann man offensichtlich relativ schnell „ungeauere“ Aufmaße (Stufe I und II) erstellen. Ab Stufe III erhöht sich der Aufwand erheblich.

Beschränkt man sich auf den eingeführten Begriff der „Genauigkeitsstufen“, werden Mess- und Darstellungsgenauigkeit nicht unterschieden. Beim händischen Zeichnen können Linien mit einem Abstand von 0,5 mm noch sauber aufgetragen werden. Bei einem Maßstab von 1:100 sind das entsprechend 5 cm am Objekt (Stufe II), bei einem Maßstab von 1:50 ergibt das den Standardwert von 2,5 cm (Stufe III). In Abhängigkeit vom vorab gewählten Zeichenmaßstab würde sich daraus die Darstellungstiefe ergeben. Wird das so pauschal betrachtet, würden also auch wichtige Befunde weggelassen oder für die Aussage entscheidende Architekturformen „geglättet“, weil sie unterhalb dieser Grenze liegen. Das also zur histo-

risch begründeten Abhängigkeit der Genauigkeit vom Maßstab. Leider liegt die Betonung dieser Stufeneinteilung auf dem Begriff „Genauigkeit“ und es hat sich eingebürgert, damit die Anforderungen auf die Genauigkeitsvorgaben und auf Zahlenwerte zu beschränken:

- Stufe II im Maßstab 1:100 mit  $\pm 10$  cm
- Stufe III im Maßstab 1:50 mit  $\pm 2,5$  cm
- Stufe IV im Maßstab 1:25 mit  $\pm 1$  cm

Wie werden aber pauschale Genauigkeitsmaße verstanden? Werden sie dazu verwendet, alles so ungenau zu machen, wie vorgeschrieben? Für die Stufe III würde das heißen, dass z. B. Öffnungsmaße, Wand- und Gewölbestärken, Brüstungshöhen und Balkenquerschnitte etc. auch nur mit 2,5 cm angegeben werden, wie vielleicht auch die Gebäudelänge. Die Genauigkeitsanforderungen sind aber abhängig von der Bauteilgröße, also relativ und deshalb wäre der Bezug zu Bautoleranzen die einzig sinnvolle Lösung. Statt pauschaler Genauigkeitsvorgaben werden also entsprechend der Maßtoleranzen im Bauwesen Messgenauigkeiten relativ zu Bauteilabmessungen benötigt.

Ist also eine Unterscheidung in die traditionellen Genauigkeitsstufen heute noch sinnvoll und geben sie ausreichende Orientierung?

Heute wird nicht mehr auf Karton gezeichnet, sondern am Computer. Der Maßstab und die Genauigkeit stehen nicht mehr in direktem Zusammenhang. Wenn heute tachymetrisch auf der Basis eines Festnetzes gemessen wird, also mit ausreichender Genauigkeit für eine Stufe III, dauert das auch nicht länger. „Un-genauere“ Aufmaße sind dann zwar weniger zuverlässig, aber nicht wirklich billiger. Eine Einsparung durch eine Reduktion der (Genauigkeits-) Ansprüche von Stufe III auf Stufe II ergibt sich also nicht. Der Aufwand würde erst dann geringer, wenn weniger gemessen wird, Messungen durch Annahmen ersetzt werden, kopiert und gespiegelt wird. Ansonsten wird der Aufwand im Wesentlichen durch die Darstellungstiefe, durch inhaltlich differenzierte Anforderungen bestimmt.

Andererseits: Ein Aufmaß einer geringeren Stufe, sogenannte Architektaufmaße, schematische bzw. annähernd wirklichkeitstreuere Aufmaße lassen sich nachträglich nicht mehr verbessern. Ihre Genauigkeit lässt sich auch nicht nachträglich steigern. Die Com-

puterzeichnung suggeriert eine Genauigkeit, die sie auf Grund der einfachen additiven Vermessung oder als Ergebnis einer Digitalisierung vorhandener analoger „Bestandszeichnungen“ mit Sicherheit nicht hat. Vorhandene Bestandspläne lassen sich oft im Archiv nachverfolgen. Sie haben mehrfaches Umkopieren und Hochzeichnen hinter sich und sind wahrscheinlich aus den historischen Entwurfszeichnungen hervorgegangen. Einfache Aufmaße und das Digitalisieren vorhandener Bestandszeichnungen führen also zu Unsicherheiten und entsprechenden Problemen im Planungsprozess. Oft wird dann doch noch ein „richtiges“ Aufmaß notwendig. Dazu eine klare Aussage von Hädler [5]: „Die Erwartung, aus Altplanbeständen ließen sich durch Scannen und Nachbearbeitung zuverlässige Planungsgrundlagen erstellen, gehört in den Bereich der Legende. Derartige zeichnerische Gebilde sind ungeeignet für denkmalpflegerische Werkplanungen. (...) Für eine denkmalpflegerische Projektierung mit entwurfsbedingten Eingriffen in den Baubestand ist eine formgetreue digitale Plangrundlage der Stufe III unverzichtbar.“

Heute sollten die Fragen nach Genauigkeit und Maßstab anders gestellt werden. Von Geodäten wird der Genauigkeitsbegriff ausschließlich als geometrische Kategorie in Bezug auf die Messgenauigkeit verstanden: der aus der Messanordnung und Fehlerfortpflanzung resultierende Koordinatenfehler  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  eines Punktes bzw. der daraus abgeleitete Fehler einer Strecke zwischen zwei Punkten. Die geometrische Qualität wird mit der statistischen Größe der Standardabweichung bzw. dem mittleren Fehler beschrieben. Andererseits wird aber die Aussage einer Bauaufnahme wesentlich von deren Darstellungsgenauigkeit bzw. -tiefe bestimmt. Dazu noch einmal Hädler [5]: „Messgenauigkeit und Darstellungsgenauigkeit sind Faktoren, die immer im gegenseitigen Wechselspiel die Aussageschärfe eines Aufmaßes bestimmen.“ Wesentliche Erkenntnisse gehen durch eine pauschale Generalisierung verloren. Bauhistorisch wichtige Details, Baufugen, Architekturprofile oder Verbindungen von Holzkonstruktionen müssen also mit erfasst und gegebenenfalls in einem größeren Maßstab dargestellt werden – innerhalb der CAD-Zeichnung, die in Ausschnitten problemlos größer ausgedruckt werden kann (vgl. Abb. 7 und 8).

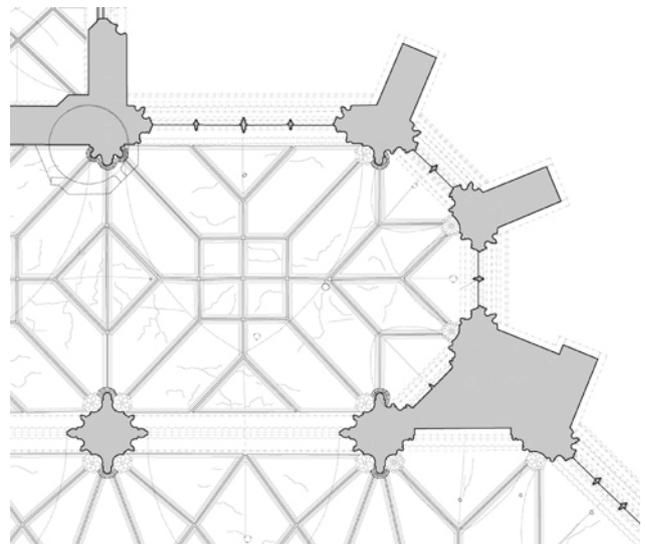
Hädler definiert als Standard für Restaurierungs- und Umbauplanungen die Stufe III (exaktes und formgetreues Aufmaß) im Maßstab 1:50 mit Darstellungsgenauigkeit innerhalb 2,5 cm. Steigerungen in Stu-



**Abb. 8: Stadtpfarrkirche Steyr, Ausschnitt Querschnitt**

fe IV und V gehen mit höherem Maßstab (im CAD nicht relevant) und entsprechend höherer Darstellungsgenauigkeit zusammen. Da sich also die Stufen I und II nicht mehr verbessern lassen, für Werkplanungen nicht ausreichend sind und nicht wirklich billiger als tachymetrische Aufmaße und also ungenauer sind, sollten sie doch zukünftig einfach aus dem Anforderungskatalog gestrichen werden.

Vor diesem Hintergrund schlägt Weferling [6] einen Stufenaufbau für ein Gebäudeaufmaß im Sinne von Bauaufnahmephasen vor, mit Grundlagenmessungen und entsprechenden technologischen Vorgaben zur Sicherung der Genauigkeit von Bauteilabmessungen und des räumlichen Zusammenhangs und mit der Möglichkeit einer projektbegleitenden Nachver-



**Abb. 9: Stadtpfarrkirche Steyr, Ausschnitt Emporengrundriss mit Gewölbeuntersicht**

dichtung und Ergänzung. Er nennt drei Bauaufnahmephasen:

- Grundlegende Tachymetrie auf der Basis eines Grundlagennetzes (das entspricht der Stufe III)
- Informationsverdichtung auf der Grundlage von Phase 1, mehr Detailinformationen und wenn notwendig mit höherer Detailgenauigkeit
- Sonderanwendungen für individuelle Aufgabstellungen

Hädler [5] geht in der stufenweise Nachverdichtung bis zu einer Stufe V. Dem schließen sich Cramer, Breitling [7] an. In der DIN 1356-6 „Bauaufnahmezeichnungen“ [8] werden lediglich zwei Informationsstufen unterschieden. Die inhaltlichen Anforderungen an die zeichnerische Dokumentation und für Textangaben werden ausführlich aufgelistet, in Mindest- und Zusatzforderungen unterschieden. Informationsstufe II soll auf Informationsstufe I aufbauen. Auf Genauigkeitsvorgaben wird offensichtlich bewußt verzichtet. Die Betonung liegt also auf Information und nicht auf Genauigkeit.

Es müssen also für Bauaufnahmen unbedingt immer sowohl die messtechnischen Genauigkeitsanforderungen als auch die Darstellungstiefe definiert werden. Beides kann scheinbar widersprüchlich sein, lässt sich aber natürlich in der CAD-Zeichnung problemlos vereinigen: Eine formgetreue Bauaufnahme im Maßstab 1:50 mit Messgenauigkeit 2,0 cm und einer Darstellungstiefe z. B. für entscheidende Architekturdetails (Portal- und Fenstergewände, Gesimsprofile etc.) im Maßstab 1:10 oder 1:5, das heißt ohne Generalisierung. Zum Beispiel lassen sich die Profile der Pfeiler, der Portale und Gewölberippen und das Maßwerk der Stadtpfarrkirche in Steyr im Maßstab 1:5 ausgeben (vgl. Abb. 8 und 9). Die Vermessung wurde, wie am Beispiel des Fuldaer Domes beschrieben, im Wesentlichen tachymetrisch vorgenommen. Die Risskartierungen erfolgten photogrammetrisch.

## 7 Orthofotos und 3D-Scans

Im obigen Abschnitt wurden Bauaufnahmezeichnungen diskutiert, heute also im CAD und nicht mehr auf Karton. Anforderungen an 3D-Scans und Orthofotos wurden bisher nicht systematisch behandelt. Hier ist die Denkweise grundsätzlich anders als bei Zeichnungen.

Bauaufnahmezeichnungen stellen eine bewusste Auswahl auf die wesentlichen Inhalte dar, das heißt

eine Interpretation der Befunde mit dem Wissen über historische Baukonstruktionen, Architekturformen, Ausstattungen und Material. Bauaufnahme ist also ein Erkenntnisprozess und vermittelt die Ergebnisse in aussagekräftigen Zeichnungen. Jeder Punkt, jede Linie und jede Flächenkontur setzt eine bewusste Entscheidung vor einem entsprechenden Erfahrungshintergrund voraus. Ihnen können durch die Zeichnungsstruktur oder durch zusätzliche Attribute noch weitere Informationen zugeordnet werden. Punktwolken und Bilder sind dagegen nur „dumme“ Ansammlungen von Pixeln, wenn man davon absieht, dass auch mehr oder weniger aussagekräftig fotografiert werden kann. Da hier entsprechendes Wissen über historische Bauweise und Architektur scheinbar nicht nötig ist, werden diese Aufgaben meist als rein technische Angelegenheit betrachtet. Um so wichtiger, auch hier gewisse Ansprüche zu definieren.

Die Interpretation der Befunde ist von der Bildqualität abhängig, vordergründig vom Abstand der Punkte – einer Punktwolke aus 3D-Scans oder den Pixeln einer Digitalkamera. Ist auch hier eine Auflösung von 2,5 cm (für Zeichnungen als Darstellungsgenauigkeit verstanden) für eine Stufe III vorstellbar? Die Ausgabe auf Tuscheplothern mit Fotopapier ist fotorealistisch, das heißt ohne sichtbare Pixelung, wenn mit mindestens 300 dpi gedruckt wird. Die Größe eines Pixels am Objekt wäre dann zum Beispiel für einen Maßstab von 1:50 (Stufe III) mit ca. 4 mm ausreichend. Bei einer Pixelgröße bzw. einem Punktraster von 2,5 cm könnten also nur Übersichtspläne im Maßstab 1:250 gedruckt werden. Es kann auch formuliert werden, dass für die notwendige Aussageschärfe einer Bauaufnahme im Maßstab 1:50 eine mindestens fünffach höhere fotografische Auflösung als die in den Genauigkeitsstufen genannten Größen erforderlich ist, um die entsprechende Detailerkennbarkeit zu gewährleisten. Entsprechend wäre für Orthofotos z. B. im Maßstab 1:20/1:25 eine Objektauflösung von ca. 2 mm erforderlich. Dieser Zusammenhang beschreibt jedoch nur die geometrische Komponente der Bildqualität und gibt Hinweis auf die Wiedergabe kleinster Details. Hinzu kommt noch die optische Abbildungsschärfe. Sie ist abhängig von der Tiefenschärfe (Blendeneinstellung) und der Beugungsschärfe (Linsenfehler – Qualität der Objektive). Teure Digitalkameras mit großen Sensoren nützen also nichts, wenn an den Objektiven gespart wird. Soweit nur unvollständig zu den technischen Zusammenhängen. Früher sprach man nicht umsonst von Lichtbildkunst.

## 8 Projektmanagement und Anforderungen an Vermessungskonzepte

Die einfachste Methode, um Geld zu sparen, ist die Qualitätssicherung. Welchen Einfluss eine gute Bauaufnahme auf das gesamte Projekt hat, ist beispielhaft an einem der größten Sanierungs- und Revitalisierungsprojekte auf dem profanen Sektor der Denkmalpflege in Österreich, den Häusern am Hal-leiner Schöndorferplatz demonstriert worden [9]. An diesem Beispiel, wie auch an den oben beschriebenen Vermessungen des Fuldaer Domes und der Porta Nigra in Trier, wurden die Anforderungen an die Bauaufnahmen konkret objektbezogen definiert. Das individuelle Vermessungskonzept stellt eine eigene schöpferische Leistung dar und ist erster Baustein des denkmalpflegerischen Projektmanagements [10]. Es erfordert sowohl vermessungstechnischen Hintergrund, als auch natürlich Sachkenntnis in historischer Architektur und Denkmalpflege.

Erfolg muss organisiert werden. In [11] wird detailliert ausgeführt, wie durch metrische Aufnahmen in enger Zusammenarbeit mit Historikern, Konservatoren und Archäologen eine optimale Dokumentation erzielt werden kann. 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 von allen Seiten von Anfang an richtig verstanden werden. Qualität ist die Eignung für den Verwendungszweck.

Mit dem Leistungsverzeichnis werden kontrollierbare Bedingungen geschaffen. Für technologisch bedingte Zwischenschritte gibt es Kontrollmöglichkeiten. Erste Muster und das Endergebnis werden einer Vor-Ort-Kontrolle unterzogen und förmlich abgenommen. Kenntnisse über das Objekt, räumliche Gliederungen, Dimensionen, Umgebungsbedingungen, Bauzeit, Baugeschichte und Ausstattungsmerkmale sind notwendige Grundlage sowohl für diese Konzepte als auch für die Kalkulation von Angeboten. Das Vermessungskonzept ist die geistige Vorwegnahme des Endergebnisses, des Weges dahin und des Aufwandes der dafür notwendig ist.

Eckstein fragt letztlich selbst, ob eine Klassifizierung der Bauaufnahme notwendig ist [12]. Er befürwortet diese Abstufung weiterhin. Nun bringt aber eine größere „Ungenauigkeit“ keine oder nur marginale Einsparungen und eine eventuell doch noch nötige Verbesserung wäre später nicht mehr möglich. Außerdem verhindern solche pauschal angewendete

Einstufungen die konkrete objektbezogene Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung für eine Bauaufnahme. Dazu auch die klare Position des English Heritage [11]: 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 der Anbieter die Bedingungen für das konkrete Objekt klar erkennen kann, schließlich soll ja letztlich auch eine Qualitätskontrolle und Abnahme seiner Leistungen entsprechend der vereinbarten Kriterien erfolgen können.

Eine Basis (vgl. Bauaufnahmephase 1 nach Weferling [6]), die den Anforderungen der Genauigkeitsstufe III entspricht, die in bestimmten Abschnitten detaillierter ausgeführt bzw. nachträglich verdichtet werden kann, sollte heute als Standard angesehen werden. Einen guten Ansatz bildet die DIN 1356-6, die eine schrittweise Informationsverdichtung zum Kern hat, Mindestanforderungen festlegt und Freiraum für objektspezifische Fragestellungen lässt [8].

Im Ergebnis dieser Diskussion und aus einschlägigen Praxiserfahrungen sind folgende Punkte festzuhalten:

- Die Genauigkeitsstufen I und II (nach Eckstein) lassen sich nicht nachverdichten oder „verbessern“.
- Vorhandene (analoge und digitale) Bestandspläne sind ohne Nachweis der Messungsgrundlage und der verwendeten Messmethode nicht für Werkplanungen geeignet.
- Bei Eingriffen in den Bestand eines Denkmals ist ein formgetreues Aufmass mindestens der Genauigkeitsstufe III unverzichtbar (entspricht etwa Informationsstufe II nach DIN).
- Eine Bearbeitung kann dann in mehreren (eventuell zeitlich aufeinander folgenden) Phasen geschehen (Nachverdichtung).
- Darstellungsgenauigkeit, -tiefe, bzw. Informationsdichte sind individuell und differenziert festzulegen. Sie stehen im Zusammenhang mit der konkreten Sanierungsaufgabe.
- Es können auch gleichzeitig verschiedene Abschnitte (Bauteile, Ausstattungsteile) mit unterschiedlicher Informationsdichte aufgenommen werden (vgl. Abb. 2 Dom in Fulda).
- Pauschale Vorgaben einer Genauigkeit sind für die Bauaufnahme eines konkreten Objektes nicht ausreichend. Die Genauigkeitsanforderungen sind relativ zur Bauteilgröße und stehen im Zusammenhang mit Maßtoleranzen.

- Standardspezifikationen berücksichtigen nicht die Besonderheiten eines konkreten Objektes. Es ist eine differenzierte Vorgehensweise notwendig, ein individuelles Vermessungskonzept.

Um ein Projekt erfolgreich zum Ziel zu führen, ist es notwendig, die Anforderungen objektspezifisch zu klären und zu beschreiben. Verschiedene Fragen sind zu beantworten:

- Welcher Zweck wird mit der Bauaufnahme verfolgt? (u.a. bauhistorische Forschungen, Kartierungsgrundlage, Werk- und Sanierungsplanung, statische Gutachten)
- Differenzierte inhaltliche Anforderungen beschreiben die Qualität der benötigten Informationen wie Baukonstruktion (mit oder ohne Freilegungen), Baukanten und Öffnungen, Architekturformen, Bauplastik, Werksteine mit Fugen, Ausstattungselemente, Oberflächen, Materialangaben, Zustand, Schäden, Verformungen, Detailierungsgrad/Tiefe der Darstellung/Detaillauflösung. Eventuell sind Muster notwendig, die Variationen zeigen und definieren können.
- Wie sollen die Ergebnisse genutzt werden? Technische Produkteigenschaften: Zeichnungen, Orthofotos, analoge und digitale Ausgabe, CAD-Struktur, Ausgabemedium und -maßstab
- Welche Maßnahmen ergeben sich aus den Objektbedingungen? (Sicherheitskonzept, Einsatz von Gerüsten, Arbeitsbühnen, Stromanschluss, Ausleuchtung, Behinderungen durch Bewuchs)
- Welche Vermessungstechniken bzw. welche technologische Rahmenbedingungen müssen – eventuell für verschiedene Situationen unterschiedlich – festgelegt werden? (Grundlagenmessung, der Einsatz bestimmter Messmethoden, Dichte der Messpunkte, Messanordnung, Aufnahmedisposition für Messbilder und Scans, Bildmaßstab bzw. -auflösung, Messgenauigkeit relativ und absolut, Messung und Auftragen am Objekt, Nachweisführung)

Eckstein hatte seine „Genauigkeitsstufen“ als Hilfe für die Konzeption konkreter Projekte gedacht. Die Welt der Vermesser hat sich seitdem offensichtlich stark geändert. Mit neuen Techniken ergeben sich andere Möglichkeiten. Keine Systematik, dafür aber strukturierte Checklisten für Bauaufnahmen werden dem Projektmanagement helfen können.

## Literatur

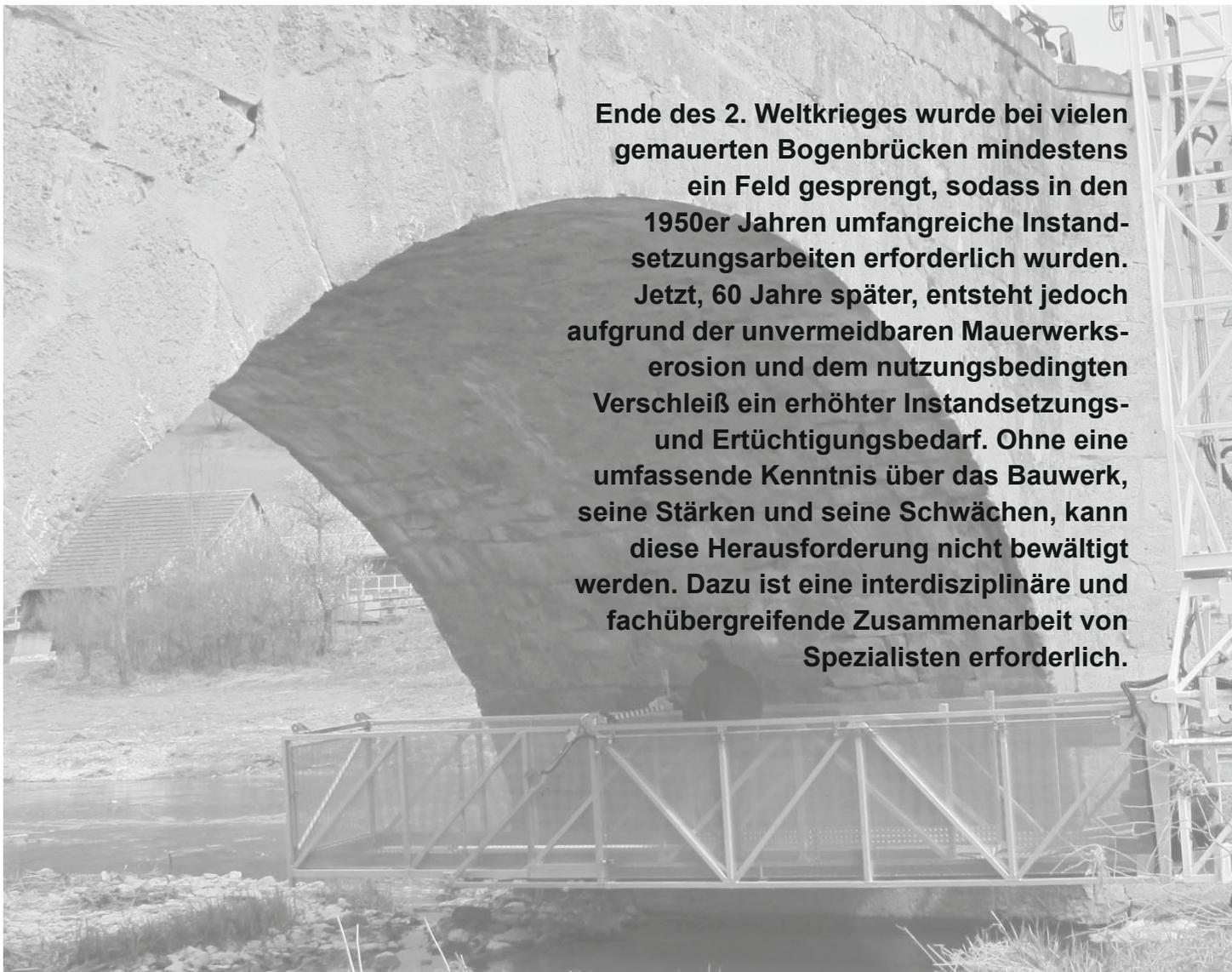
- [1] Brusckhe, A.: Bauaufnahme in der Denkmalpflege – Anforderungen und Methoden, in BAUSUBSTANZ, Heft 1 und 2/2013, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart
- [2] Stasch, G. K.: 300 Jahre Dom zu Fulda und sein Architekt Johann A. Dientzenhofer (1663–1726). Michael Imhof Verlag, Petersberg 2012
- [3] Eckstein, G.: Empfehlungen für Baudokumentationen, Arbeitsheft 7, Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Konrad Theiss Verlag Stuttgart, aktuelle Auflage 2003
- [4] Anforderungen an eine Bestandsdokumentation in der Baudenkmalpflege, Arbeitsmaterialien zur Denkmalpflege in Brandenburg, Nr. 1, Hrsg: Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege, Imhof Verlag, Petersberg, 2002
- [5] Hädler, H.: Sanierungsvoruntersuchung und Bauforschung als Teil des Planungsprozesses, in Architekten in der Denkmalpflege, Hrsg.: H. Thomas, Rudolf Müller Verlag, Köln 2004
- [6] Weferling, U.: Randbedingungen und Anwendungspotentiale moderner Bauaufnahmeformen – ein Plädoyer für eine mehrstufige, projektbegleitende Bauaufnahme, in Bauaufnahme in der Denkmalpflege, Hrsg.: A. Brusckhe, Fraunhofer IRB-Verlag, 2005
- [7] Cramer, J., Breitling, St.: Architektur im Bestand – Planung Entwurf Ausführung, Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Berlin, 2007
- [8] DIN 1356-6:2006-05 Bauzeichnungen – Teil 6: Bauaufnahmezeichnungen
- [9] Ronald Gobiet und Heimat Österreich (Hrsg.): HÄUSER AM SCHÖNDORFER PLATZ – ERHALTEN UND ERNEuern IN HALLEIN, Salzburger Beiträge zur Kunst und Denkmalpflege Band IV, Verlag Anton Pustet Salzburg – Wien, 2008
- [10] Fuchsberger, H.: Qualitätssicherung in der Bestandsaufnahme – das Beispiel Schöndorfer Platz in Hallein, in Bauaufnahme in der Denkmalpflege, Hrsg.: A. Brusckhe, Fraunhofer IRB-Verlag, 2005
- [11] Measured and Drawn – Techniques and practice for the metric survey of historic buildings, Published by English Heritage, 2. Ausgabe, 2009
- [12] Eckstein, G.: Die Bestandsaufnahme – Beobachten, Messen, Analysieren, Dokumentieren, in Bauaufnahme in der Denkmalpflege, Hrsg.: A. Brusckhe, Fraunhofer IRB-Verlag, 2005

## Abbildungsverzeichnis

Alle Abbildungen sind vom Verfasser.

# Interdisziplinäre Bestandserfassung und Bewertung einer denkmalgeschützten Bogenbrücke aus Natursteinen mit Instandsetzungs- und Ertüchtigungskonzept

von A. Bewer, G. Patitz, R. Schuster, E. Wendler, S. Stürmer



**Ende des 2. Weltkrieges wurde bei vielen gemauerten Bogenbrücken mindestens ein Feld gesprengt, sodass in den 1950er Jahren umfangreiche Instandsetzungsarbeiten erforderlich wurden. Jetzt, 60 Jahre später, entsteht jedoch aufgrund der unvermeidbaren Mauerwerks-erosion und dem nutzungsbedingten Verschleiß ein erhöhter Instandsetzungs- und Ertüchtigungsbedarf. Ohne eine umfassende Kenntnis über das Bauwerk, seine Stärken und seine Schwächen, kann diese Herausforderung nicht bewältigt werden. Dazu ist eine interdisziplinäre und fachübergreifende Zusammenarbeit von Spezialisten erforderlich.**

## 1 Ausgangslage

Im Jahr 2012 wurde von dem Autorenteam eine mehrfeldrige Steinbogenbrücke untersucht. Da der Findungsprozess für die Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmethoden noch nicht abgeschlossen ist, kann der Zwischenstand der Untersuchungen nur ohne die Nennung des Objektes erfolgen. Der Befund der regelmäßig wiederkehrenden Brückenprüfungen [vgl. 1] zeigte eine zunehmende Schädigung des Natursteinmauerwerks. Die Brücke wies dabei unter anderem große Verformungen in den Brüstungen und in den Flügelwänden auf. Für eine möglichst wirklichkeitsnahe Beurteilung unter Berücksichtigung der Denkmaleigenschaften entschied sich der Bauherr für eine interdisziplinäre Bestandserfassung und Bewertung.

## 2 Verformungsgetreue geometrische Bestandsaufnahme

Für die interdisziplinäre Projektbearbeitung wurde für alle Fachbereiche eine einheitliche Bezeichnung der einzelnen Bauteile und Achsenbenennungen festgelegt. Dabei liegen die Achsen im Scheitel der Bögen und im Kämpferbereich. Das Achssystem wurde im CAD in die Ergebnisse der photogrammetrischen Vermessung implementiert und vor der Durchführung der Untersuchungen am Bauwerk händisch eingemessen und mit Markierungen sichtbar gemacht [2]. Damit stand allen an den Untersuchungen Beteiligten ein einheitliches Bezugssystem zur Verfügung. [9, 10]

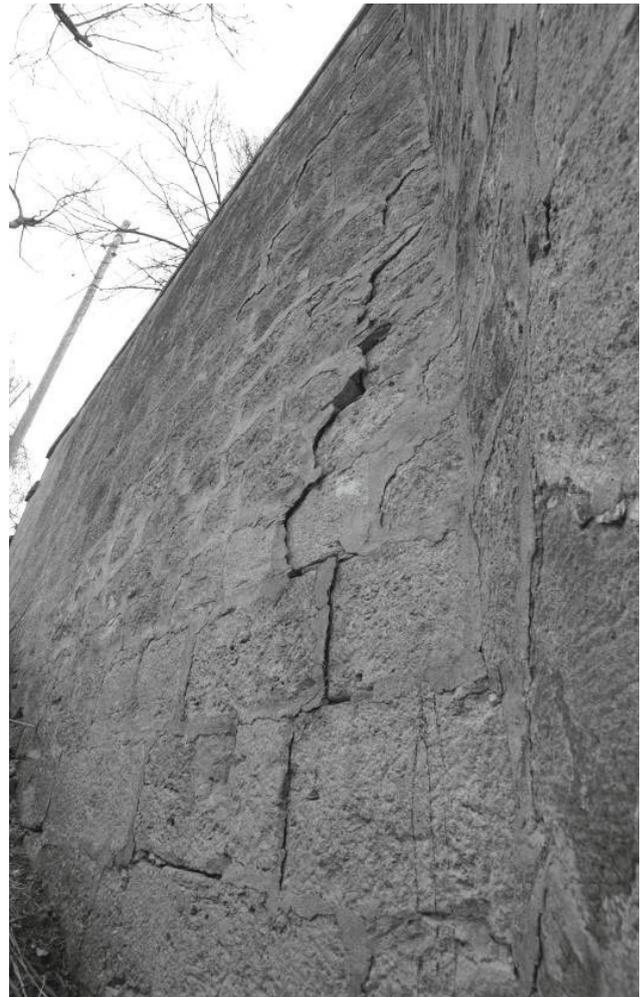


Abb. 1: Verformung rechte (östliche) Flügelwand, Unterstrom



Abb. 2: Nordansicht Unterstrom, Flussverlauf von Süden (Oberstrom) nach Norden (Unterstrom), linkes Ufer im Westen (hier rechts) und rechtes Ufer im Osten (hier links)

### 3 Baugeschichte

Das einschneidendste Ereignis in der über 200-jährigen Baugeschichte war die Sprengung des dritten Bogens am Ende des 2. Weltkrieges. Ab 1954 wurde der Wiederaufbau geplant und dann im Jahr 1955 in Form eines Stahlbetonbogens ausgeführt. Die statische Berechnung des eingespannten gelenkfreien Stahlbetonbogens erfolgte mit einem von Mörsch entwickelten Verfahren [3]. Seit dieser Zeit sind keine Veränderungen und auch keine wesentlichen Instandhaltungsmaßnahmen mehr durchgeführt worden. Eine Inschrift „R 1875“ an der Brücke ist ein Indiz, dass zu dieser Zeit umfangreiche Instandsetzungsmaßnahmen ausgeführt wurden. Der Bauvertrag für die Errichtung der Brücke wurde 1753 zwischen dem zuständigen Grafen und einem regional ansässigen Maurer abgeschlossen. Vertragsgrundlage bildete eine undatierte Entwurfszeichnung mit schriftlichen Maßangaben. Gemäß der Schlussrechnung wurde 1757 mit dem Brückenbau begonnen und nach vier Jahren wurde die Brücke im Jahr 1761 fertig gestellt.

Die Brüstungen beginnen jeweils mit einem bildhauerisch bearbeiteten Stein. Auffällig ist, dass diese auf der Innenseite der Brüstung zu fast 50 % durch den

Strassenaufbau verdeckt sind. Es ist davon auszugehen, dass das bauzeitlich noch nicht der Fall gewesen ist. Ziemlich sicher wurden die Steine im Zuge der Baumaßnahmen 1955 um ca. 20 cm tiefergelegt, um einen gemeinsamen Abdeckstein für Brüstung und Brüstungsendstein zu ermöglichen, und es wurde das Strassenniveau um 20 cm höher gelegt, so dass die ursprüngliche Brüstungshöhe von 80–90 cm auf 50 cm reduziert wurde. [9]

### 4 Geologie

Der Baugrund, die Gründung und die Materialität der Brücke wurden durch Kernbohrungen (Abb. 13, 14) und optische Bohrlochscans vor beiden Widerlagern, in jedem Pfeiler und am Bogen 2 und Bogen 3 erkundet. Die Bohrungen wurden bis in den unverwitterten Fels abgeteuft. Der Baugrund hinter den Flügelwänden und der rückseitige Zustand der Flügelwände wurden durch zwei oberflächennahe Schurfe (Abb. 10) erkundet.

Die Brückenverfüllung besteht an den erbohrten Stellen aus einem zur Lastabtragung geeigneten hohlraumarmen Mehrkorn- bzw. Einkornbeton. Die in

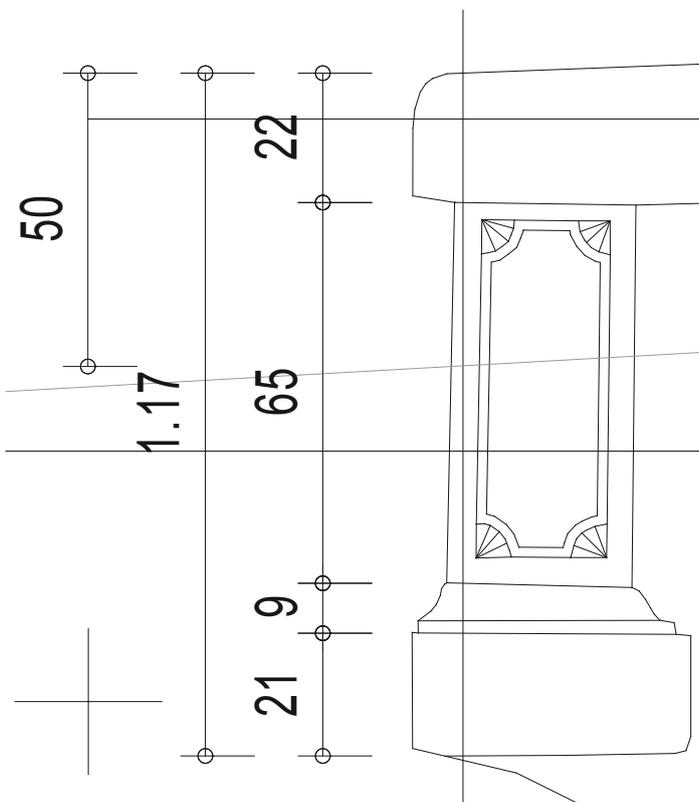


Abb. 3: Oberstrom, linkes Brüstungsende: Außenansicht mit Vermaßung



Abb. 4: Unterstrom, rechtes Brüstungsende, mit eingezeichnetem Versatzmaß

den Plänen angegebenen und mit Radar georteten Ziegelschotte (Abb. 7, 8) wurden an den prognostizierten Stellen vorgefunden. Die Pfeiler bestehen unter der Verfüllung aus Kalksteinmauerwerk mit verfestigtem Kalkmörtel, das auf einem Holzrost mit darunter liegender kiesiger Ausgleichsschicht bis zum Felshorizont aufsitzt. Das gemörtelte Mauerwerk der Widerlager sitzt hingegen auf einer recht mächtigen künstlichen Auffüllung von geschichtetem, aber unvermörteltem stückigem Kalkstein. Das linke (westliche) Widerlager bindet in den Felshorizont ein, das rechte (östliche) Widerlager ist im Talkies gegründet. Die Flügelwände bestehen lediglich aus einer vermörtelten ca. 20cm starken Vorsatzschale, der restliche Teil der Wand besteht in einer Tiefe von 30–40cm aus lose geschichteten Kalksteinen. [11]

## 5 Zerstörungsfreie Untersuchung mit Bauradar

Das Ziel der zerstörungsfreien Radaruntersuchung war eine flächige Auskunft über den inneren und nicht einsehbaren Aufbau der Steinbogenbrücke, um so eine zutreffende Kenntnis über die Konstruktion und den Zustand der Brücke zu bekommen [4]. Folgende Sachverhalte waren zu klären:

- Die Feststellung des Aufbaus und der Dicke des Natursteinmauerwerks,
- die Beurteilung der Homogenität und des Zustandes der Verfüllungen,
- die Beurteilung der Verbindung des Mauerwerks mit der Verfüllung,
- Untersuchungen des Straßenaufbaus und Ortung evtl. Ausspülungen,
- die Lage der Bewehrung beim neuen Betonbogen
- die Ortung signifikanter Störungen des Mauerwerksgefüges,
- die Ortung sonstiger signifikanter Auffälligkeiten und Besonderheiten.



Abb. 5: Radarmessung von der Straße

Mit den Radarsensoren werden elektromagnetische Wellen in die Bauteile eingebracht (Abb. 5, 6). Mit der Wahl der Sensoren und dem Abstand der Messprofile werden die Genauigkeit und das Auflösungsvermögen bestimmt. Die elektromagnetischen Wellen durchlaufen die Untersuchungsbereiche mit einer stoffspezifischen Ausbreitungsgeschwindigkeit, die in Luft und trockenen Materialien sehr hoch ist und mit zunehmender Feuchtigkeit abnimmt. Durch Salze werden die elektromagnetischen Wellen absorbiert.

Beim Übergang von einem Material in ein anderes mit abweichenden elektrischen Eigenschaften wird an der Grenzfläche ein Teil der einfallenden Wellen gebrochen und ein Teil reflektiert. Der Kontrast der elektrischen Eigenschaften benachbarter Materialien bestimmt das Reflexionsvermögen an den Trennflächen.

An der Bauteiloberfläche werden die Reflexionen von den Sensoren aufgenommen und registriert. Bei metallischen Einbauteilen wie Ankern, Steinklammern und Bewehrung kommt es zur Totalreflexion, was in den Radardaten durch sehr hohe Signalamplituden und typische Diffraktionen gut zu erkennen ist.

Die Aufzeichnung der Radardaten erfolgt in Form von Radargrammen (Abb. 7, 8 unten). Dabei handelt es sich je nach Verlauf des Messprofils um einen horizontalen oder vertikalen Schnitt in das Mauerwerk. Die unterschiedlichen Reflexionsstärken an Materialgrenzen werden farbcodiert wiedergegeben. Dabei werden hohe Reflexionsamplituden in Blau und Rot-Violett dargestellt, niedrige Reflexionsamplituden erscheinen gelb.

Aus einer hinreichenden Anzahl paralleler Radargramme können Zeitscheiben (Abb. 7 Mitte) be-



Abb. 6: Radarmessung der Stirnflächen

rechnet werden. Das ist eine grundrissähnliche Darstellung aller Reflexionen in einem ausgewählten Tiefenbereich des Bauteils. Die Lage dieses Tiefenbereiches richtet sich nach der Fragestellung, die zu beantworten ist. Meistens werden Zeitscheiben für den Grenzbereich Außenwand - Innenfüllung berechnet, um hier Hohlräume und Schalenablösungen zu finden. [12, 4]

### 5.1 Radarmessungen von der Straße aus

Die Interpretation der Radardaten lässt die Aussage zu, dass tatsächlich alle Bereiche der Brücke in den 50er Jahren ausgeräumt und mit einem recht einheitlichen Beton neu verfüllt und gut verdichtet worden

sind (Abb. 7). Diese Beurteilung deckt sich mit den punktuellen und linienförmigen Untersuchungsergebnissen aus der Baugrunderkundung.

Die Natursteingewölbe konnten in den Radardaten bis in etwa 3,0m Tiefe sehr gut bis gut erfasst werden. Als Reflektor zeichnet sich die Bogenunterseite, der Übergang von Naturstein zu Luft gut ab. Der darüber liegende Bereich ist folglich für das Radar transparent und kann gut und zuverlässig beurteilt werden. Die in den Plänen dargestellten Ziegelschotte (Abb. 8) konnten geortet werden. Der starke flächige Reflektor stellte sich als eine Kupferfolie aus einer Reparaturmaßnahme des Straßenbelags heraus. [12]

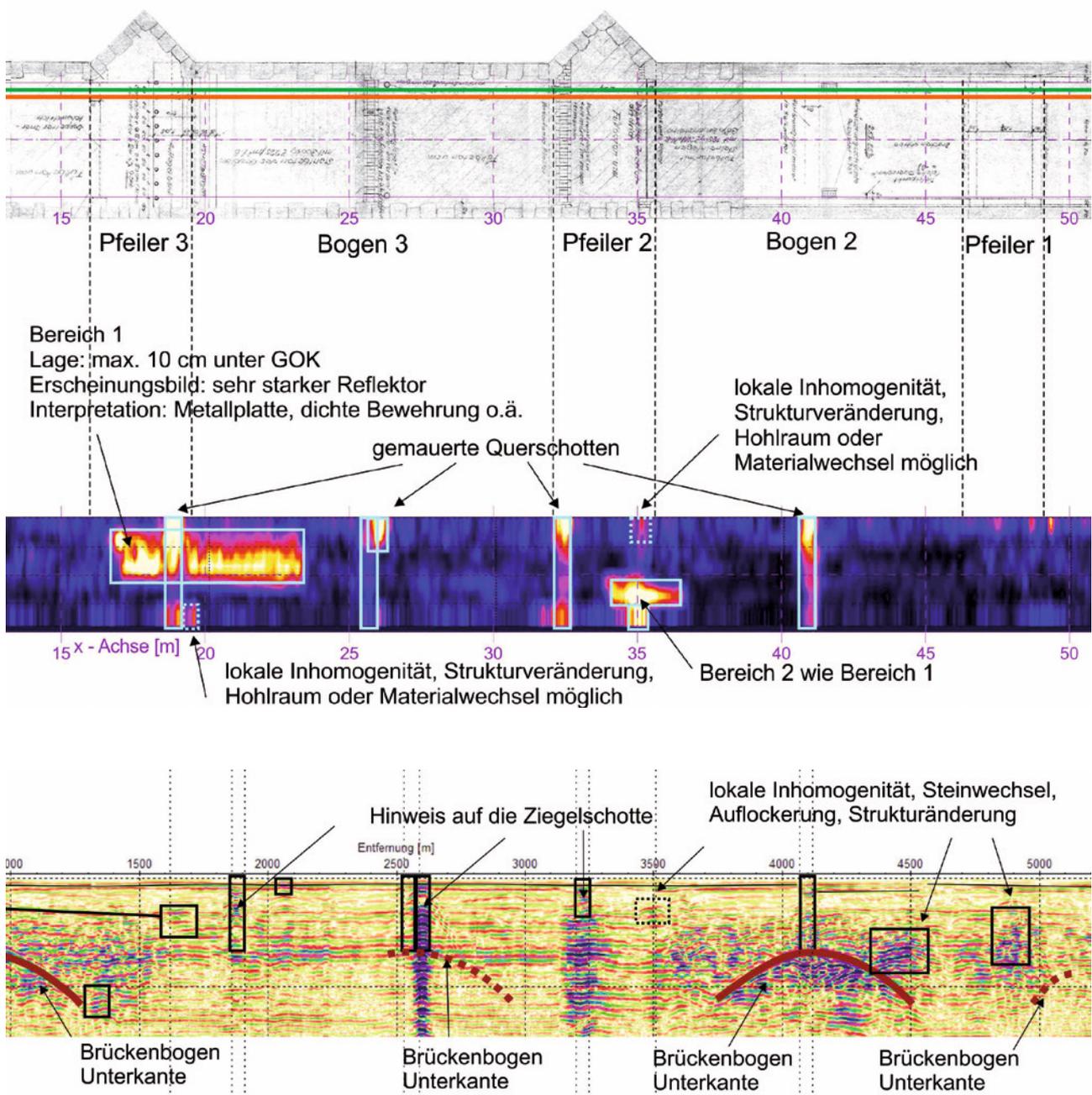


Abb. 7: Radaruntersuchung von der Straße aus (rechtes Widerlager hier links und umgekehrt)



Abb. 8: Ziegelschott, links Reste der metallischen Abdichtung

### 5.2 Radarmessung Bogenunterseiten

In den Radargrammen lässt sich in einer Tiefe von ca. 50 cm eine Schallengrenze erkennen. Die Einbindetiefen der einzelnen Steine des Bogenmauerwerks sind unterschiedlich und meistens größer als 35 cm. Großflächige Ablösungen dieser Mauerschale oder Hohllagen im Inneren wurden nicht gefunden. [12]

### 5.3 Radarmessung Stirnwände

Die Dicke der Natursteine variieren zwischen 35 und 50 cm. Es liegt somit eine Verzahnung zwischen Stirnwand und Innenfüllung vor. Bei den in Abbildung 9 umrissenen Bereichen ist erkennbar, dass hinter den Natursteinen ein Spalt bzw. Hohlraum vorhanden sein muss. In diesen Bereichen zeichnen sich die Rückseiten der einzelnen Steine deutlich in den Radargrammen ab. [12]

### 5.4 Radarmessung Flügelwände

Zur Erkundung der Flügelwandhinterfüllung wurde zunächst oberstromseitig und unterstromseitig ein oberflächennaher Schurf angelegt. Es wurde hier eine Auffüllung aus steinigem und lehmigem bzw. lehmig-schluffigem Material angetroffen (Abb. 10). Zwischen der Flügelwand aus Quadermauerwerk und dem Hinterfüllmaterial ist eine ca. 30–40 cm breite lagenweise aufgebaute Muschelkalksteinlage aus unbearbeiteten Steinen vorhanden. Die Schichtung dieser Steine war ursprünglich hohlraumreich und diente zur Dränierung. Strukturveränderungen als Ursache für die starken Ausbauchungen und Risse müssen sich daher im Radar durch einen Verlust dieser Heterogenität ab-

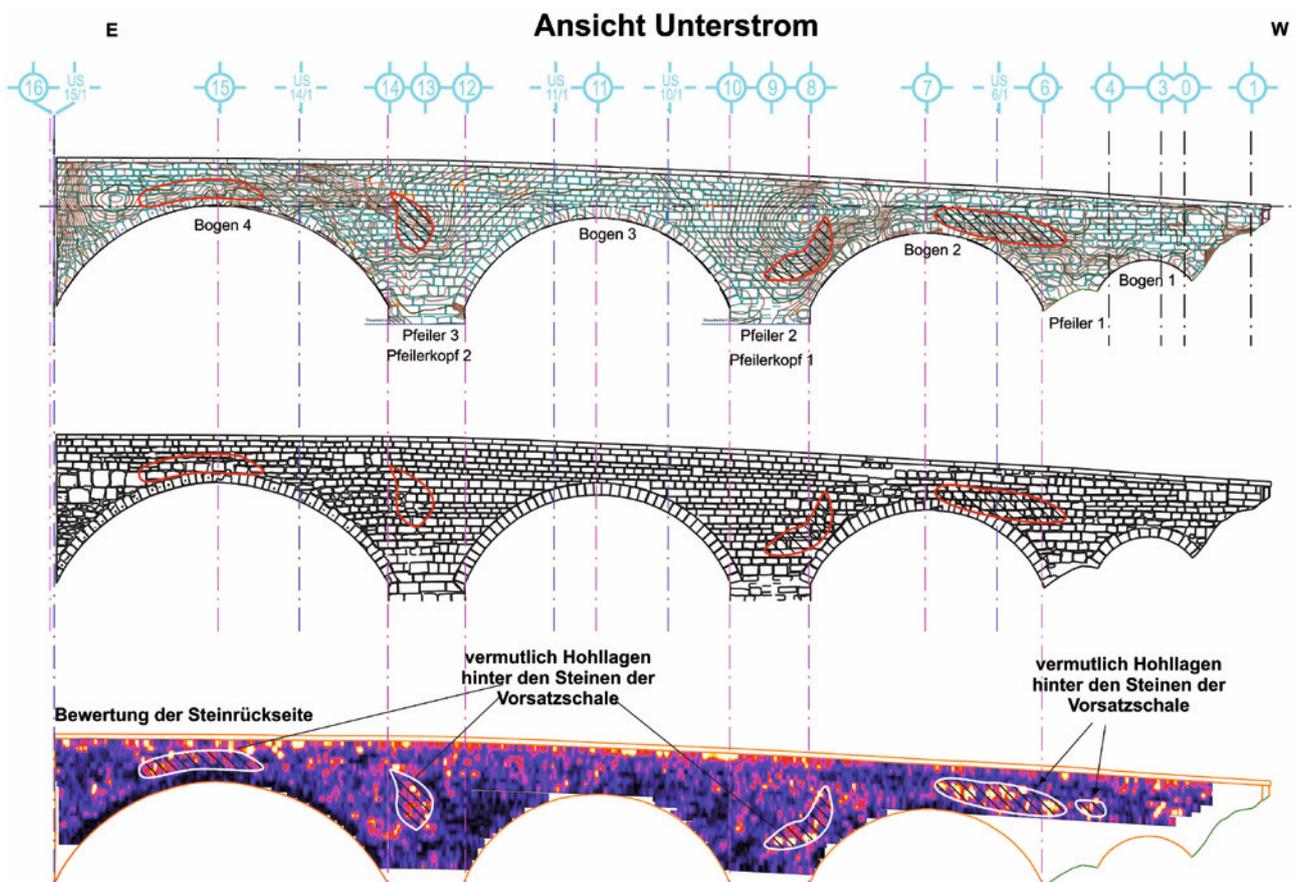


Abb. 9: Ergebnisse der Radaruntersuchungen Unterstrom  
Bei den umrissenen Bereichen handelt es sich um Verdachtsstellen für Hohlräume hinter der Natursteinschale. Dieser erscheinen in den Zeitscheiben aufgrund starker Reflexionen.

zeichnen. Aufgabe der Radaruntersuchung war daher auch hier, eine flächige Auskunft über den Zustand der Wand und der Hinterfüllung zu bekommen.

Die im Schurf örtlich festgestellte Größenordnung der Wandstärken konnte mit der Radaruntersuchung bestätigt werden. Die Dicke der Wand beträgt in der Fläche 30–60 cm. Die Einbindetiefen der einzelnen Steine in das rückwärtige Erdreich verspringen, so dass eine gute Verzahnung zwischen Wand und Erdreich vorhanden ist.

An der Flügelwand Oberstrom besteht eine großflächige und starke Ausbeulung und ein vertikal verlaufender breiter Riss mit deutlichen Versätzen (Abb. 11). Im Bereich der Beule sind die Fugen offen und gerissen. Das Erdreich hinter der Wand erscheint in den Radardaten im Bereich der Beule sehr homogen. Das bedeutet, dass hier sämtliche Hohlräume in der unvermörtelten Steinschicht inzwischen durch eingeschwemmtes Feinmaterial verschlossen sind. Oberhalb und unterhalb der Beule sind zwei sehr auf-



Abb. 10: Schurf hinter der Flügelwand Oberstrom

fällige Bereiche, die in Abbildung 11 umrissen sind. Hier ist die Mauerstruktur heterogen und damit vermutlich noch ursprünglich. Die Rückseiten der Steine sind sehr gut erkennbar und es wird von Hohlräumen zwischen Wand und aufgefülltem Erdreich ausgegangen. [12]

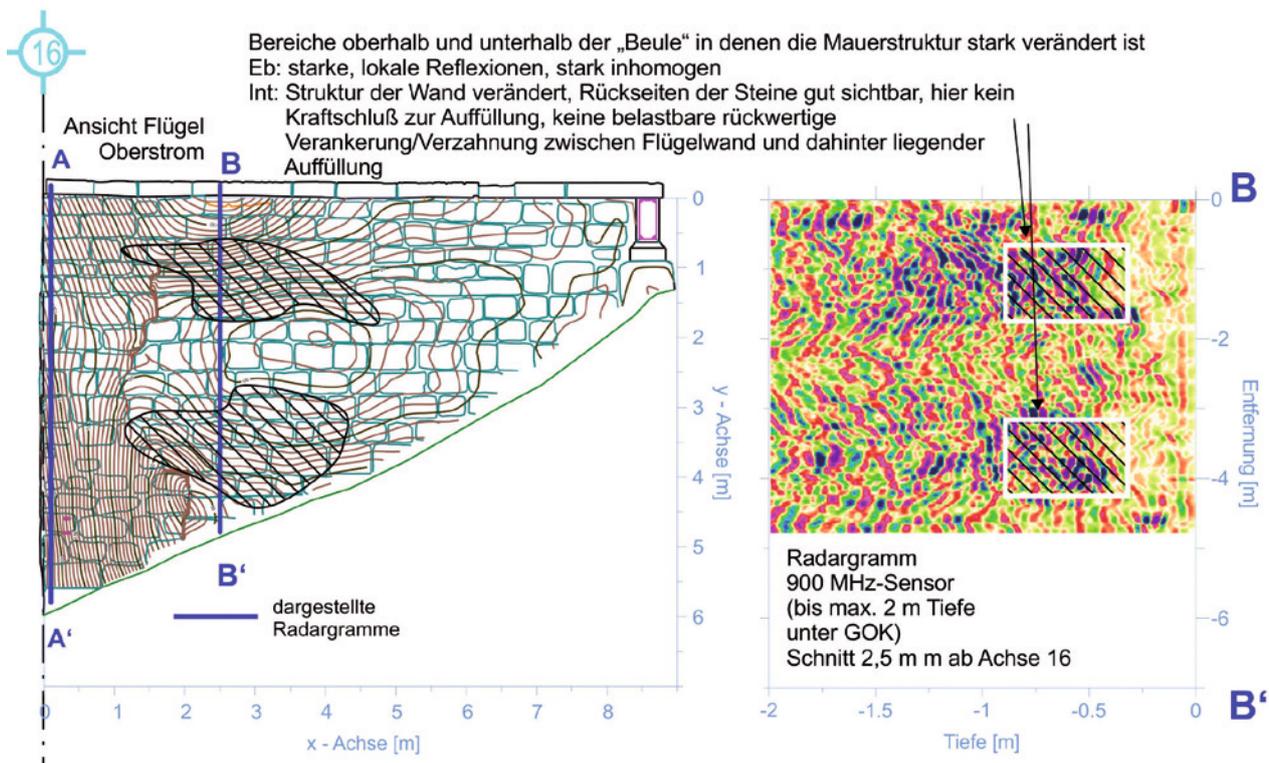


Abb. 11: Flügelwand Oberstrom und Beispielradargramm  
 Im Bereich des Maximums der Beule sind hinter den Steinen keine Hohlstellen vorhanden, allerdings in den Bereichen darüber und darunter (schraffierte Bereiche), erkennbar an der erhöhten Reflektivität.

## 6 Erkundung der Natursteine

Vor Ort und im Labor wurden die hygrischen (Abb. 12) und mechanischen Eigenschaften der verwendeten Natursteinarten ermittelt und dokumentiert (Tab. 1–3) und es wurden geeignete Austauschmaterialien bestimmt.

Die steinsichtige Brücke ist im Wesentlichen aus lokal verfügbarem Muschelkalk (Tab. 1) erbaut. Die vermutliche Herkunft liegt in heute stillgelegten Steinbrüchen bei Garnberg und Nitzenhausen sowie ggf. Dörzbach-Laibach. Der Bogen 3 wurde nach Sprengung im 2. Weltkrieg durch ein Stahlbetongewölbe mit Gewölberändern aus Muschelkalk neu errichtet. Im Fall des vorherrschend verbauten Muschelkalks treten häufig lageorientierte Herauswitterungen der weicheren Sedimentationsschichten auf. Wegen der insgesamt eher hohen Festigkeit des Materials führt



Abb. 12: Wasseraufnahmemessung mit dem Karsenschen Prüfröhrchen nach WTA Merkblatt 3-17:06.2010/D [8]

Tab. 1: Mechanische und hygrische Eigenschaften des Muschelkalks

Probennummer	w-Wert [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]	Rohdichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Ultraschallgeschwindigkeit [km/s]	Dyn. E-Modul [kN/mm <sup>2</sup> ]	Druckfestigkeit [kN/mm <sup>2</sup> ]
BK 3.3			3,3/4,4	24,8/43,4	
BK 5.1.1	0,2	2,48	4,7/3,6	55,3/31,8	37,0
BK 6.1.5	0,5	2,05	4,5/4,9	42,3/49,7	34,7
BK 7.1.2	1,8	2,19	4,4/3,1	43,0/21,7	13,3
BK 8.1.4			4,8/4,2	53,8/42,3	
BK 8.4	0,6	2,35			43,4

Tab. 2: Mechanische und hygrische Eigenschaften des Blasensandsteins (Typ 1)

Probennummer	w-Wert [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]	Rohdichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Ultraschallgeschwindigkeit [km/s]	Dyn. E-Modul [kN/mm <sup>2</sup> ]	Druckfestigkeit [kN/mm <sup>2</sup> ]
BK 4.2.1	9,3	2,14	2,2/2,6	10,8/14,5	45,5
BK 9.1.2	2,7	2,15	3,6/3,7	27,2/28,6	53,9

Tab. 3: Mechanische und hygrische Eigenschaften des Werksandsteins (Typ 2)

Probennummer	w-Wert [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]	Hygrisches Quellmaß [µm/m]	Freie Wasseraufnahme [m%]	Rohdichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Ultraschallgeschwindigkeit [km/s]	Dyn. E-Modul [kN/mm <sup>2</sup> ]	Druckfestigkeit [kN/mm <sup>2</sup> ]
BK 1.4	6,1			2,01	2,0/2,1	8,4/8,6	24,2
BK 2.4	3,3			2,16	2,0/2,4	8,6/12,3	27,7
AB 2.2		3467	7,7				
AB 2.3	2,4			2,10	1,6/1,4	5,3/4,1	

dies meist nicht zu einem gravierenden Fortschreiten des Schadens. Häufiger anzutreffen sind stark herausgewitterte Fugen, die als Indiz für einen nur unzureichend in seinen Eigenschaften angepassten Fugenmörtel anzusehen sind.

Für die bauzeitlichen Gewölberänder wurden überwiegend ein lokaler, mittelkörniger Sandstein aus dem mittleren Keuper verwendet, der sich vom Typus nicht näher eingrenzen lässt, stratigraphisch aber wohl in die Reihen Blasensandstein – Weißer Mainsandstein – Coburger Bausandstein zu stellen ist (Tab. 2, Typ 1).

Den oberen Abschluss des Brückenbrüstungsmauerwerks sowie die seitlichen Abschlüsse der Brücken-

köpfe sind aus einem lokalen, gelblich-ockerfarbenen, tonigen Sandstein gefertigt, der in seinem Aussehen zunächst an Schilfsandstein erinnert. Ein Studium der geologischen Situation zeigt jedoch, dass es sich hier mit hoher Sicherheit um einen sog. Werksandstein handelt (Tab. 3, Typ 2). Der tonige Werksandstein zeigt häufig, bedingt durch seine hohe hygrische Quellfähigkeit, eine Gefügezerrüttung parallel zum Sedimentationslager (Abb. 18).

Das Mauerwerk der Bogenuntersichten ist ein Bruchsteinmauerwerk und hat im Vergleich zum Quadermauerwerk der Stirnwände einen sehr hohen Mörtelanteil (Abb. 23). Dabei nehmen die Mörtelanteile vom Kämpfer zum Scheitel als auch vom Gewölberand zur Gewölbemitte zu. [13]

## 7 Erkundung des Mörtels, der Betone und der Salze mit Instandsetzungskonzept für die Mörtelfugen

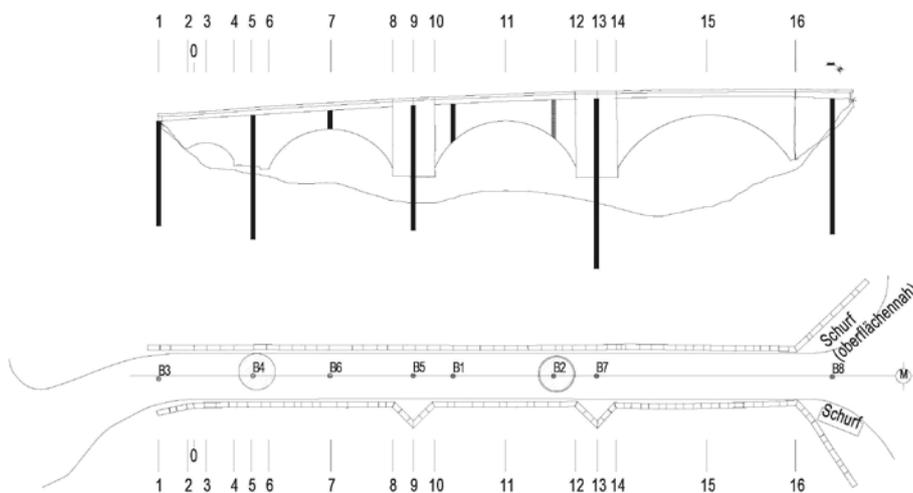


Abb. 13: Lage der Bohrkerne



Abb. 14: Bohrkern B2 im Bohrkasten mit Abschnitten von der Oberfläche (Asphalt) bis ca. 3,5m Tiefe

### 7.1 Befund des vorhandenen Fugenbildes

Am Objekt sind zahlreiche unterschiedliche Fugenmörtelarten, Fugenausbildungen/-verläufe und Verwitterungsformen festzustellen. Dabei sind mindestens 4 unterschiedliche visuelle Befunde zu berücksichtigen (Abb. 15–18), für deren Instandsetzung auch verschiedene Verfungungstechniken und Fugenmörteln auszuwählen sind:

- a schmale Fugen mit wenige mm-Breite, die sich zum Teil in der Tiefe aufweiten,
- b etwas breitere Fugen mit ca. 1,5–2,5 cm Breite,
- c tief ausgewitterte, breite Fugen bzw. nicht mehr vermörtelte Zwickel zwischen den Steinen bis ca. 30 cm Tiefe, an Einzelstellen bis ca. 50 cm Tiefe,
- d horizontale Fugen zwischen den Abdeckplatten der Mauerkrone.

Bezüglich der Mörtelbeanspruchung sind folgende Bereiche zu unterscheiden:

- Ausschließlich luftberührter Bereich (vertikale Flächen oberhalb der Wasser-Wechsel-Zone),
- luftberührter Bereich mit Spritzwasser- und Tausalzbelastung (vertikale Flächen als Fahrbahnbegrenzung – Brückeninnenseiten),
- luftberührte horizontale Flächen mit großer thermisch-hygrischer Beanspruchung (zwischen den Abdeckplatten der Mauerkrone),
- wasserberührte Bereiche der im Wasser stehenden Pfeiler,
- wechselnd wasser- und luftberührte Bereiche (Wasser-Wechselzone je nach Pegelstand)
- luftberührte Flächen an den Brückenuntersichten über dem Wasserspiegel.



Abb. 15: Schmale Fugen mit hinterschnittiger Aufweitung an der Stirnwand (a)



Abb. 16: Breitere Fugen mit ca. 1,5–2,5 cm Breite an der Innenseite der Brüstung (b)



Abb. 17: Tief ausgewitterte, breite Fugen an der Gewölbeuntersicht (c)



Abb. 18: Horizontale Fugen mit Steinerstörung zwischen den Abdeckplatten (d)

## 7.2 Instandsetzungskonzept für die Mörtelfugen

Folgende Techniken und Fugenmörtel sollten entsprechend der Fugenformen und Beanspruchungen und den ermittelten Materialkennwerten eingesetzt werden:

1. Handverfugung mit Fugenkelle mit mineralischem, hydraulischem Fugenmörtel (MG IIa, Größtkorn ca. 2mm) bei breiten, aber weniger tiefen Fugen und zum Anböschern an zementreiche Bestandsmörtel an den vertikalen Flächen.
2. Verfugung mit Kartusche mit spritzfähigem mineralischem, hydraulischem Fugenmörtel (Größtkorn ca. 2mm) an den vertikalen Flächen bei schmalen, tiefen Fugen, die sich nach hinten aufweiten – ggf. in Kombination mit „Injektionsschlauch“ für tiefer liegende Bereiche – Da diese Fugen am Objekt einen großen Anteil ausmachen, sollte aus Gründen der Effizienz und Arbeitszeiteinsparung anstelle mit einer Kartusche mit einer Spritzmaschine gearbeitet werden.
3. Steinsichtige bzw. steinfühlige Tiefenverfugung im Trockenspritzverfahren mit spritzfähigem mineralischem, hydraulischem Fugenmörtel (Größtkorn ca. 3,5mm) an den Brückenuntersichten.
4. „Sandwich“-Verfugung der horizontalen Fugen (Mauerkronen-Abdeckung) mit mineralischem Mörtel zum Auffüttern bis max. 5 mm unterhalb der Steinoberflächen mit mineralischem Fugenmörtel (siehe Handverfugung) und anschließendem Einbringen von organischem Fugendichtstoff mit mineralischer „Abstreuerung“ oder Fugendichtstoff mit „Mörteloptik“. Alternativ dazu unter denkmalpflegerischem Gesichtspunkt Ausführung einer Bleiverfugung

Alle Mörtel müssen frostbeständig sein und mindestens der Mörtelgruppe MG IIa nach DIN 1053 entsprechen. Der Anteil an hydraulischer Bindemittelkomponente (Zement) muss hoch genug sein, um auch dauerhafter direkter Wasserbeanspruchung zu widerstehen. Falls kleinflächige Antragungen an Schad- oder Fehlstellen der Mauersteine notwendig werden, kann dafür ein mineralischer, gering Kunststoff vergüteter Steinrestauriermörtel eingesetzt werden. [14]

## 7.3 Beton

Anhand der Druckfestigkeiten ist der Beton aus den 1950er Jahren gemäß aktueller Beton-Norm in die Festigkeitsklasse von mindestens C16/20 einzuordnen. Teilweise wurden sogar Druckfestigkeiten gemessen, die der heutigen Festigkeitsklasse C30/37 entsprechen. Es handelt sich um Normalbeton, der

im Brückeninneren noch nicht karbonatisiert ist. Die Wasseraufnahme der Betone liegt zwischen 4,0 und 6,8M-%. Die Prüfergebnisse belegen die visuellen Befunde während der Bohrkernentnahme, so dass die Qualität des Betons als gut zu bewerten ist. [14]

## 7.4 Mauermörtel

In den tieferen Bereichen der Bohrkern B4 und B5 (Tiefe ca. 4–6 m) ist unter dem Beton Natursteinmauerwerk vorhanden, deren Mörtel ebenfalls untersucht wurde – mit folgenden Ergebnissen:

- Die Mauermörtel weisen Druckfestigkeiten zwischen 2,5 und 8,9N/mm<sup>2</sup> auf, der überwiegende Teil liegt zwischen ca. 3,5 und 5,5N/mm<sup>2</sup>. Damit sind die Mörtel der Mörtelgruppe MG II gemäß geltender Mauerwerksnorm DIN 1053 zuzuordnen.
- Die Rohdichte der Mörtel schwankt zwischen 1,01 und 1,39kg/dm<sup>3</sup>. Auch wenn die Rohdichte im Vergleich zu modernen Normal-Mauermörteln deutlich geringer ist, ist der Mörtel als Normalmörtel (und nicht als Leichtmörtel) einzustufen, da die geringere Rohdichte nicht auf Leichtzuschlägen und/oder Luftporenbildner-Einsatz, sondern auf Poren und Luft einschlüssen beruht.
- Es waren große Schwankungen der Rohdichte bei gleichen Proben und ebenfalls große Schwankungen innerhalb der gleichen Bohrkernabschnitte festzustellen. Da das verwendete Bindemittel und die Zuschläge vergleichbar sind, ist das ein Zeichen für das händische Mischen des Mörtels und das Anmischen in eher kleinen Chargen mit den üblichen Schwankungen der begrenzten Dosiergenauigkeit von Baustellenmischungen.
- Der Verbund zu den Natursteinen ist überwiegend als sehr gut zu bewerten.

Neben den soliden Mörtelkennwerten ist auch die Stabilität des Mörtels bei der Bohrkernentnahme und dem späteren Sägen der Prüfkörper als Indiz für die gute Qualität des Mörtels zu werten. [14]

## 7.5 Salze

Im Inneren der Brücke sind weder im Beton noch im tiefer liegenden Mörtel beachtenswerte, das heißt mittlere oder hohe Salzgehalte nachweisbar. An der Oberfläche und in den Fugen sind zum Teil lokal erhöhte Salzbelastungen nachweisbar, die je nach Außenklima auch visuell am Objekt erkennbar sind. Vor allem Chloride wären aufgrund des Streusalzeinsatzes zu erwarten gewesen – diese sind aber wahrscheinlich bereits ausgewaschen worden. Insgesamt ist die Belastung mit bauschädlichen Salzen nicht hoch und bezieht sich im Wesentlichen auf die Ober-

fläche bzw. den oberflächennahen Bereich. Durch die im Rahmen der Gesamtmaßnahme vorgesehene Reinigung ist mit einer Reduzierung des Salzgehaltes zu rechnen. [14]

### 8 Maßnahmenorientierte Schadenskartierung des Mauerwerks mit Instandsetzungskonzept

Für die Erfassung und Beurteilung des Befundes wurde ein objektspezifischer Mauerwerkskatalog (Tab. 4) und Befund- und Schadenskatalog (Tab. 5) erarbeitet [2, 5, 6]. Die Kartierung der Schäden erfolgte maßnahmenorientiert (Abb. 19). Dabei wird anstelle einer rein phänomenologischen Zustandsbeschreibung bereits direkt an der Schadstelle eine Einschätzung hinsichtlich der erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen vorgenommen.

Sämtliche Flächen wurden visuell erfasst und – soweit dies geboten erschien – durch einfache mechanische Prüfungen wie Abklopfen und Kratzproben auf Hohllagen und Festigkeit untersucht. Typische Scha-

denbilder wurden entsprechend dem Schadenskatalog erfasst und als Befund mit Lichtbildern, Beschreibung und Bewertung dokumentiert.

Der vorhandene Mauerwerksbestand wurde in Plänen im Maßstab 1:200 erfasst, und die Schäden wurden in Pläne im Maßstab 1:50 eingetragen (Abb. 19, 20). Die Pläne bilden die quantitative und qualitative Grundlage für das Instandsetzungskonzept mit Kostenermittlung. [15]

#### 8.1 Mauerwerkstypen (Mauerwerkskatalog)

Die Brücke besteht aus unterschiedlichen Typen von Natursteinmauerwerk (Tab. 4), die sich durch die Art der Natursteinbearbeitung, die gewählten Natursteine und den Mörtelanteil unterscheiden. Der neu gebaute Bogen 3 ist an der Untersicht betonsichtig. Die Art der Instandsetzung hängt wesentlich von der Art des Mauerwerks ab, wobei in den einzelnen Brückenbauteilen - Bogen, Pfeiler, Stirnwand, Brüstung und Flügelwänden – immer unterschiedliche Mauerwerkstypen vorkommen (Abb. 19).

Tab. 4: Mauerwerkstypen (Mauerwerkskatalog) der Bogenbrücke

Typ.	Bezeichnung	Steinbearbeitung	Steinart		Mörtelanteil
			Hauptanteil	Nebenanteil	
1	Bruchsteinmauerwerk der Gewölbeflächen (Bogenlaibung)	gering	Muschelkalk	Sandstein Typ 01 (Mittlerer Keuper)	hoch
2.a	Quadermauerwerk der bauzeitlichen Gewölberänder (Bogen 1, 2 + 4)	hoch	Sandstein Typ 02 (Mittlerer Keuper)	Muschelkalk	niedrig (Pressfuge)
2.b	Quadermauerwerk der Gewölberänder vom Bogen 3	hoch	Muschelkalk		mittel bis niedrig
3.a	Quadermauerwerk der Stirnflächen (1), Pfeiler und Bogenkämpfer (2) der Brüstung (3) und Flügelwände (4) (ursprünglich)	hoch	Muschelkalk	Sandstein Typ 01 (Mittlerer Keuper)	mittel bis niedrig
3.b	Quadermauerwerk der Stirnflächen (1) und Pfeiler (2) (Wiederaufbau)	hoch	Muschelkalk	Sandstein Typ 01 (Mittlerer Keuper)	mittel bis niedrig
4	Brüstungsabdecksteine	hoch	Sandstein Typ 02 (Werksandstein)		mittel bis niedrig

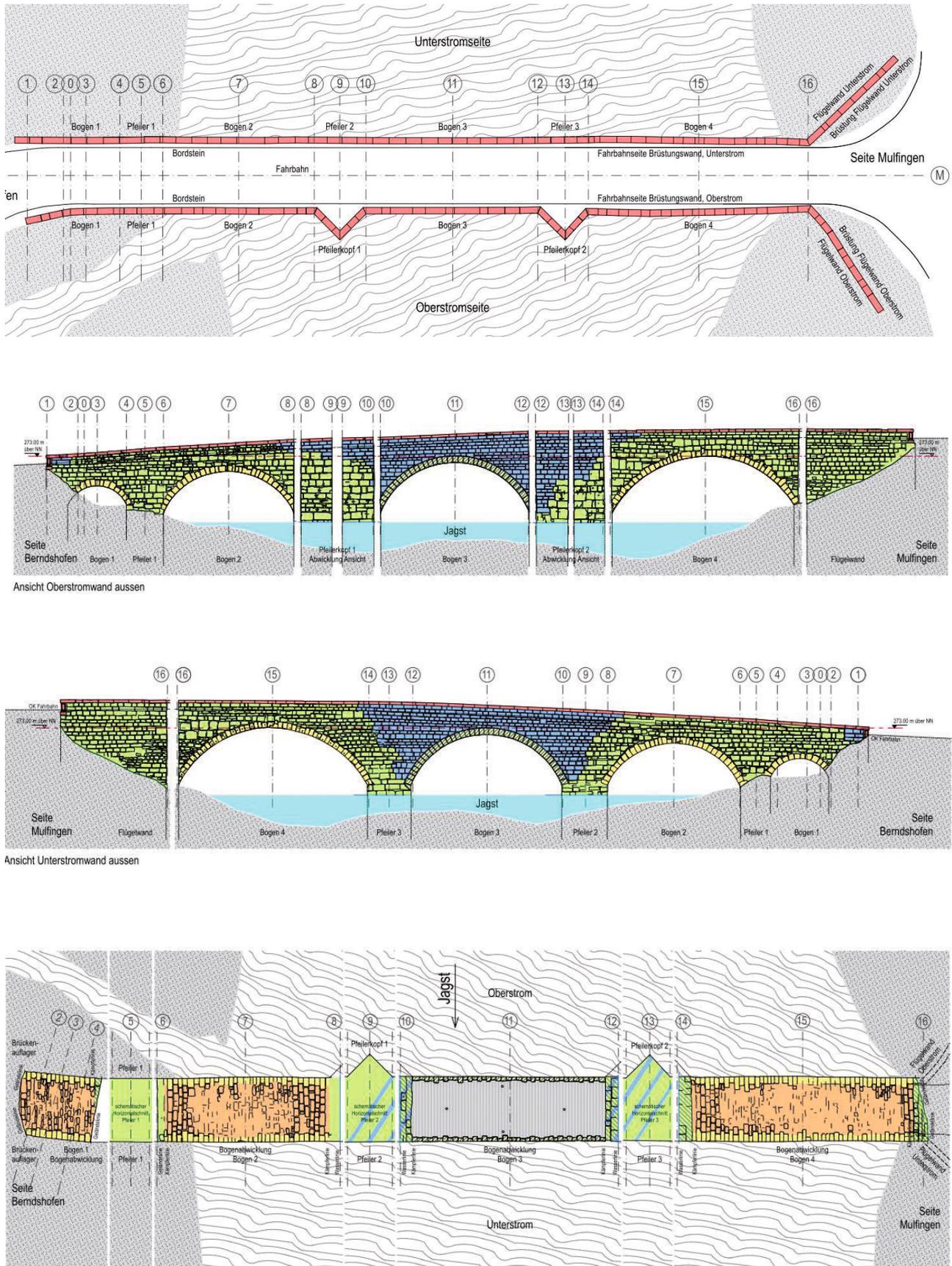


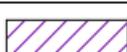
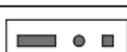
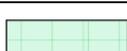
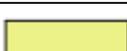
Abb. 19: Kartierung der Mauerwerkstypen in einem Mauerwerksplan (MW)

### 8.2 Maßnahmenorientierte Schadenskartierung

Der Bestand an typischen Schadensbildern wurde entsprechend dem Bestands- und Schadenskatalog (Tab. 5) erfasst und als Befund mit Lichtbildern (Abb. 15–18), Beschreibung und Bewertung dokumentiert. Der Befund mit Bewertung wurde in einer

maßnahmenorientierte Schadenskartierung (Abb. 20) dargestellt, die die Grundlage für die qualitative und quantitative Ermittlung des erforderlichen Instandsetzungsbedarfs und der zugehörigen Instandsetzungsmaßnahmen mit Kostenermittlung bildet. [15]

Tab. 5: Bestands- und Schadenskatalog für die maßnahmenorientierten Schadenskartierung

Zeile	Befund		Maßnahme	
1		offene Fugen	Mörtelfugeninstandsetzung Steinergänzung	
2a		Risse in Stein/Fugen	Mörtelfugeninstandsetzung Steinreparatur	
2b		Riss mit Versatz		
3a		Ausbeulungen		
3b		Versätze		
3c		Hohllagen und Mauerwerksablösung in Verbindung mit großen Verformungen	Vernadelung	
4		Steinverlust und Fehlstellen	Steinergänzung	
5a		Steinzerstörung	Steinaustausch	
5b			Vierung	
6		Verwitterung (Steinerosion)	Steinreparaturen mit Mörtel	
7		Salze	Reinigung	
8a		Kiesnester, freiliegende Bewehrung	Betoninstandsetzung	
8b		Beton Netzrisse		
8c		Betonantragungen		
9		Eisenklammern und Eisenteile	entfernen	
10		Pflanzenbewuchs	entfernen	
11		Flechten und Moose	Reinigung	
		Flächiger Putzantrag		
		Muschelkalkstein		
		Sandstein		

## Vernadelungsbereich vertikal, Länge ca. 15,50 m

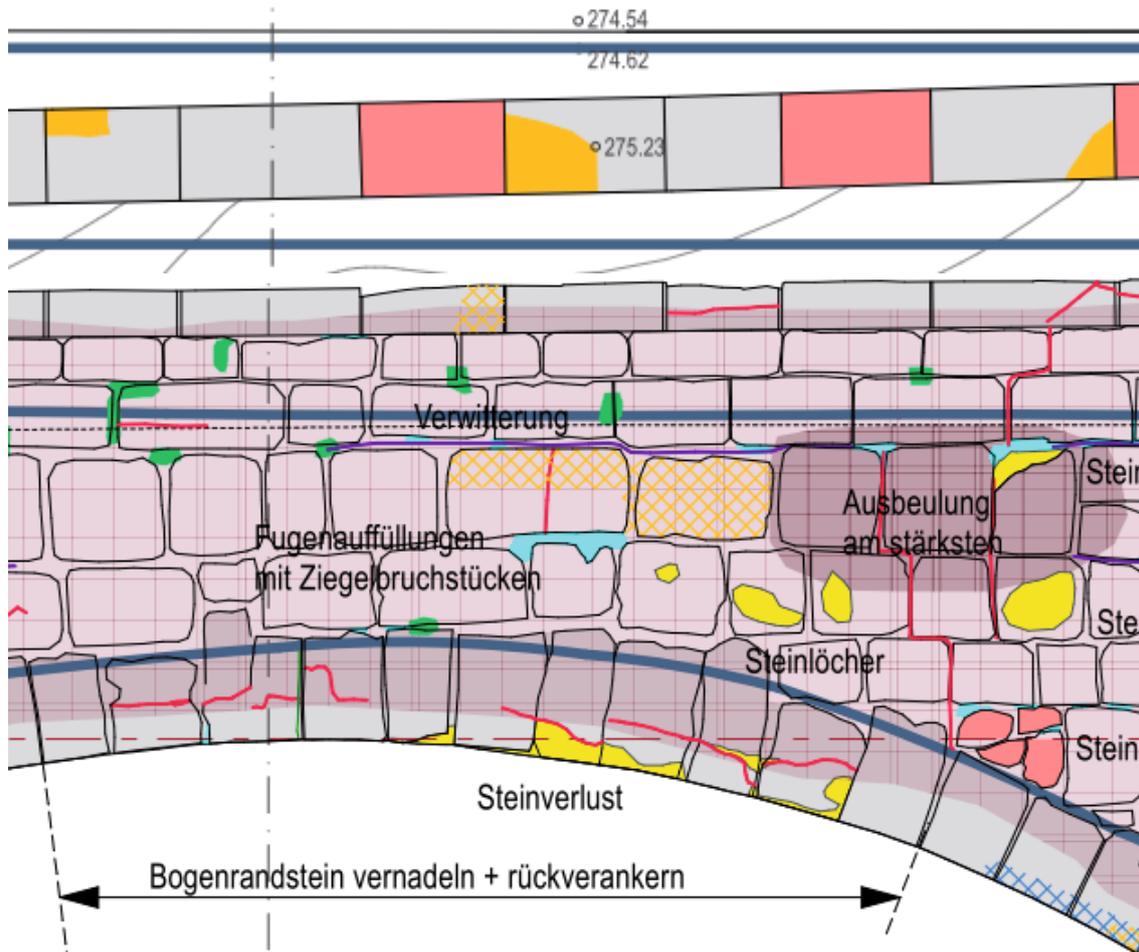


Abb. 20: Ausschnitt aus der maßnahmenorientierte Schadenskartierung, Stirnwand und Brüstungssteine am vierten Bogen Oberstrom

### 8.3 Instandsetzungskonzept für das Brückenmauerwerk

#### Reinigung der Steinoberflächen

Eine Reinigung der Steinoberflächen ist hauptsächlich nur für die Sicherstellung eines geeigneten Haftgrundes für die Neuverfugung erforderlich. Die Reinigung erfolgt nicht flächendeckend, da die Flechten die Natursteine nicht schädigen und somit nicht entfernt werden müssen. Auch sollte unter dem Kriterium des Denkmalschutzes die bauwerkstypische Oberfläche nicht zerstört werden. Daher scheidet alle Trockenstrahlverfahren aus. Diese können Schäden an den Steinoberflächen verursachen und so den Verwitterungsprozess beschleunigen. Da ein großer Eintrag von Wasser in die Konstruktion vermieden werden soll, wird von Hochdruckreinigung mit Wasser abgeraten. Die Reinigung macht jedoch nur Sinn, wenn vor-

her schon alle oberflächigen losen Bestandteile und insbesondere jeder Bewuchs entfernt wurde. Daher ist davon auszugehen, dass die Reinigung keine vorbereitende Maßnahme ist. Sie wird Zug um Zug mit dem für die Instandsetzung der Fugen erforderlichen Entfernen des oberflächigen Mörtels und Ausräumen der Fugen ausgeführt. Die Reinigung sollte hierbei mit einem Niederdruck-Partikel-Strahlverfahren erfolgen, da die Feuchte, die in die Oberflächen der Baustoffe gelangt, deutlich geringer ist als beim Hochdruckwasserstrahlen und die Substanz geschont wird (JOS- oder ROTEC-Verfahren). Zur Auswahl des geeigneten Strahlmittels und der Arbeitsdrücke sollten vorab Testflächen angelegt werden. [14, 15]

Tab. 6: Instandsetzungskonzept für die Mörtelfugen

Nr	Art der Verfugung	Fugentyp	Mauerwerkstyp
01	Tiefen- bzw. Vorverfugung mit Kartusche	schmal und tief	Typ 3: Quadermauerwerk der Stirnflächen
	<i>sorgfältiges Ausräumen und Reinigen der Fugen bis mind. doppelte Fugendicke (ohne Schädigung der Steinflanken), ggf. mit flachen Steinen auswickeln, mineralischer hydraulischer Fugenmörtel Größtkorn ca. 2 mm, mit Kartuschen und ggf. in Kombination mit „Injektionsschlauch“</i>		
02	Handverfugung mit Fugenkelle	Breit, aber nicht zu tief  (im Zweifel also Vorverfugung)  Verschluss der Pressfugen	Typ 2: Quadermauerwerk der Gewölberänder  Typ 3: Quadermauerwerk der Stirnflächen
	<i>sorgfältiges Ausräumen und Reinigen der Fugen bis doppelte Fugendicke (ohne Schädigung der Steinflanken), Handverfugung mit Fugenkelle und Fugenglattstrich, mineralischer hydraulischer Fugenmörtel Größtkorn ca. 2 mm</i>		
03	Tiefenverfugung im Trockenspritzverfahren	volumenhaft	Typ 1: Bruchsteinmauerwerk der Gewölbefläche
	<i>Reinigen und Entfernen aller lockeren Bestandteile, ggf. Auswickeln mit kleinen flachen Steinen, Tiefenverfugung in mehreren Arbeitsgängen im Trockenspritzverfahren, spritzfähiger mineralischer hydraulischer Fugenmörtel Größtkorn ca. 3,5 mm, Reinigung nach Fertigstellung, evtl. glatter Oberflächenputz</i>		
04	Sandwich Verfugung oder Bleiverfugung	Stoßfugen in der horizontalen Ebene	Typ 4: Brüstungsabdecksteine
	<i>Sandwich-Verfugung mit organischem Fugendichtstoff und mineralischer Abstreuerung oder dickschichtigem mineralischen Mörtel oder Bleiverfugung</i>		
<b>Mörteleigenschaften:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MG IIa frostbeständig</li> <li>▪ im Spritzwasserbereich der Brüstung MG III, frost-tausalzbeständig</li> <li>▪ geringes Schwindmaß</li> <li>▪ Mörtel sind in ihren Eigenschaften, dem Größtkorn und der Farbwahl auf die Natursteine abzustimmen.</li> <li>▪ bei Bedarf Haftzusatz (z. B. wenn der Mörtel angeböschert werden muss)</li> <li>▪ keine Farbzusätze</li> </ul>			

### Mörtelfugeninstandsetzung

Für die Erlangung der gewünschten Dauerhaftigkeit des Brückenbauwerks müssen alle Mörtelfugen erneuert werden, da nur so ein nachhaltiger Erosionsschutz erreicht werden kann. Das betrifft nicht nur die augenscheinlichen Fehlstellen, sondern auch alle derzeit noch mit Mörtel verschlossenen Fugen. Hinter diesen Fugen muss mit Hohllagen gerechnet werden. Bei den Instandhaltungsmaßnahmen in der Vergangenheit wurde der Mörtel nicht tief genug eingebracht. Die Reparaturmörtel haften oft nur noch punktförmig an den Steinen, sodass Wasser und auch Erdreich ungehindert über Risse und Klaffungen in die Fugen und das Mauerwerk eindringen kann. Neben dem Witterungsschutz wird der Mauerwerksmörtel für die

Kraftübertragung im Mauerwerk benötigt. Je größer der Mörtelanteil ist, umso wichtiger wird diese Funktion. Der Fugenmörtel darf nicht über die Steinflächen auslaufend gelassen werden.

Bei der Durchführung ist zu beachten, dass ein Ausräumen der Bestandsfugen planmäßig zur Schwächung des Mauerwerks führt. Daher darf ein vollflächiges Ausräumen und Schwächen nicht durchgeführt werden. Als erstes sind daher die augenscheinlich am stärksten erodierten Fugen instand zu setzen. Danach dürfen erst jene Fugen ausgeräumt werden, die zum jetzigen Zeitpunkt noch eine Kraftschlüssigkeit aufweisen. [14, 15]

### Steinaustausch und Ergänzung

Ort	Maßnahme
Gewölbeflächen	Austausch von frostgeschädigten Natursteinen. Verschließen von Hohlstellen mit Steinen, um den Mörtelanteil zu reduzieren.
Gewölberänder	Kein Austausch, aber Ergänzungen erforderlich.
Stirnflächen	Kein Austausch, aber Ersatz von fehlenden Steinen und Verschließen von größeren Löchern erforderlich
Brüstungen	Nur teilweise vollständiger Austausch erforderlich. Bei sehr großen und langen Steinen ist ein Teilaustausch möglich. An kleinen schadhaften Stellen wird eine Vierung empfohlen.

### Steinreparaturen mit Mörtel

Örtliche Fehlstellen in Form von Löchern in den Steinen, die durch Erosion entstanden sind oder sich jetzt durch den Ausbau von Stahlteilen ergeben, sind durch geeignete Mörtel zu schließen, wenn eine fort-

schreitende Zerstörung im Falle einer Belassung der Fehlstellen zu erwarten ist. Von der Verwendung von Steinerfüllungsmörtel zum Auf- und Anmodellieren wird hingegen abgeraten. [14, 15]

### Vernadelungen

Die Vernadelungen dienen vor allem der Lagesicherheit der verformten Struktur und ermöglichen so die benötigte Dauerhaftigkeit und Standsicherheit unter Beibehaltung der Verformungen. Dadurch ergibt sich ein größtmöglicher Substanzerhalt. Die gemauerten Stirnflächen mit den Brüstungen bilden ohne eine Verbindung mit der Auffüllung ein relativ dünnes

Scheibentragwerk. Dieses reagiert unter Last aufgrund der Vorverformung sehr empfindlich. Die von den Stirnseiten eingebrachte horizontale Vernadelung durch die Natursteine soll nur bis zur Unterkante des zukünftigen Stahlbetonüberbaus ausgeführt werden. [15, 17]

Ort	Maßnahme
Gewölbeflächen	Keine Vernadelungen.
Gewölberänder	Im Bogen 4 in Verbindung mit Steinerfüllung zur Vermeidung eines Steinaustauschs.
Stirnflächen	Horizontale Vernadelung in Bereichen mit besonders starken Beulungen und/oder dahinter mit Radar georteten Fehlstellen
Brüstungen	Vertikale Vernadelung in Bereichen besonders starker Schrägstellung der Brüstung und/oder starker Beulung der Stirnwand und/oder dahinter mit Radar georteten Fehlstellen

### Beton- und Stahlbetoninstandsetzung [17]

Die Beton- und Stahlbetoninstandsetzungsarbeiten betreffen nur die Untersicht des Bogens 3. Es muss vor Beginn der Arbeiten kontrolliert werden, ob die alten Mörtelergänzungen und Antragungen hohl liegen. Bei den Hohlstellen sind die alten Mörtel abzunehmen und neue Ergänzungen fachgerecht und verwit-

terungsbeständig anzuarbeiten. Die Fehlstellen sind mit einem geeigneten Mörtel zu verschließen. Die oberflächennahe und sichtbare korrodierte Bewehrung muss und darf ersatzlos entfernt und die Löcher müssen fachgerecht verschlossen werden. [15, 17]



## 9.2 Tragwerkskompetenz des Bogentragwerks

### Tragverhalten des sich im Laufe der Zeit eingestellten Bogentragwerks

Der Mörtelverlust hat zu einer Erweichung und Entfestigung der Mauerwerksschale geführt, die an manchen Stellen nur noch durch den Verfüllbeton zusammengehalten wird. Der Lastabtrag hat sich dadurch aus den entfestigten Bereichen in die noch intakten Bereiche und vor allem in die wesentlich steiferen Bereiche der Gewölberänder und des Verfüllbetons umgelagert. Die ursprünglich als Fuge gedachten Ziegelschotte bilden daher inzwischen das Scheitelgelenk eines Dreigelenkbogens aus dem unbewehrtem Ver-

füllbeton oberhalb der Gewölbeschale aus. In dieser Geometrie ist es möglich, eine stabile Stützlinie [7] für die Brückenklasse 60 DIN 1072 (Schwerlastwagen mit 60t Gesamtgewicht) zu konstruieren (Abb. 22). Damit liegt ein geeignetes Erklärungsmodell für den derzeitigen Lastabtrag vor, wobei jedoch zu bedenken ist, dass die Ziegelschotte (Abb. 8) für eine Beanspruchung senkrecht zur Wandfläche nicht gedacht waren und mittel- und langfristig auch nicht geeignet sind. [16, 17]

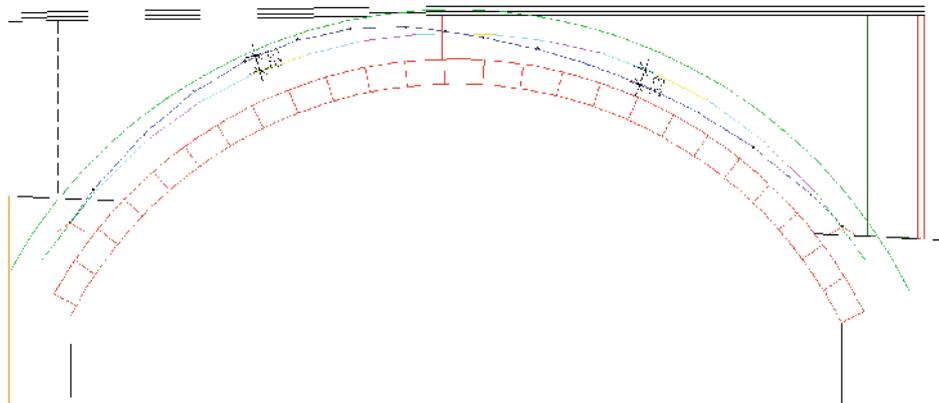


Abb. 22: Stabile Stützlinie (blau) unter einem Schwerlastwagen mit 60t

### Tragfähigkeit einer instandgesetzten Bogenschale aus Mauerwerk

Die Klassifizierung des Mauerwerks erfolgt auf Grundlage der DIN 1053-100: 2007-09, Anhang B für ein instandgesetztes Mauerwerk. Die Güte des Mauerwerks nimmt vom Rand zur Mittellinie und vom Kämpfer zum Scheitel ab. Daher wird für die Klassifizierung der Mauerwerksgüte und für die Ermittlung des Bemessungswerts der Druckfestigkeit – unter An-

wendung der im Labor von Wandler ermittelten Steinfestigkeiten (Tab. 1–3) – ein Mittelwert über Wichtung der entsprechend vorkommenden Güteklassen berechnet (Abb. 23). Mit dieser Methode konnte eine zulässige Mauerwerksspannung ( $\sigma_0$ ) von 2,2MN/m<sup>2</sup> bzw. Bemessungswert der Druckfestigkeit ( $f_d$ ) von 3,3MN/m<sup>2</sup> ermittelt werden.

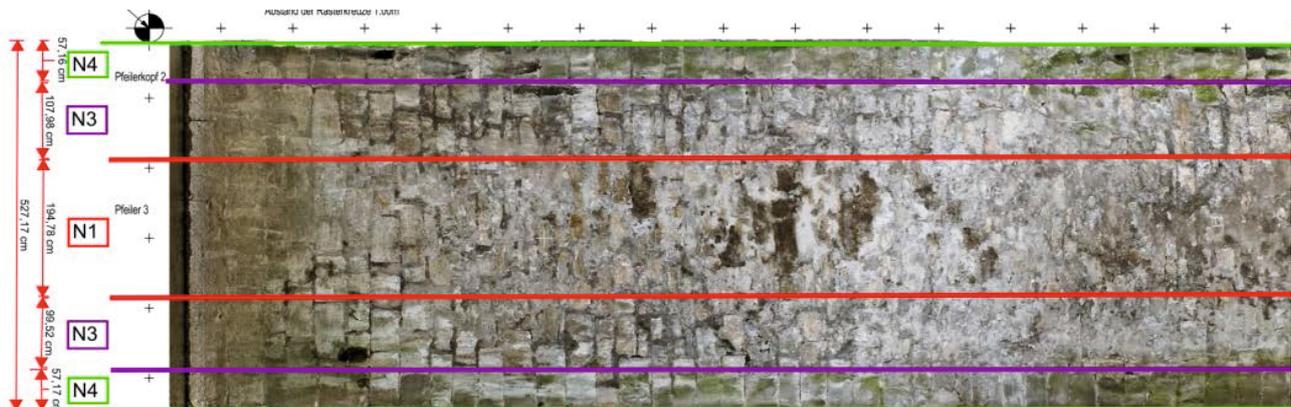


Abb. 23: Einteilung des Flächen- und Randmauerwerks der Untersicht des Bogen 4 nach Güteklassen

### 9.3 Tragwerkskompetenz der Flügelwände

Die horizontalen Verschiebungen der oberstromigen Flügelwand zur Talseite betragen gegenüber dem Brüstungsrand am Maximum der Beule bis zu 150 mm, und der Wandfuß springt gegenüber diesem Maximum wieder um bis zu 300 mm zurück (Abb. 11). Die Verformungen der unterstromigen Flügelwand sind in einer ähnlichen Größenordnung. Die Dicke beider Wände beträgt aufgrund der Radaruntersuchung in der Fläche 30 bis 60 cm. Eine Zunahme der Wandstärke nach unten, wie es für eine funktionsfähige Schwergewichtswand erforderlich gewesen wäre, konnte nicht festgestellt werden.

Da erst während der Bauzeit geeignete theoretische Grundlagen für die Ermittlung des Erddrucks und die erforderlichen Bauwerkswiderstände erforscht wurden (Coulomb 1776), muss davon ausgegangen werden, dass die Flügelwände nur auf der Grundlage von tradierten und bewährten Erfahrungen errichtet wurden. Zu diesen Erfahrungen gehörten sicherlich sehr anschauliche Kenntnisse des Verhaltens von bindigen Böden, die in sich standfest sind, solange sie nicht aufgeweicht werden. Der Schutz des Erdreichs gegen Aufweichung wurde mit einfachsten Mitteln erreicht. Das Sichtmauerwerk bildet den Witterungsschutz und die hohlraumreiche Lage aus Bruchsteinen zwischen Wand und dem bindigen Boden verhindert – als Drainage wirkend – eine durch aufstauende Nässe verursachte Aufweichung.

Die Drainagewirkung der ursprünglich hohlraumreichen unvermörtelten Steinschicht ging jedoch gemäß dem Ergebnis der Radaruntersuchungen im

Laufe der Zeit durch das Einspülen von Feinmaterialen verloren. Bei Starkregenereignissen staut sich daher das Wasser an. Mit der Zunahme des Wassergehalts wurde und wird die Kohäsion in der bindigen Hinterfüllung abgebaut und das führte zwangsläufig zu Horizontalverschiebungen in dem Erdkörper, dem das vorhandene Mauerwerk keinerlei Widerstand entgegenzusetzen vermag.

Das Mauerwerk hat in diesem Sinne keine stützende Funktion und muss daher als nichttragendes Bauteil mit der Funktion des Witterungsschutzes für das kohäsive Erdreich bewertet werden, das die eigentliche Tragwerksfunktion übernimmt. Die vorgeschriebene Standsicherheit ist für ein Erdreich mit einem Böschungswinkel von 90° nicht nachweisbar. Ein Versagen ohne Vorankündigung kann nicht ausgeschlossen werden. [16, 17]

## 10 Bautechnisches Realisierungskonzept der Tragwerksinstandsetzung und Ertüchtigung

### 10.1 Brückentragwerk

#### Ersatz der Ziegelschotte durch Betonschotte

Mit dem Ersatz der Ziegelschotte (Abb.11, 21) durch ein Betonschott (Abb. 24, 25) kann die derzeit rechnerisch nicht nachweisbare Brückentragfähigkeit für die Brückenklasse 60/30 sichergestellt werden. Eine dauerhafte Lösung kann damit aber nicht erreicht werden, da kein geeigneter Unterbau für eine Abdichtung und Verschleißschicht gegeben ist, und das Wasser daher weiterhin ungehindert eindringen kann. [16, 17]

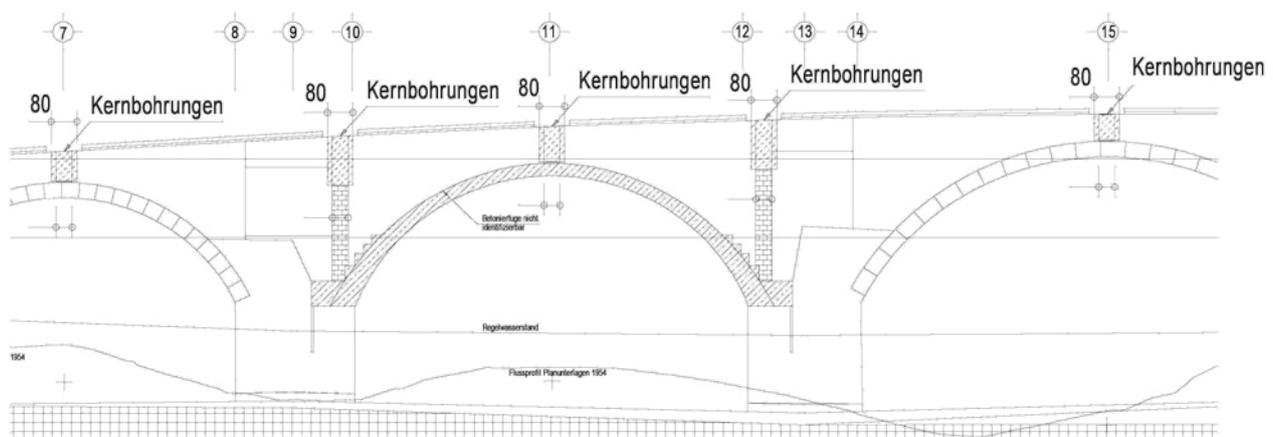


Abb. 24: Lage der Ziegelschotte und der Kernbohrungen

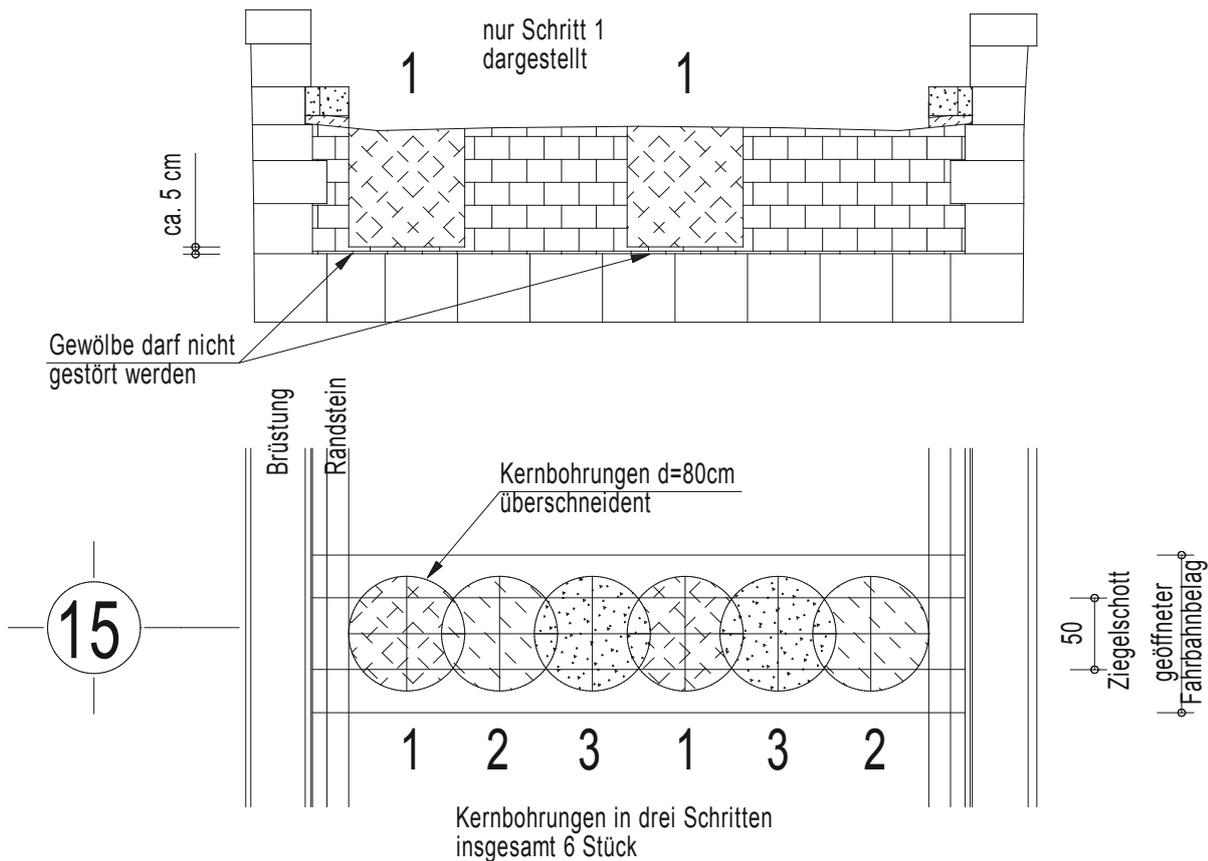


Abb. 25: Skizze der überschneidenden Bohrkerne als Ersatz für die Ziegelschotte

#### Herstellung eines Stahlbeton-Überbau

Das Bogenmauerwerk muss vor den Einwirkungen aus der Straßennutzung geschützt werden. Dazu zählen:

- Regen- und Spritzwasser,
- Streusalz,
- Frost,
- mechanische Angriffe an der Fahrbahnoberflächen und dem Anprall
- die Fahrzeuglasten.

Die wirksamste Schutzmaßnahme gegenüber diesen Beanspruchungen ist eine durchgängige, fugenlose Stahlbetonplatte (Abb. 26, 27), denn sie ermöglicht das Aufbringen und ein wiederholtes Erneuern einer Abdichtung und Verschleißschicht. Bautechnisch kritisch ist die Ausbildung einer Fuge zur Brüstung, denn hier bedarf es einer ständigen Wartung und einer Akzeptanz für einen verbleibenden Feuchtigkeitseintrag. Wird der Beton jedoch wannenartig hochgezogen,

dann kann das Problem gelöst werden, zweifelsohne jedoch zu Lasten des Denkmals, verbunden mit nicht unwesentlichen Mehrkosten.

Im vorliegenden Fall bietet es sich an, das zukünftige Straßenniveau entsprechend der bauzeitliche Planung und der Bestandsaufnahme von 1954 um 20cm abzusenken und damit auch die ursprüngliche Brüstungshöhe von ca. 80cm wieder zu erreichen. Der biegesteife Überbau mit einer Mindestdicke von 30cm liegt auf der Verfüllung auf und stabilisiert so das bestehende Bogentragwerk. Er wirkt zudem lastverteilend und sorgt für eine ausreichende Quertragfähigkeit, insbesondere in Hinblick auf die unterschiedlichen Güteklassen des gemauerten Bogentragwerks. Mit der beschriebenen Ertüchtigung kann auf der Grundlage der Voruntersuchungen mindestens die Brückenklasse 60/30 erreicht werden. [16, 17]

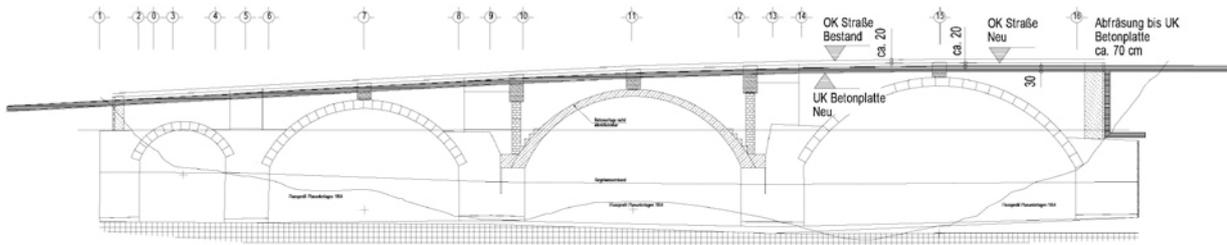


Abb. 26: Skizze der Gesamtbrücke mit einem Überbau aus Stahlbeton

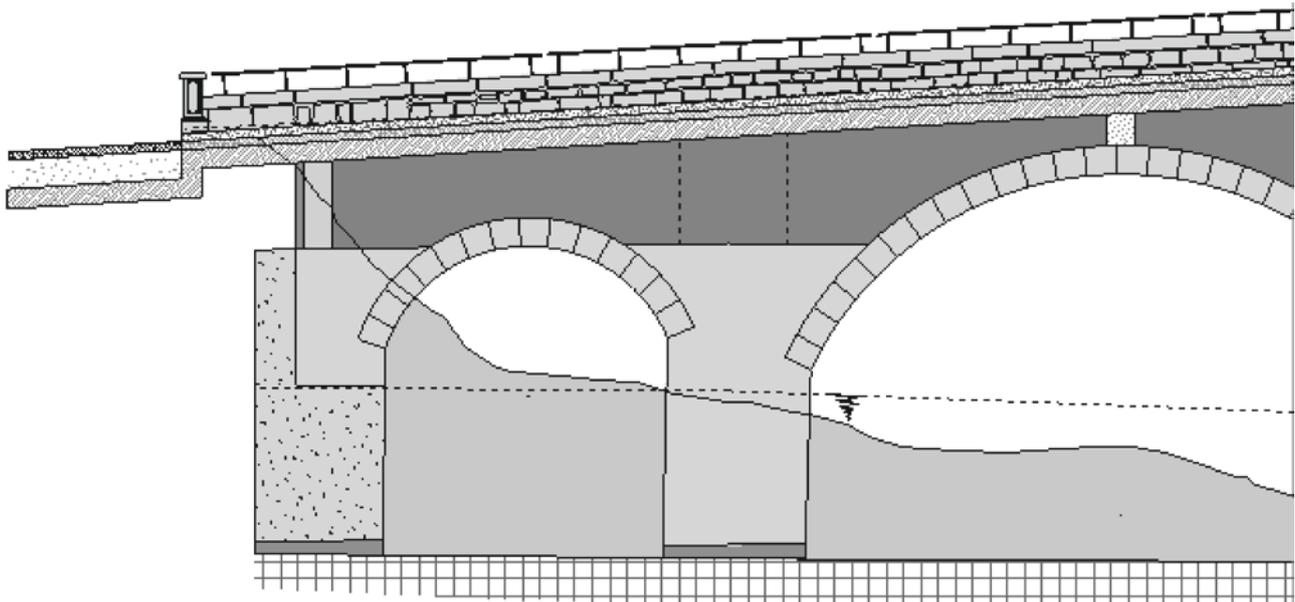


Abb. 27: Ausschnitt Stahlbetonüberbau am linken Widerlager

## 10.2 Flügelwände

Es stehen im Grundsatz vier Varianten zur Erhöhung des Sicherheitsniveaus zur Verfügung:

- Variante 1: Rückverhängung der Mauerwerkswand in das Erdreich.
- Variante 2: Großvolumige Stabilisierung des Erdreichs hinter dem Mauerwerk durch zementöse Injektionen oder Bohrpfähle mit anschließender Rückverhängung des Mauerwerks in den verfestigten Erdkörper.
- Variante 3: Herstellen eines Stützbauwerks hinter den bestehenden Flügelwänden. Hierzu wäre der Hinterfüllbereich sukzessive auszuheben, die Wandscheibe abschnittsweise z.B. durch Spritzbeton zu stabilisieren und anschließend im Arbeitsraum in Verbindung mit dem Flügelmauerwerk ein Stützbauwerk zu errichten.
- Variante 4: Rückbau der Flügelwände und Neubau eines Stützbauwerks aus Stahlbeton mit einem vorgesetzten Natursteinmauerwerk unter Verwendung der Steine des Bestandes in der jetzigen Anordnung.

Da bei Variante 1 die Arbeiten unterhalb der Mauer ausgeführt werden müssen, und dabei ein ständiges Versagen des Erdreichs möglich ist, kommt diese Möglichkeit aus Gründen der Arbeitssicherheit nicht in Betracht. Bei Variante 2 und 3 besteht jedoch auch ein erhebliches Risiko, dass die Wände aufgrund der Vorverformungen und den Lasten aus dem schweren Gerät im Bauzustand kollabieren. Daher scheidet diese Möglichkeiten nach jetzigem Kenntnisstand aus. Es scheint daher im vorliegenden Fall nicht möglich zu sein, die Originalsubstanz in der jetzigen Form zu erhalten, sodass ein Rückbau der Flügelwände und der Neubau eines Stützbauwerks unter Verwendung der vorhandenen Natursteine (Abb. 28) angemessen erscheint (Variante 4). [16, 17]

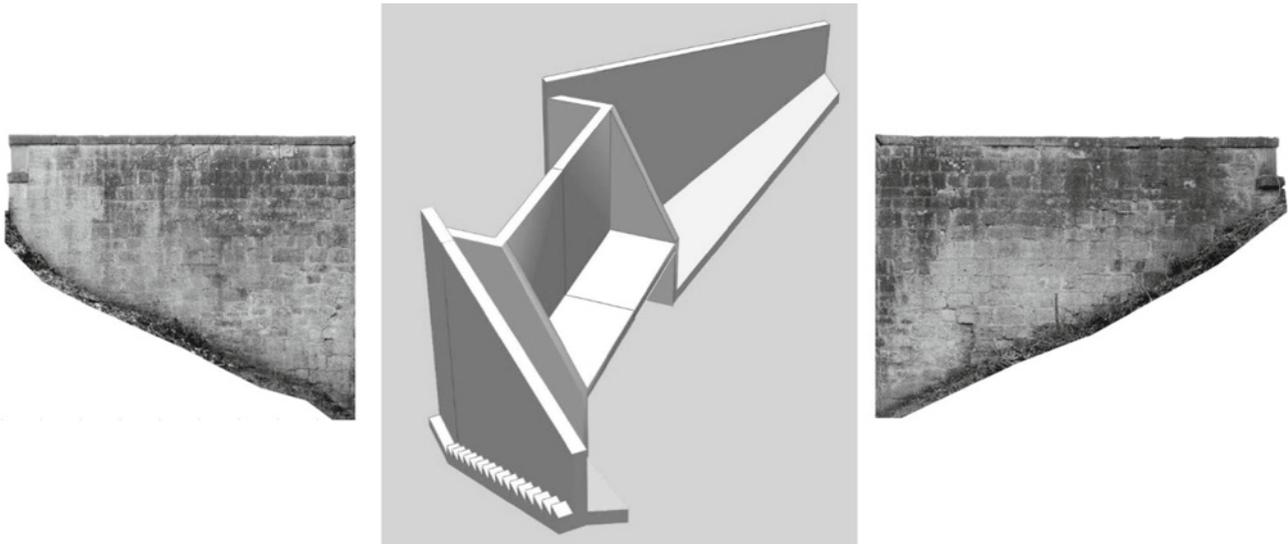


Abb. 28: Ausführungsvorschlag für eine Stützbauwerk unter Verwendung der vorhandenen Natursteine

## 11 Schlussbemerkung

Die bauhistorische und damit denkmalschützerische Relevanz der untersuchten Steinbogenbrücke ergibt sich aus der Kombination von zwei vollkommen unterschiedlichen, handwerklichen und ingenieurtechnischen Herangehensweisen in der Brückenbautechnik von 1754 und 1955, die mit Hilfe der vorliegenden Unterlagen in Verbindung mit den Untersuchungsergebnissen sehr gut nachvollzogen werden können. Daher ist das Gebilde als Ganzes als erhaltenswert einzustufen, und nicht nur die sichtbare Hülle des historischen Natursteinmauerwerks. Dieses denkmalpflegerische Ziel könnte auch fast ohne Kompromisse für eine reine Fußgängerbrücke umgesetzt werden. Der Umfang der erforderlichen Eingriffe in das Brückenbauwerk ergibt sich im Wesentlichen aber aus der heutigen Nutzung als Straßenbrücke, für die das gemauerte Bogentragwerk alleine nicht geeignet ist. So kommt es zwangsläufig zur Zielkollision zwischen dem Funktionserhalt und dem Denkmalerhalt.

Neben den unumgänglichen Maßnahmen, wie der gesetzlich erforderlichen Absturzsicherung und einer Mindesttragfähigkeit für den Automobilverkehr, können jedoch auch bei einem Brückenbauwerk viele Anforderungen einem Abwägungsprozess unterzogen werden. Es ist nachvollziehbar, dass jede Zeit für sich den Anspruch hat, die beste und dauerhafteste Lösung nach dem jeweiligen Stand der Technik zu schaffen. Es ist auch nachvollziehbar, dass aufgrund der Aufgabenfülle und der begrenzten Finanzmittel im Straßenbau wartungsarme Maßnahmen mit großen Instandsetzungsintervallen bevorzugt werden. Wenn jedoch Lösungen möglich sind, die eine geringere Eingriffstiefe haben, dafür jedoch einen höheren Wartungsaufwand verlangen, sollte bei denkmalgeschützten steinernen Bogenbrücken diese Alternative immer ernsthaft in die Überlegungen miteinbezogen werden.

## Literatur

- [1] Naumann, Joachim: Bauwerksprüfung nach DIN 1076 – Bedeutung, Verantwortung, Durchführung. 14. Dresdner Brückenbausymposium 2004, www.tu-dresden.de, 2008
- [2] Empfehlungen für Baudokumentation. Landesdenkmalamt Baden-Württemberg – Arbeitsheft 7, 2003
- [3] Mörsch, Emil: Statik der Gewölbe und Rahmen – Teil A und Teil B, Konrad Wittwer Verlag, Stuttgart, 1947
- [4] Patitz, Gabriele: Altes Mauerwerk zerstörungssarm mit Radar und Ultraschall erkunden und bewerten. Bauphysik-Kalender 2012, Ernst&Sohn Berlin, 2012
- [5] Proske, Dirk; Lieberwirth, Peter; van Gelder, Pieter: Sicherheitsbeurteilung historischer Mauerwerksbrücken. Sonderdruck zum 16. Dresdner Brückenbausymposium, Dirk Proske Verlag, Dresden 2006  
Auszüge auch in: Jäger, Wolfram (Hrsg.): Mauerwerk-Kalender 2009, 34. Jg., Ernst und Sohn, Berlin, 2009, S. 537–572
- [6] Bläuer, Christine; Erni, Peter; Hemmi, Hansjörg; Rück, Phillip; Sender, Beatrice; Swaczyna, Alfons; Zutter, Monika: Die Alte Thurbrücke von Bischofszell und ihre Instandsetzung 1999–2006  
In: Denkmalpflege im Thurgau, Band 9, Hrsg. Amt für Denkmalpflege des Kantons Thurgau, Verlag Huber Frauenfeld – Stuttgart – Wien, 2007
- [7] Bewer, Andreas: Statische Analyse von gemauerten Bogentragwerken. In: Ingenieurbauwerke aus Natursteinmauerwerk, Schriftenreihe zur Denkmalpflege, Band 4, Erhalten historischer Bauwerke e. V. (Hrsg.)
- [8] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V. (Hrsg.): Hydrophobierende Imprägnierstoffe von mineralischen Baustoffen. Merkblatt 3–17, Ausgabe: 06.2010/D, Fraunhofer IRB Verlag

## Unveröffentlichte Gutachten zur Steinbogenbrücke 2012

- [9] Bewer, Andreas: Objekt- und Aufgabenbeschreibung
- [10] Brusckke, Andreas: Verformungsgetreue geometrische Bestandsaufnahme (Photogrammetrie)
- [11] Henke + Partner: Geotechnisches Gutachten
- [12] Patitz, Gabriele: Zerstörungsfreie Untersuchungen mit Radar
- [13] Wendler, Eberhard: Materialerkundung der Natursteine mit Hinweisen zur Instandsetzung
- [14] Stürmer, Sylvia: Materialerkundung des Mörtels, der Betone und der Salze mit Hinweisen zur Instandsetzung
- [15] Schuster, Ralf; Patitz, Gabriele: Maßnahmenorientierte Schadenserkundung
- [16] Bewer, Andreas: Rekonstruktion des Bestandes mit Ermittlung der Tragwerkskompetenz
- [17] Bewer, Andreas: Bautechnisches Realisierungskonzept der Instandsetzung und Ertüchtigung

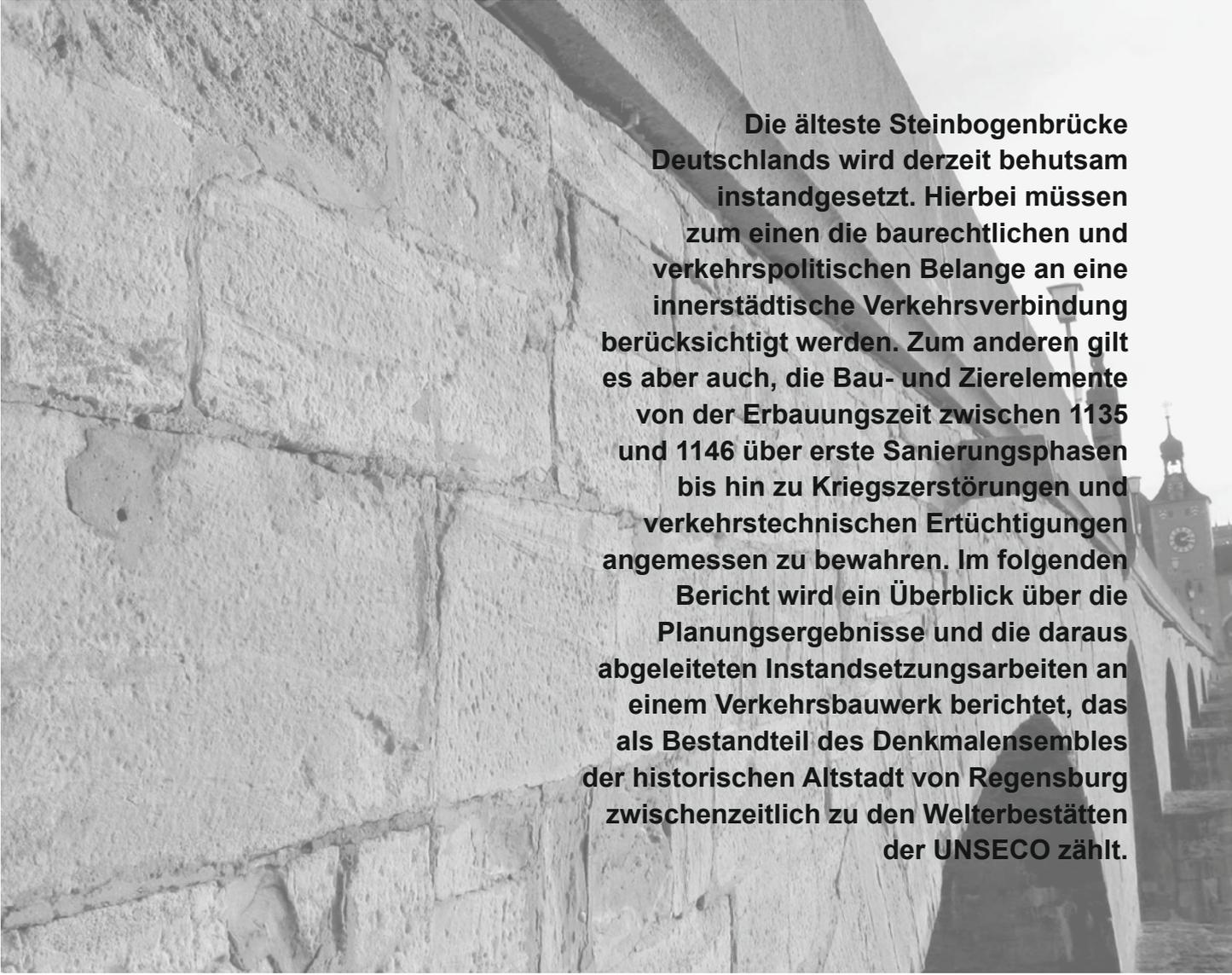
## Abbildungen

Abb. 7, 9, 11: IGP, Ingenieurbüro Dr.-Ing. Gabriele Patitz, Karlsruhe und GGU Gesellschaft für Geophysikalische Untersuchungen mbH, Karlsruhe

Alle anderen Abbildungen sind von den Autoren.

# Museumsstück oder Verkehrsbauwerk? Aspekte zur Instandsetzung der Steinernen Brücke in Regensburg

von Ralph Egermann



Die älteste Steinbogenbrücke Deutschlands wird derzeit behutsam instandgesetzt. Hierbei müssen zum einen die baurechtlichen und verkehrspolitischen Belange an eine innerstädtische Verkehrsverbindung berücksichtigt werden. Zum anderen gilt es aber auch, die Bau- und Zierelemente von der Erbauungszeit zwischen 1135 und 1146 über erste Sanierungsphasen bis hin zu Kriegszerstörungen und verkehrstechnischen Ertüchtigungen angemessen zu bewahren. Im folgenden Bericht wird ein Überblick über die Planungsergebnisse und die daraus abgeleiteten Instandsetzungsarbeiten an einem Verkehrsbauwerk berichtet, das als Bestandteil des Denkmalensembles der historischen Altstadt von Regensburg zwischenzeitlich zu den Welterbestätten der UNSECO zählt.

## 1 Die Bedeutung der Brücke

Die Brücke hat unterschiedliche Bedeutungen, die bei der Planung angemessen zu berücksichtigen waren:

### *Bauhistorische und bautechnische Bedeutung:*

Bei der Brücke handelt es sich um ein Kulturdenkmal besonderen Ranges, das über die vielen Jahrhunderte hinweg die jeweils aktuelle Bautechnik widerspiegelt.

### *Touristische Bedeutung:*

Fast auf jedem Reiseführer, fast auf jedem Kalenderbild von Regensburg ist die Steinernen Brücke abgebildet. Neben der Schönheit des Bauwerks in der Flusslandschaft spielt auch die städtebauliche Situation eine große Rolle, denn von der Steinernen Brücke aus ist die Altstadt mit dem Dom als Ensemble besonders gut wahrnehmbar.

### *Verkehrstechnische Bedeutung:*

Die Brücke war für Jahrhunderte der einzige Donauübergang zwischen Ulm und Wien. Auch nach der Sperrung für den Individualverkehr 1997 und für den öffentlichen Nahverkehr 2008 ist sie nach wie vor Bindeglied zwischen dem Stadtteil Stadtamhof und der Altstadt. Sie behält damit auch zukünftig ihre verkehrstechnische Bedeutung als Brücke, wenn auch nur noch für den Rad- und Fußverkehr und für Rettungs- und Revisionsfahrzeuge.

## 2 Konstruktionsgefüge

Die zwischen 1135–1146 erbaute Natursteingewölbebrücke spannte ursprünglich auf eine Länge von 336m mit 16 Bögen auf 15 Pfeilern über das Donautal. Die heutige Brückenlänge beträgt 315m, nachdem im 16. Jahrhundert der erste Bogen auf der Altstadtseite im Süden mit dem Salzstadel überbaut wurde und der letzte Bogen auf der Stadtamhofer Seite nur noch zur Hälfte wahrnehmbar ist (Abb. 1). Die Spannweiten der 5,80m bis 7,60m breiten Gewölbe variieren zwischen 10,20m und 16,20m. Die Schildbögen und die darauf aufgesetzten Schildwände be-

stehen überwiegend aus behauenen Regensburger Grünsandsteinquadern, ganz vereinzelt auch aus Kalksteinquadern aus der Römerzeit. Die Quader verkleiden an 11 Gewölben das Gussmauerwerk, ein tragfähiges Gemisch aus Kalkmörtel, Grünsandstein- und Kalkbrocken. Die restlichen vier Gewölbe (I, II, IX, X) waren in den letzten Kriegstagen des 2. Weltkriegs von der Deutschen Wehrmacht gesprengt worden; sie wurden 1967 wiedererrichtet. Hierbei dienten die Grünsandsteinquader als verlorene Schalungen, denn die Bögen wurden in Stahlbetonbauweise hergestellt. Die derzeit noch mit Granitgroßsteinpflaster belegte Fahrbahn ist nach Osten gekrümmt, steigt zur Mitte an und überwindet dabei eine Höhe von maximal 5,50m. Betonfertigteile mit aufgesetzten Lampen bilden seit 1960 den Brückenrand aus. Die ebenfalls aus Gussmauerwerk bestehenden Pfeiler sind auf Eichenrosten aufgesetzt, die flach auf dem standfesten Flusskies gegründet sind. Um Unterkolkungen entgegenzuwirken, baute man aus hölzernen Eichenpfählen und Steinschüttungen inselförmige Vorbauten, die sogenannten Beschlächte. Ihre Größe und Konstruktion wurde im Laufe der Zeit mehrmals geändert, zuletzt 1951 im Rahmen einer grundlegenden Sanierung. 1958 mussten zur Erfüllung eines amerikanischen Dekrets in vier Pfeiler (3, 4, 5, 6) Sprengkammern eingestemmt werden. Sie haben daher heute eine besondere militärgeschichtliche Bedeutung.

## 3 Gründe für die laufenden Instandsetzungsarbeiten

Konstruktive Mängel wie eine fehlende Abdichtung unter dem Belag und die Fugenausbildung der im Grundriss rautenförmig angeordneten Tonnengewölbe haben durch die Witterungseinflüsse und zunehmende Verkehrsbelastung zu Schäden geführt, die die Verkehrs- und Standsicherheit erheblich reduziert haben. Bei früheren Instandsetzungen hat man zwar schon versucht, dem Schadensfortschritt Einhalt zu gebieten, jedoch wurde dieser durch die Verwendung von aus heutiger Sicht ungeeigneten Baustoffe eher beschleunigt.



Abb. 1: Ansicht der Steinernen Brücke von Osten aus (links: Altstadt, rechts: Stadtamhof)

Die Betonfertigteilbrüstungen von 1950 sind zwischenzeitlich gerissen und verschoben. In den ebenfalls gerissenen und verschobenen Granitgroßsteinpflasterbelag dringt z.T. salzbelastetes Regenwasser ein, Aussinterungen und Eisbildungen auf der Brückenunterseite sind die Folge. Die damit einhergehenden physikalischen Vorgänge zerstören nicht nur die Steinoberflächen sondern auch das Konstruktionsgefüge. Das Abreißen der Schildbögen vom Gewölbemauerwerk, über das schon in den sechziger Jahren berichtet wird, ist eine für Bogenbrücken typische Schadensform. Sie resultiert aus den unterschiedlichen Steifigkeitsverhältnissen innerhalb des Brückenquerschnitts verbunden mit der Verkehrsbelastung und wird durch die gebundene Bauweise des Belags noch verstärkt. Er dehnt sich bei Erwärmung quer aus und drückt damit die Kronen der Schildmauern auseinander. Über die Schadensbilder wird ausführlich in [1], [4] und [5] berichtet.

#### 4 Ziele der aktuellen Instandsetzungen

Das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege erwartet von der Instandsetzung der Steinernen Brücke folgende Eigenschaften: behutsam, nachhaltig, denkmalgerecht, unaufdringlich, selbstverständlich, ehrlich. Dies gilt sowohl für den Umgang mit den vorhandenen Bauteilen und Baustoffen als auch für die Verwendung von neuen Baustoffen und für den Einbau neuer Bauteile.

Für die Stadt Regensburg als Bauherr und Verantwortlichen für das Verkehrsbauwerk als Teil einer

Landesstraße besteht die Notwendigkeit, dass bei der Instandsetzung auch die aktuelle Vorschriftenlage für Verkehrsbauwerke bzw. Brücken Berücksichtigung findet, und dass die Ausführungen den Bedingungen der Wirtschaftlichkeit, der Funktionsfähigkeit und der Dauerhaftigkeit folgen.

Den Schadensursachen muss in der Planung mit zwei verschiedenen Methoden begegnet werden. Zum einen über die Definition der zukünftigen Nutzung: hier hat der Planer zu *agieren*, d. h. aktiv darauf einzuwirken, dass die Verkehrslasten beschränkt und damit die Beanspruchungen der gemauerten Bauteile reduziert werden. Zum anderen muss er auf die Umwelteinflüsse, die an der Brücke zu den vielfältigen Schadensbildern geführt haben, *reagieren*. So sind z.B. eine funktionsfähige Abdichtung herzustellen, ein auf die statischen und bauphysikalischen Anforderungen abgestimmter Belag aufzubringen, sowie entsprechend angepasste, behutsame und nachhaltige Instandsetzungsverfahren anzuwenden.

#### 5 Voruntersuchungen

Über die seit 1993 laufenden Voruntersuchungen und ihre Ergebnisse wurde bereits ausführlich in [1] und [2] berichtet. Ein Teil der Untersuchungen wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert [3]. Der Vollständigkeit halber wird hier daher nur ein tabellarischer Überblick über die wesentlichen Voruntersuchungen gegeben (Tab. 1).

Tab. 1: Voruntersuchungen

Maßnahme	Institution	Zeitraum
Verformungsgerechtes Aufmaß	Arch.-Büro Ebeling	1993–1998
Vertikale Erkundungsbohrungen in 11 Pfeiler	LGA Nürnberg	1996–1997
Hydrographische Vermessungen (Peilungen) im Bereich der Pfeiler	Nautik GmbH	1997
Steintechnische Untersuchungen (DBU)	RITTER Natursteinberatung	1997–2000
Laboruntersuchungen des Natursteins (DBU)	Labor Dr. Ettl + Dr. Schuh	1997–2001
Zerstörungssarme Untersuchung des Natursteins und der Brückenkonstruktion (DBU)	GGU, Universität Karlsruhe, Büro für Baukonstruktionen	1999
Erschütterungs- und Schwingungsmessungen zum dynamischen und statischen Tragverhalten (DBU)	LGA Nürnberg	
Musterinstandsetzung von zwei Gewölben (DBU)	RITTER Natursteinberatung, Fa. Bauer-Bornemann, steinwerkstatt Regensburg	2002–2005
Bestimmung der hydraulischen Lasten auf Brücke und Behelfe	Dr. Blasy – Dr. Øverland	2009
Numerische Untersuchungen zum thermischen Verhalten der Brücke	TU Darmstadt	2009
Untersuchungen zum Bestandsmauerwerk	LGA Nürnberg	2008–2011

Was die Steinernen Brücke alles schon tragen musste - oder: Wie (un)erträglich sind die Busse im Vergleich?

Jahr	Fahrzeug	Besetztgew. (t)	Sitzpl./Stehpl.	Federung
um 1489	Fuhrwerk	???	1/-	???
1891	Pferdebus	ca. 3,0	ca. 8/2	Stahlblatt
1903	Trambahn	9,40	14/12	Stahlblatt
-'45	Tramzug	14,16+7,79	16/40+16/30	Stahlblatt
um 1955	Buszug Linie 10	13,80+5,60	36/45+29/11	Stahlbl.+?
heute	Bus L.4, 12,13,17	ca. 17,20	ca. 38/65	Luft
	Gelenkbus L.4,13	ca. 28,00	ca. 53/114	Luft
	Erdgas-Midibus	11,50	17/29	Luft
	Hybrid-Midibus	11,80	12/43	Luft
	Minibus-Zug	ca. 6,30+3,0+3,0	ca. 28+24+24/-	Luft

(Quellen: Zeitler, Archive Arldt (+) + Schild, J. Jacobi, MZ, Stadtverkehr, Lastauto + Omnibus, RVB, Archiv Kirchner (Darmstadt))

Abb. 2: Chronologischer Überblick über die Einwirkungen aus Fahrzeugen

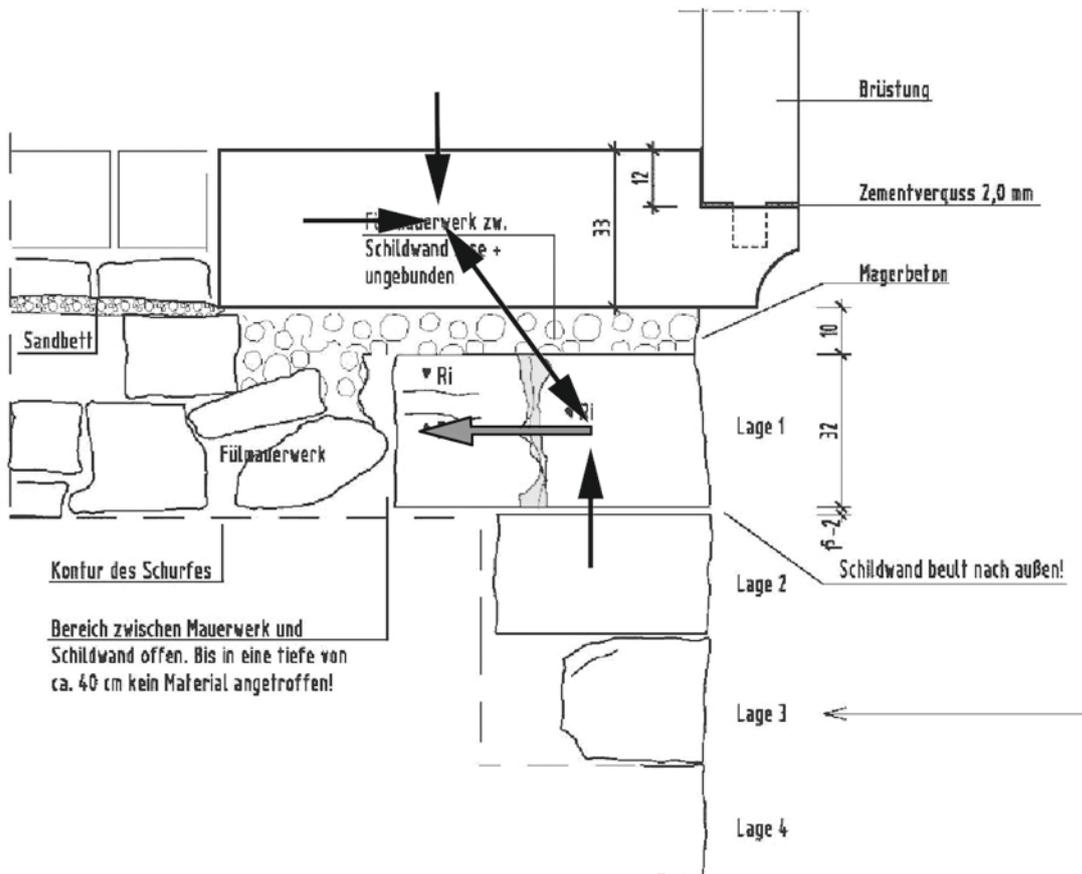


Abb. 3: Kraftweg einer Einzellast aus LKW-Reifen o. ä. vom Belag ins Stirnbogenmauerwerk

## 6 Tragwerksanalyse

### 6.1 Einwirkungen

Im Rahmen der Vorentwurfs- und Entwurfsplanung war zu klären, welche Nutzlasten für die Brücke angemessen sind, und ob die Brücke ggf. so ertüchtigt werden kann, dass sie als Straßenbrücke für eine bestimmte Verkehrslastgruppe genutzt werden kann. Aus der „Belastungsgeschichte“, die *Zeitler* anschaulich in einer Grafik zusammengestellt hat (Abb. 2), wird allerdings deutlich, dass die Beanspruchungen durch den Gelenkbus mit 28t Gesamtgewicht bis zum Jahr 2008 höher lagen als beispielsweise die durch die Straßenbahn (knapp 22t), die zwischen 1903 und 1945 auf der Brücke verkehrte. Die Grafik zeigt, dass die Einwirkungen aus dem Schwerverkehr erst seit kurzer Zeit, nämlich etwa seit 13% der bisherigen Standzeit vorhanden sind. Die daraus resultierenden Schäden sind aber erheblich.

#### 6.1.1 Verkehr

Mit Hilfe der statischen Nachrechnungen, in die die im 3D-Laserscanverfahren ermittelte Brückengeometrie sowie die in Versuchen gefundenen Werkstoffkennwerte für die verschiedenen, an der Brücke zur Verwendung gekommenen Baustoffe eingeflossen sind, konnten einige Schadenshypothesen bestätigt werden. Ein Hauptproblem der Brücke ist ihre für eine mehrfeldrige Bogenbrücke ungewöhnliche Geometrie: Einige Gewölbe bilden im Grundriss kein Rechteck sondern eine Raute; Die Gewölbe sind damit zu den Pfeilern verdreht. Die Fugen des Bogenmauerwerks sind allerdings so angeordnet, dass sie parallel zu den Pfeilern verlaufen. Die Randsteine mussten daher schräg zugeschnitten werden. Die Hauptdruckspannungen verlaufen diagonal, die höchsten Druckspannungen entstehen somit entlang der kurzen Diagonalen an den Schnittpunkten zwischen den Schildbögen und Pfeilern. Sie erreichen bei hohen exzentrischen Buslasten die Bruchfestigkeit des Mauerwerks und führen damit zu örtlichen Zerstörungen [4].

Ein weiteres Schadensbild ist das Ablösen der Stirnbögen vom Gewölbemauerwerk, was durch die Stirnringrisse offenkundig wird. Da eine Einzellast, wie sie z. B. über einen Reifen auf die Fahrbahn aufgebracht wird, immer in der Richtung abgeleitet wird, in der die größten Steifigkeiten vorzufinden sind, wird diese nach außen zu dem steifen Schildbogenmauerwerk hin umgelenkt. Dieser Kraftumlenkung müssen entsprechende Horizontalkräfte entgegenwirken, nämlich eine Druckkraft im Belag und eine Zugkraft im Stirnbogenmauerwerk (Abb. 3). Im Belag kommt es dadurch zu Stauchungen und damit zu Verwer-

fungen, im Stirnbogenmauerwerk zum Abreißen vom Stirnbogen.

Aus den rechnerischen Untersuchungen war abzuleiten, dass die Brücke in ihrem derzeitigen Zustand nicht geeignet ist, über längere Zeit den Schwerlastverkehr aufzunehmen. Sollte der Schwerlastverkehr auch zukünftig über die Brücke fahren, wären Ertüchtigungen und ergänzende Bauteile in Form von Stahlbetonplatten unumgänglich.

Wird die Brücke von Fahrzeugen befahren, müssen auch die Brüstungen die vom Normengeber geforderten Sicherheiten gegen Anprall aufweisen. Der Nachweis für die derzeit vorhandenen Betonfertigteilebrüstungen zeigte, dass sie nicht in der Lage sind, einem Anprall eines Busses bzw. Pkws so zu widerstehen, dass das Unfallfahrzeug noch auf der Brücke gehalten werden kann. Dieses Ergebnis veranlasste die Stadtverwaltung im Jahre 2008, die Nutzung der Brücke auf Radfahr- und Gehverkehr zu beschränken. Gleichzeitig wurde konstatiert, auch zukünftig keine Nutzung mehr für den Schwerlast- und Pkw-Verkehr zu ermöglichen, da

- eine fachgerechte und statisch ausreichende Brüstungsausbildung gegen Anpralllasten das äußere Erscheinungsbild der Brücke erheblich verändert hätte,
- der Verlust an historische Bausubstanz durch die Eingriffe zum Einbau von Zusatzkonstruktionen zur Abtragung von Vertikallasten und Horizontallasten (aus Bremsen) für einen Schwerlastverkehr unangemessen groß geworden wären.

Lediglich für Rettungs- und Revisionszwecke soll zukünftig eine Sondergenehmigung gegeben werden.

#### 6.1.2 Temperatur

Neben den Belastungen aus Verkehr erfährt die Brücke auch erhebliche Beanspruchungen aus Temperatur. Mit Hilfe von rechnerischen Untersuchungen der TU Darmstadt konnte der Temperaturgang in den Brüstungen, in den Schildwänden und im Belag über einen Jahreszyklus hinweg verfolgt werden. Darauf aufbauend konnte nachgewiesen werden, in welchem Maß sich die Gewölbe der Brücke im Sommer heben und im Winter senken. Die Nachrechnungen bestätigten die zyklische Verformungsmessungen des Büros Harbauer aus den Jahren 1992/93 (Abb. 4), aus denen abzulesen ist, dass sich z. B. der Scheitel des Bogens XII gegenüber der Ausgangsmessung um 1,5mm angehoben und um 3,5mm abgesenkt hat. Auch bei einer gering erscheinenden Scheitelsenkung entsteht an den Pfeilerköpfen in Richtung der Brückenlängsachse Zug, der nach unten hin abklingt. Rissbildungen sind bei einer derartigen „fugenlosen“

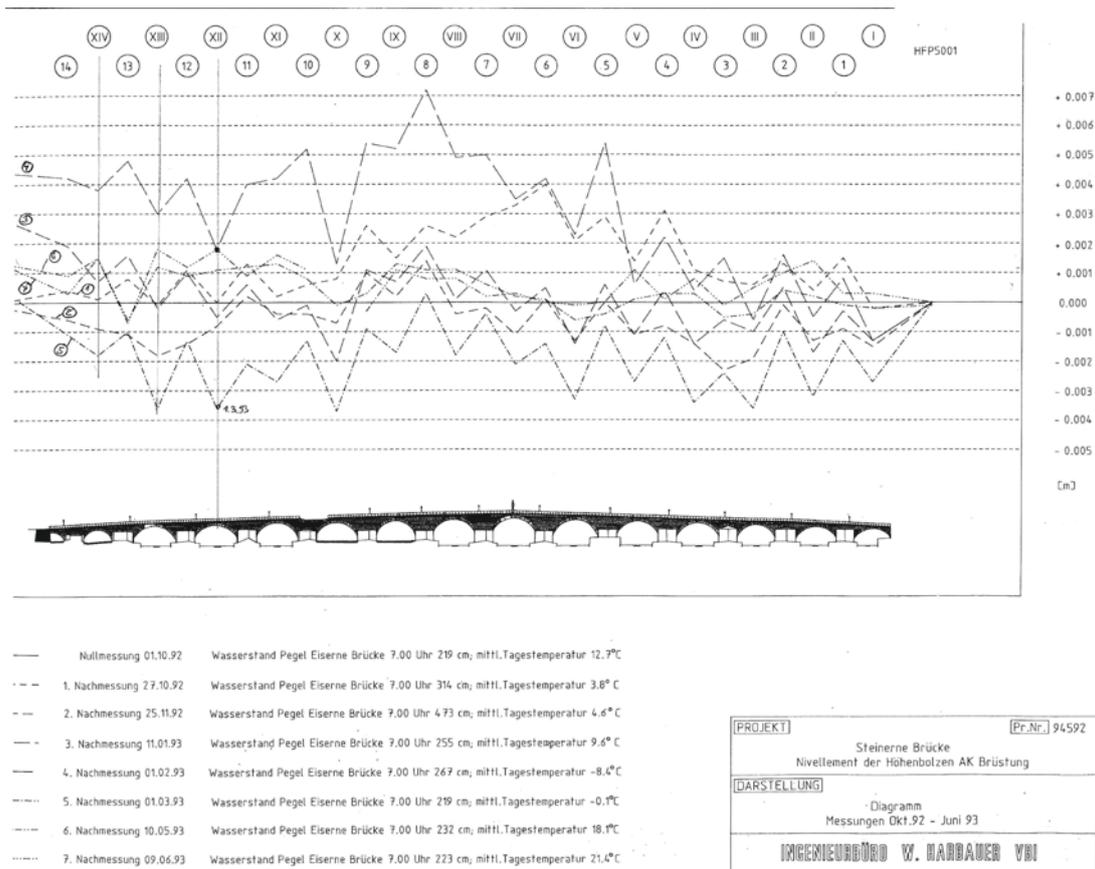


Abb. 4: Verformungsmessungen der Büros Harbauer

Bauweise die unvermeidbare Folge. Aufgrund der z. T. geringen Überbindemaße der Schildmauern bilden sich die Risse nicht zwingend an den Stellen der größten Zugspannungen, sondern an den benachbarten Schwachstellen (Abb. 5).

Für die Planung wurde abgeleitet, dass ein neuer Belag den temperaturinduzierten Bewegungen zwangungsfrei folgen muss. Im Sommer werden die Fugen im Belag größer, es treten Dehnungen auf (Abb. 6). Im Winter verkleinern sich die Fugen (Abb. 7), es kommt dabei zu Stauchungen. Somit wird nur eine ungebundene Bauweise für den Belag eine nachhaltige Lösung versprechen, da diese die Verformungen zwangungsfrei mitmacht.

### 6.1.3 Horizontallasten

Hinsichtlich der Einwirkungen aus Wind und den Sonderlastfällen Hochwasser und Eisstoß haben sich keine signifikanten Veränderungen bzgl. der Lastansätze ergeben. Aufgrund der globalen Erwärmung der Gewässer gehören Eisstöße, wie sie früher zu Schädigungen bis hin zur Zerstörung und in der Folge zum Rückbau eines der Brückentürme geführt haben, der Vergangenheit an. Die Beanspruchungen aus den Hochwasserereignissen sind aufgrund der schnelle-

ren Beseitigung von Verklausungen zwar nicht in den Spannungsspitzen, jedoch in der Häufigkeit reduziert worden. Und schließlich haben die Nachrechnungen der zusätzlichen Windlasteintragungen durch die bauablaufbedingten Einhausungen gezeigt, dass die Brücke aufgrund ihrer hohen Masse selbst extrem hohen Windlasten einen ausreichenden Widerstand sicher entgegensetzen kann.



Abb. 5: Längsriss im Bereich der Pfeilermitte infolge Bogensenkungen

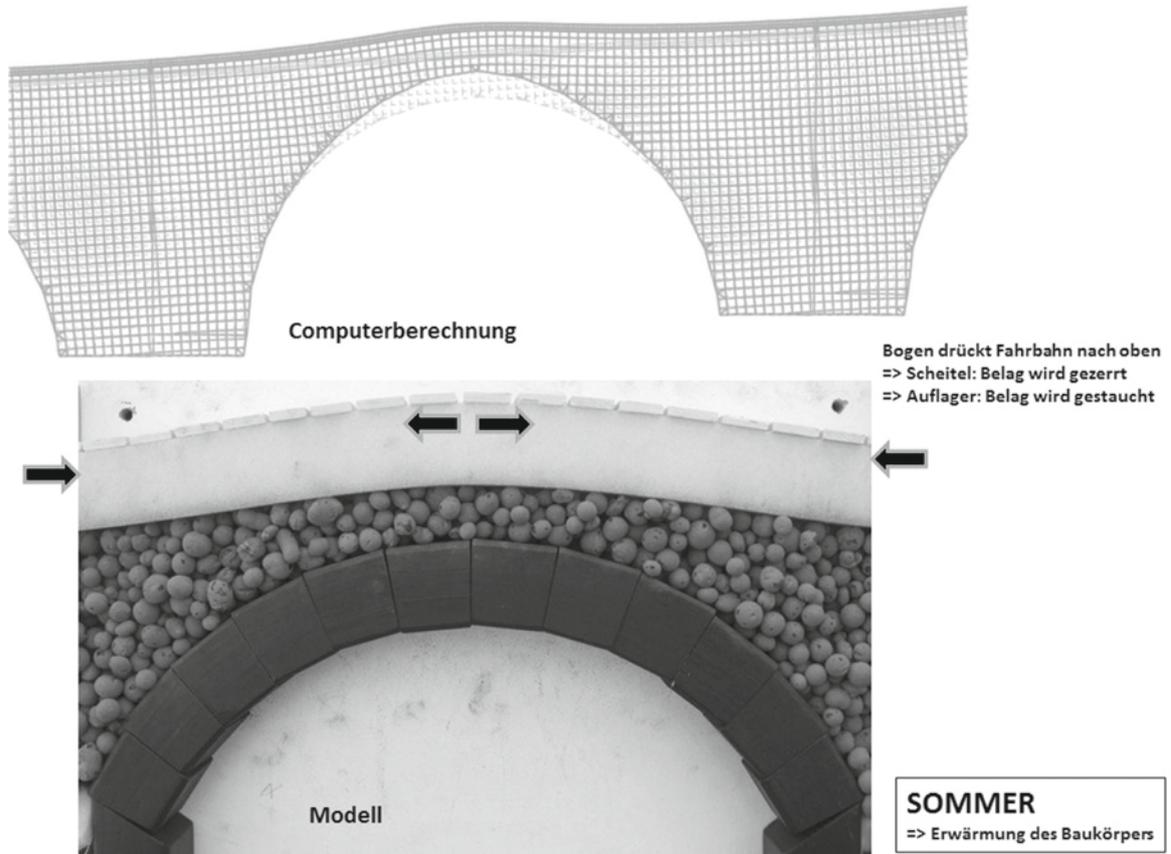


Abb. 6: Hebung der Brücke im Sommer

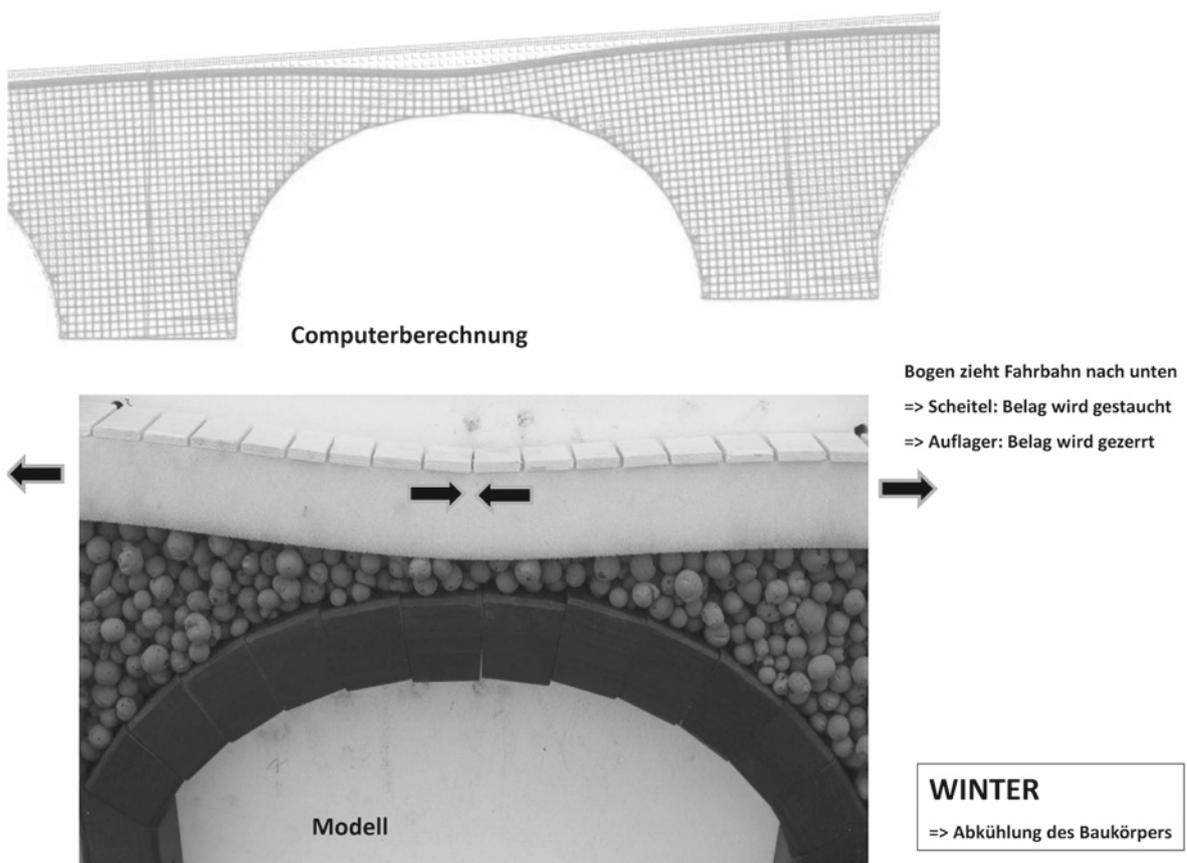


Abb. 7: Senkung der Brücke im Winter

## 6.2 Bauzustände

Da aufgrund lokaler Schädigungen mit dem Austausch von Steinen in den Stirnbögen und Gewölben gerechnet werden musste, war im Vorfeld der Maßnahmen über Nachrechnungen zu klären, an welcher Stelle wie tief und wie flächig maximal in das Traggefüge eingegriffen werden darf, ohne zusätzliche Maßnahmen über Baubehelfe o. ä. zu ergreifen. Hierbei zeigte sich, dass bei einem großen Bogen (Spannweite ca. 16m: XII, XII) eine Querschnittsreduktion von 25% zur gleichen Scheitelsenkung führt wie bei

einer Abkühlung um 2° C. Trotz dieser „Gutmütigkeit“ mussten, da die Tiefe der Schädigungen im Bogen- und Gewölbemauerwerk aus den Voruntersuchungen nicht ableitbar war, für die Baumaßnahmen spezielle konstruierte Baubehelfe bereitstehen, auf die kurzfristig Ablastungen vorgenommen werden konnten.

Der Rückbau der Brückenränder mit den Brüstungen und das Abnehmen des Fahrbahnbelags führen zu Entlastungen des Bogen- und Gewölbemauerwerks. Daher wurden die Bauabläufe so aufeinander abgestimmt, dass die Mauerwerksreparaturen, die in das

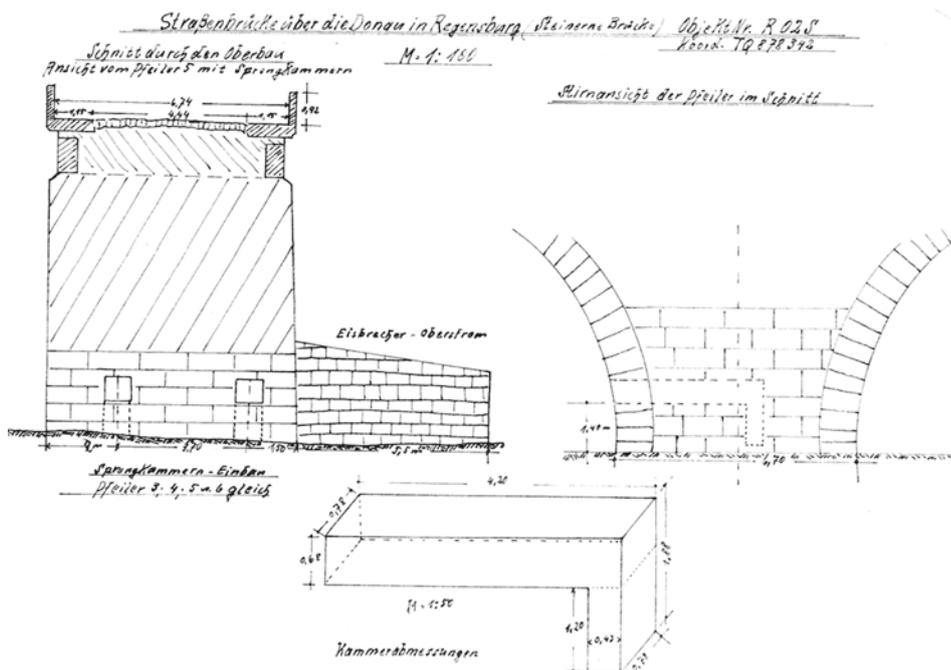


Abb. 8: Sprengkammern: Prinzipskizze mit Lage und Größe



Abb. 9: Sprengkammern: Herstellung 1953 in Nordseite von Pfeiler 4

Traggefüge hereinreichen, im entlasteten Zustand ausgeführt werden. Das höhere Gewicht der neuen Brückenränder und der Fahrbahn führen nach deren Montage zu einem Anstieg der Normalspannungen in den gekrümmten Bauteilen und damit zu einer Art Vorspannung. Steinquader, die nachträglich in das Traggefüge eingebaut wurden, werden dadurch für die Lastabtragung aktiviert.

### 6.3 Sprengkammern

Im Rahmen einer räumlichen Berechnung konnte abgeschätzt werden, dass der nachträgliche Einbau der Sprengkammern (Abb. 8, 9) in vier Pfeilern zu Spannungserhöhungen im Mauerwerk geführt haben, die in einer Größenordnung von dem Drei- bis Vierfachen der vergleichsweise ungestörten Bereiche liegen. Diese extremen Spannungserhöhungen reduzieren die Dauerhaftigkeit von Mauerwerk in unzulässigem Maße. Durch das Abstemmen des steifen Quadermauerwerks ist es zwangsläufig zu Lastumlagerungen auf das dahinter liegende weichere Füllmauerwerk gekommen. Da die Sprengkammern schon bei niedrigen Hochwässern regelmäßig geflutet werden, wird das Füllmauerwerk immer weiter ausgewaschen: Der tragende Querschnitt verringert sich, die Spannungen steigen immer mehr an, was auch über größere Verformungen und Rissbildungen erkennbar wird. Ein Schließen der Sprengkammern ist daher trotz ihrer hohen militärhistorischen Bedeutung zwingend notwendig.

## 7 Anforderungen an die Planung und Bauausführung

Die Anforderungen an die Planung, an die Bauausführung aber auch an diejenigen, die mit den beiden Dingen befasst sind, sind bei der Steinernen Brücke sehr hoch. Je nach Thema sind wie bereits erwähnt die Anforderungen zum Teil nicht nur unterschiedlich sondern auch gegensätzlich, so dass das Ausgeführte und noch Auszuführende Kompromisslösungen darstellen. In diesen ist aber das jeweils erreichbare Optimum vor dem Hintergrund der zahlreichen gewürdigten Randbedingungen enthalten: Ein in Nutzung befindliches Verkehrsbauwerk muss seine Funktion erfüllen, auch während den Instandsetzungsarbeiten, seinen hohen Denkmalcharakter behalten, auch nach zahlreichen sanierenden Eingriffen und nach der Erneuerung des gesamten Oberbaus; Seine Instandsetzung muss aber auch wirtschaftlich und volkswirtschaftlich vertretbar sein. Dass in der Öffentlichkeit manche Themen polarisiert und damit unzureichend dargestellt werden, liegt in der Komplexität prominenter Projekte. Dem kann nur über eine regelmäßige und offene Berichterstattung in den verschiedenen Entscheidungsgremien und in der Öffentlichkeit begegnet werden.

Eine Durchführung der Instandsetzung in vier Bauabschnitten war bereits in einer frühen Planungsphase vorgesehen, jedoch mussten aus verschiedenen Gründen die Abschnittsgrenzen mehrfach verändert und z.T. überlappt werden (Abb. 10). Aus vier

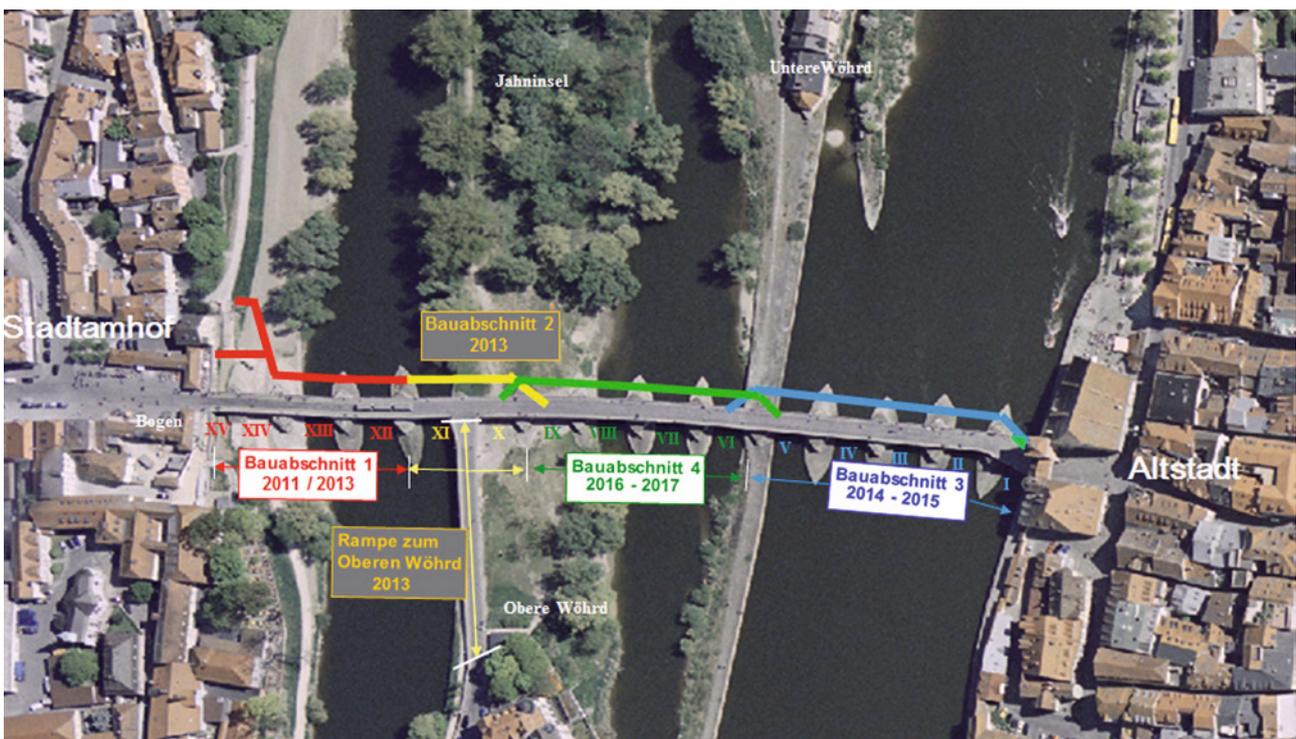


Abb. 10: Bauabschnitte (Stand Oktober 2013)

len Gründen ist es nicht möglich, die Bauabschnitte einfach von Nord nach Süd oder von Süd nach Nord aneinander angrenzend zu takten. Beispielweise muss beim Rückbau der alten Fahrbahn das historische Füllmauerwerk vor eindringendem Regenwasser geschützt werden, ohne dass dadurch aber weitere Ausführungsarbeiten behindert werden. Daher werden die Bauabschnittsbereiche eingehaust, in denen noch das alte Füllmauerwerk vorhanden ist. Bei den Bereichen mit den Betonbögen kann dagegen auf die Einhausung verzichtet werden. Damit die Verkehrsverbindung für Fußgänger und Radfahrer während der etwa siebenjährigen Bauzeit aufrecht erhalten bleiben kann, leiten versetzbare Behelfsstegen den Verkehr um den jeweiligen Bauabschnitt herum (Abb. 11). Die Ausführungsabfolge der verschiedenen, z. T. witterungsabhängigen Gewerke, die bei einer Brücke zwangsläufig eingeschränkte Andienung und Lagermöglichkeiten und die Hochwassergefahr müssen bei der Planung und Ausschreibung der Bauabschnitte in hohem Maße Berücksichtigung finden.

## 8 Natursteininstandsetzungsarbeiten

Bei den Natursteininstandsetzungsarbeiten wird zwischen den oberflächennahen steinrestauratorischen Instandsetzungen und den statisch relevanten Eingriffen in das Traggefüge unterschieden. In einem ersten Planungsschritt war die Maßnahmenkartierung auf Basis der sichtbaren, kartierten Oberflächenschäden und der abgeschätzten Tiefenschäden zu erstellen. Nach Abnahme der Zementantragungen musste dann die Maßnahmenkartierung überarbeitet und angepasst werden. Dies erfolgte vor Ort in enger Abstimmung zwischen dem Steinrestaurator und dem Objekt- bzw. Tragwerksplaner.

### 8.1 Baustoffe für die Instandsetzung

Aufgrund der vielfältigen Aufgabenstellungen bei den Instandsetzungsarbeiten kommen der Auswahl der Baustoffe und ihrer Einbaumethoden eine sehr hohe Bedeutung zu. Da mit dem Ziel einer behutsamen Instandsetzung nur so wenig wie möglich aber so viel wie nötig Baustoffe ausgetauscht werden sollen, ist das Thema Qualität der Baustoffe wesentlich höher angesiedelt als die Quantität. Entscheidend dabei ist, die jeweiligen Reparaturbereiche mit den speziell dort anstehenden Anforderungen an die Baumaterialien zu behandeln. So wurde neue Bauteile wie Brüstungen, Fries- und Sockelsteine sowie der Belag mit neuen, in heimischen Steinbrüchen gewonnenen Graniten hergestellt. Für die Instandsetzungen des überwiegend aus Grünsandstein bestehenden Mauerwerks kamen



Abb. 11: Behelfsteg und Einhausung im 1. Bauabschnitt

dagegen artgleiche Steine von abgebrochenen Bauwerken zum Einsatz. Auch bei der zweiten im Mauerwerksbau wichtigen Komponente, dem Mörtel, war je nach Anforderung die Zusammensetzung, die Einbauart und je nach Sichtbarkeit auch das optische Erscheinungsbild entsprechend festzulegen.

#### 8.1.1 Stein

Die Stadt Regensburg hat auf ihrem Bauhof bruchraue Grünsandsteinquader eingelagert, die vom Abbruch einer Eisenbahnbrücke stammen. Da das Material optisch und petrographisch zu den in der Steinernen Brücke verbauten Steinen passt, wurden im Rahmen des bereits erwähnten DBU-Projekts mit Hilfe dieses Materials Musterinstandsetzungen vorgenommen. Es zeichnete sich bereits in einer frühen Phase des Projekts ab, dass es keinen aktiven Steinbruch gibt, aus dem ein adäquater Grünsandstein gewonnen werden kann. Es hätte daher ein neuer Steinbruch eröffnet werden müssen. Hierfür wurden auch schon Voruntersuchungen durchgeführt, jedoch wären die erwarteten Abnahmemengen für das Projekt Steinernen Brücke bei weitem nicht ausreichend gewesen, um eine Steinbrucherschließung wirtschaftlich durchzuführen. Weitere Abnehmer von Grünsandstein konnten in dieser Phase nicht gefunden werden, so dass sich die Stadt Regensburg entschloss, das auf ihrem Bauhof lagernde Material zu verwenden. Der Regensburger Grünsandstein gilt als einer der inhomogensten Sandsteine in deutschen Abbaustätten. Bereichsweise Anreicherungen großer Muschelschalen und ein stark wechselnder Glaukonitgehalt liegen in den Ablagerungsbedingungen im Kreidemeer begründet. Hinzu kommen bei dem Bauhofmaterial noch eventuelle Vorschädigungen aus



Abb. 12: Rohblock aus Grünsandstein auf dem Bauhof Nord



Abb. 13: Aus den Rohblöcken geschnittene Grünsandsteinquader vor dem Einbau

der Erstverwendung. Daher wurde zunächst von der LGA Nürnberg eine Vorklassifizierung mit Hilfe des Impact-Echo-Verfahrens vorgenommen und damit die Quader in drei Druckfestigkeitskategorien eingeteilt:  $> 35 \text{ N/mm}^2$ ,  $25\text{--}35 \text{ N/mm}^2$ ,  $< 25 \text{ N/mm}^2$ . Stichprobenhaft durchgeführte Druckprüfungen an aus den Quadern entnommenen Bohrkernen bestätigten die Ergebnisse. Mit Hilfe der statischen Nachrechnungen konnten Bauteilbereiche benannt werden, in denen die Steine Mindestdruckfestigkeiten von  $25 \text{ N/mm}^2$  aufweisen mussten, und Bereiche, in denen niedrige Festigkeitseigenschaften ausreichen.

Zur möglichst ressourcenschonenden Verwendung des Steinmaterials wurde ein Steinmanagement installiert: Jeder Quader wird vermessen, eine theoretische Ausbeute ermittelt und eine haptische Klassifikation vorgenommen (Abb. 12). Die Klassifizierung konnte aufgrund der Voruntersuchungen und der Kenntnis der Varianz auf die Gruppen „nicht verwendbar“, „hohe Druckfestigkeiten“ und „niedrige Druckfestigkeiten“ beschränkt bleiben. Entsprechend dem Ergebnis des ersten Sägeschnitts bei einem Quader kann die Klassifizierung noch modifiziert werden. Nach den bisherigen Erfahrungen bestätigten sich beim Sägen die Vorklassifizierung und die geschätzte Ausbeute (Abb. 13).

Zur Reparatur der wenigen Kalksteine wurden im Gegensatz zum Grünsandstein Neumaterial verwendet, da dieses nach wie vor in Steinbrüchen abgebaut wird.

### 8.1.2 Fugmörtel

An den Mörtel für das Nachverfugen werden neben einem hydraulischen Abbindeverhalten und einer Mindestdruckfestigkeit noch weitere Eigenschaften

mit entsprechenden Grenzwerten gefordert. Hierzu zählen u. a. der dynamische E-Modul, der Wasseraufnahmekoeffizient und das Schwindmaß. Insbesondere aufgrund des hohen Versalzungsgrades muss ein Mörtel mit einer möglichst hohen Porosität und damit einer entsprechenden Kapillaraktivität zum Einsatz kommen. Die Körnung des Zuschlags wurde über die unterschiedlichen, im Bauwerk vorkommenden Fugenbreiten festgelegt, für das optische Erscheinungsbild erschien der Donauschwemmsand am geeignetsten. Durch doppeltes Waschen sollten die Mehlkornanteile klein gehalten werden. In Zonen hoher Strömungsgeschwindigkeiten insbesondere bei Hochwasser werden dem Mörtel noch Basaltfasern beigemischt.

Bei der Auswahl des Bindemittels und den Erfahrungen im 1. Bauabschnitt erwies sich ein auf Romazement basierendes mineralisches Bindemittel als das für den speziellen Anwendungsfall am besten geeignete. Neben dem Romazement enthält das Bindemittel hochreaktive Puzzolane und Gerüstsilikate und folgt im Feinbereich einer karbonatischen Sieblinie. Der große Vorteil des Romazements wird darin gesehen, dass sein grob entwickeltes, meist kartenhausartig verwachsenes Hydratgefüge eine hohe Kapillaraktivität bewirkt, was aus den hohen Wasseraufnahmekoeffizienten ablesbar ist [7]. Das Bindemittel ist bisher mit der hohen Salzfracht im Bauwerk ohne Abplatzungen oder vergleichbaren Schäden sehr gut zurechtgekommen (Abb. 14). Ferner hilft eine schnelle Früh- und späte Endfestigkeit dem heutigen Baugeschehen. Die im Verhältnis zu Druckfestigkeiten vergleichsweise niedrigeren Verformungskennwerte führen zu einer besseren mechanischen Verträglichkeit mit den bereits verbauten Materialien.

### 8.1.3 Schutzantrag

Zonen oberflächennaher Steinzerstörungen werden dann instandgesetzt, wenn durch eine Beibehaltung dieser statisch nicht relevanten „Narbe“ ein weiteres Zurückwittern des Steines und eine „Infektion“ der benachbarten Steinbereiche aufgrund unzureichender Wasserabführung zu befürchten ist. Hierfür ist für eine maximale Dicke von 30 mm ein Schutzantrag vorgesehen, der quadergenau und farblich angepasst auf die Steinoberfläche aufgebracht wird (Abb. 15). „Er basiert auf einer Mischung aus hochwertigen sulfatbeständigen Portlandzementen und Kalken. Diese Bindemittelkombination bewirkt ein hohes Maß mechanischer Salzbeständigkeit, einem niedrigen Gehalt freier Alkalien bei gleichzeitig guter Verarbeitungsfähigkeit. Durch eine zielgerichtete Sieblinie, die Zugabe von kapillaraktiven Leichtzuschlägen und luftporenbildenden Zusätzen wird eine kapillaraktive und gleichzeitig salzspeichernde Porenstruktur aufgebaut. Das Fehlen jeglicher hydrophob wirkender Zusätze bringt neben einer sehr guten Dampfdiffusionsfähigkeit einen hohen effektiven Feuchtedurchgang mit sich“ [8]. Der Schutzantrag ist als Verwitterungsschicht vorgesehen, ihre Dauerhaftigkeit ist daher begrenzt. Sie bewirkt aber eine Verzögerung des Schadensfortschritts bei maximalem Erhalt der alten Steine.

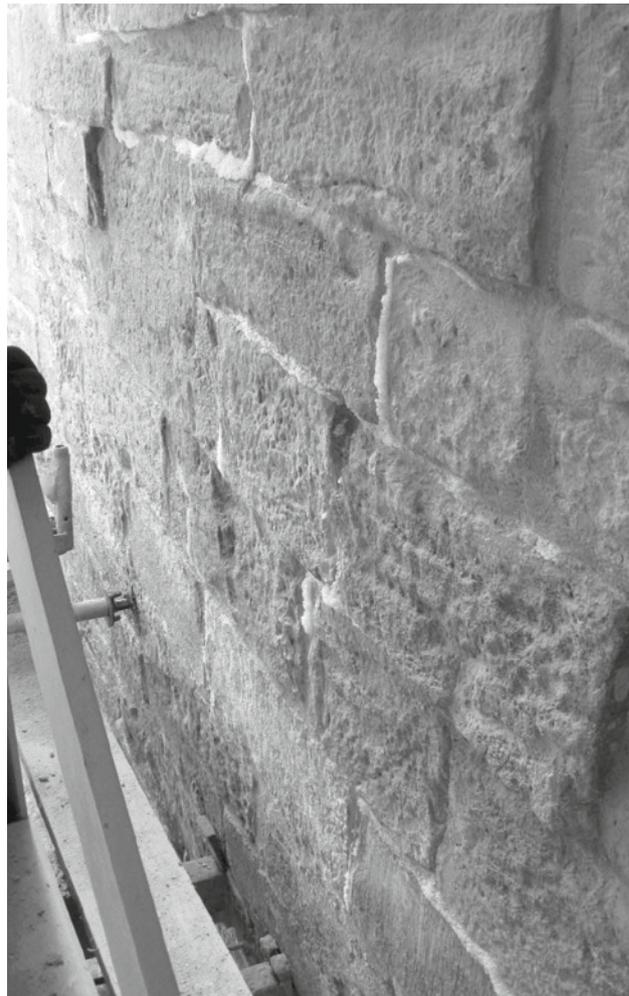


Abb. 14: Salzbärte auf intaktem Fugmörtel

### 8.1.4 Stabilisierungsmörtel für das Füllmauerwerk

Nach dem Abnehmen des alten Fahrbahnbelags wird das historische Füllmauerwerk freigelegt, das durch die jahrelange Durchspülung mit Wasser und durch frühere Umbauten und Instandsetzungsphasen oberflächennah aufgelockert ist. Um auf dieses Mauerwerk wieder eine tragfähige Fahrbahn aufbauen zu können, muss eine Stabilisierung des Mauerwerks mit einem Mörtel vorgenommen werden, der von den mechanischen Kennwerte her verträglich mit dem Füllmauerwerk ist und der den vorhandenen historischen Bindemitteln strukturell nahe kommt. Hierfür wurde ein Kalkmörtel aus frischem hochhydraulischen Stückkalk als Brandkalk ausgewählt, der entweder als Fertigprodukt geliefert oder direkt auf der Baustelle hergestellt werden kann. Die niedrigen Frühfestigkeiten und das sehr langsame Abbindeverhalten schränken allerdings den Einsatz dieses Mörtels ein. Alternativ kommt ein portlandzementfreier Fertigmörtel auf der Bindemittelbasis von Larnit-Zement (Belit), NHL Kalk, Puzzolanen und karbonatischen Füllstoffen zum Einsatz. Er ist leicht verarbeitbar, besitzt eine hohe Frühfestigkeit und damit im jungen Alter schon eine gewisse Frostbeständigkeit [8]. Seine physikali-



Abb. 15: Schutzantrag (Oberfläche noch unbearbeitet)

schen und mechanischen Eigenschaften erfüllen gut die Anforderungen an den Füllstoff eines z. T. noch romanischen Gussmauerwerks.

### 8.1.5 Injektionsgut

Durch den undichten Oberbau und die damit verbundene Durchspülung mit z. T. salzbelastetem Wasser, durch die Sprengung von vier Bögen und die damit einhergehenden Erschütterungen, durch das Einbrechen von Sprengkammern in vier Pfeilern, aber auch durch die Erschütterungen und Verformungen aus Verkehr und Temperatur sowie durch frühere Umgestaltungen der Fahrbahn sind im Füllmauerwerk Hohlräume entstanden, die sich zunehmend schädigend auf das Bauwerk auswirken. Daher werden Hohlräume, Spalte und große Risse druckfest geschlossen. Hierfür werden mineralische, schwindarme und bauwerksverträgliche Bindemittelmischungen verpresst. Zur Anwendung kommt eine auf Larnizement und hochwertigen Puzzolanen aufbauende Bindemittelmischung, der Schichtsilikate zur Erhöhung der Fließfähigkeit beigemischt sind. Auch dieses Verpressgut erfüllt aufgrund seiner hohen Kapillaraktivität und den moderaten Steifigkeitswerten die an es gestellten Anforderungen.

### 8.1.6 Zugelemente

In Bereichen, wo auch zukünftig Zugkräfte im Mauerwerk auftreten, werden in Bohrlöcher Rundstahlanker eingebaut und der Verbund mit dem Mauerwerk über ein auf die jeweiligen Anforderungen abgestimmtes Verpressgut hergestellt. Bei geringen statischen Anforderungen, bei den steinrestauratorischen Arbeiten und für Sicherungen im Bauzustand kommen Injektionsanker (Klebeanker) mit bauaufsichtlicher Zulassung zum Einsatz. Hierbei wird der Verbund zwischen nichtrostenden Gewindestäben bis zu einem Durchmesser von 6 mm und den Steinen über eingepresstes Epoxidharz hergestellt. Höheren statischen Anforderungen wird mit der bewährten Verpressankertechnik begegnet, bei der nichtrostende Gewindestäbe mit Durchmessern zwischen 10 mm und 20 mm in Bohrlöcher mit i. M. 50 mm Durchmesser eingelegt und über ein eingepresstes mineralisches Bindemittel der Verbund zwischen dem Zugelement und Mauerwerk hergestellt wird. In der bisherigen Baupraxis wurde Injektionsgut auf der Basis von Portlandzementen eingesetzt, da über die hohen Endfestigkeiten hohe Ausziehkräfte der Anker erreicht wurden [9]. Für das Projekt Steinerne Brücke laufen derzeit Untersuchungen an der Fachhochschule Lübeck für die Verbundherstellung zwischen Anker, Mauerwerk und Bindemittel auf Basis von Romanzementen, hochwertigen Puzzolanen und Gerüstsilikaten. Nach den ersten Ergebnissen können bereits mit dem unter 8.1.4 beschriebenen Mörtel Anker mit geringen Anforderungen an die Ausziehkräfte eingebaut wer-



Abb. 16: Ankerköpfe für Quervorspannung von Einbau der Vierungen

den. Dies kann dann von Vorteil sein, wenn nicht mit unterschiedlichem Injektionsgut gearbeitet werden soll und die geringen Ausziehkräfte statisch vertretbar sind. Die bisherigen Ergebnisse versprechen, dass mit einer entsprechenden Modifizierung des Injektionsguts auf Romanzementbasis auch höhere Ausziehkräfte erreicht werden können. Zur zugfesten Anbindung der vom Gewölbemauerwerk abgerissenen Schildbögen werden diese über Zuganker querverspannt. In jedem Brückenbogen werden dafür vier Anker in der unteren Gewölbeschale aus Quadermauerwerk über die gesamte Brückenbreite eingebaut (Abb. 16). Die nichtrostenden Gewindestangen mit einem Durchmesser von 24 mm werden nach dem Einbau auf 100 kN vorgespannt und der Verbund zwischen Anker und Mauerwerk mit einem speziellen Injektionsgut auf Portlandzementbasis mit hohem Sulfatwiderstand über Verpressen hergestellt.

## 8.2 Reinigung und Klebung

Die Art der Steinoberflächenreinigung wird auf den jeweiligen Verunreinigungszustand abgestimmt: Es kommen sowohl das mechanische Entfernen von Mikroorganismen, Schlämmen und Krusten, die Reinigung mit einem speziellen Wasserdampf Hochdruckreiniger und die Niederdruckstrahlreinigung zum Einsatz.

Bruchstücke von Steinen, in deren Bruchflächen zukünftig keine Zug- oder Scherkräfte auftreten, werden mit farblich angepasstem Epoxidharz- oder Hybridmontagekleber wieder passgenau auf die gereinigte Bruchfläche fixiert. Bei Bedarf wird eine zusätzliche Sicherung über eingeklebte Gewindestifte ( $d = 4 \text{ mm}$ ) hergestellt.



Abb. 17: Bauzustand Bogen XII: Rohzustand, vorbereitete Steinoberflächen, Aufbauquader, Tiefenverzahnungen)

### 8.3. Steininstandsetzungen

Bei den Steininstandsetzungen wird ebenfalls das Ziel verfolgt, ein Maximum der vorhandenen Steinsubstanz zu erhalten und damit das Volumen der neu einzubauenden Steine klein zu halten. Je nach Art, Lage, Schädigungsgrad und zukünftiger Beanspruchung der Steine kommen unterschiedliche Instandsetzungsmethoden zum Einsatz: Vierungen, Aufbauquader, Kronen und Neuteile.

Während *Vierungen* mit Klebepressfugen an alle Berührungspunkte mit dem „Mutterstein“ angeschlossen werden, werden *Aufbauquader* auf die planebene Oberfläche eines Steinrumpfes mit Natursteinklebern

oder Polymerharzen befestigt und mit den Umgebungsbereichen druckfest verfugt (Abb. 17).

Bei sehr wenigen, besonders wertvollen Kalksteinen aus der Römerzeit, deren Schädigungen in eine Tiefe reichen, die zu einer Instandsetzung zwingen, kommen *Kronen* zum Einsatz. Diese unterscheiden sich von den Aufbauquadern dadurch, dass der Steinrumpf nur so weit rückgearbeitet wird, dass eine mittels 3D-Bruchflächenscan aus einem Rohblock ausgefräste Krone auf die Oberfläche aufgeklebt werden kann (Abb. 18).

Vollständige Quader als *Neuteile* sind dann erforderlich, wenn sich aufgrund des hohen und tiefen Schädigungsgrades mit den vorgenannten Methoden keine funktionsfähige und nachhaltige Reparatur erreichen lässt. Der Einbau eines Neuteils erfordert je nach Lage und Beanspruchungen eine statisch abgestimmte Einbaulogistik.

Bei der Steininstandsetzung folgen die Einbindetiefen und damit die Tiefenverzahnungen, aber auch die Einbaureihenfolgen den Ergebnissen der statischen Berechnung. Sie erlaubt u. a. die Angaben für die Bauausführung, bis zu welcher Tiefe die Steininstandsetzung rein restauratorisch und ab welcher Tiefe die Eingriffe sorgsam statisch begleitet werden müssen. Durch die dargestellte behutsame Vorgehensweise beträgt der Anteil der jetzigen Natursteininstandsetzung ca. 3–5‰ bezogen auf die Gesamtmenge der verbauten Steine.



Abb. 18: Krone aus Kalkstein vor Einbau (aus Block mittel 3D-Scan gefräst)

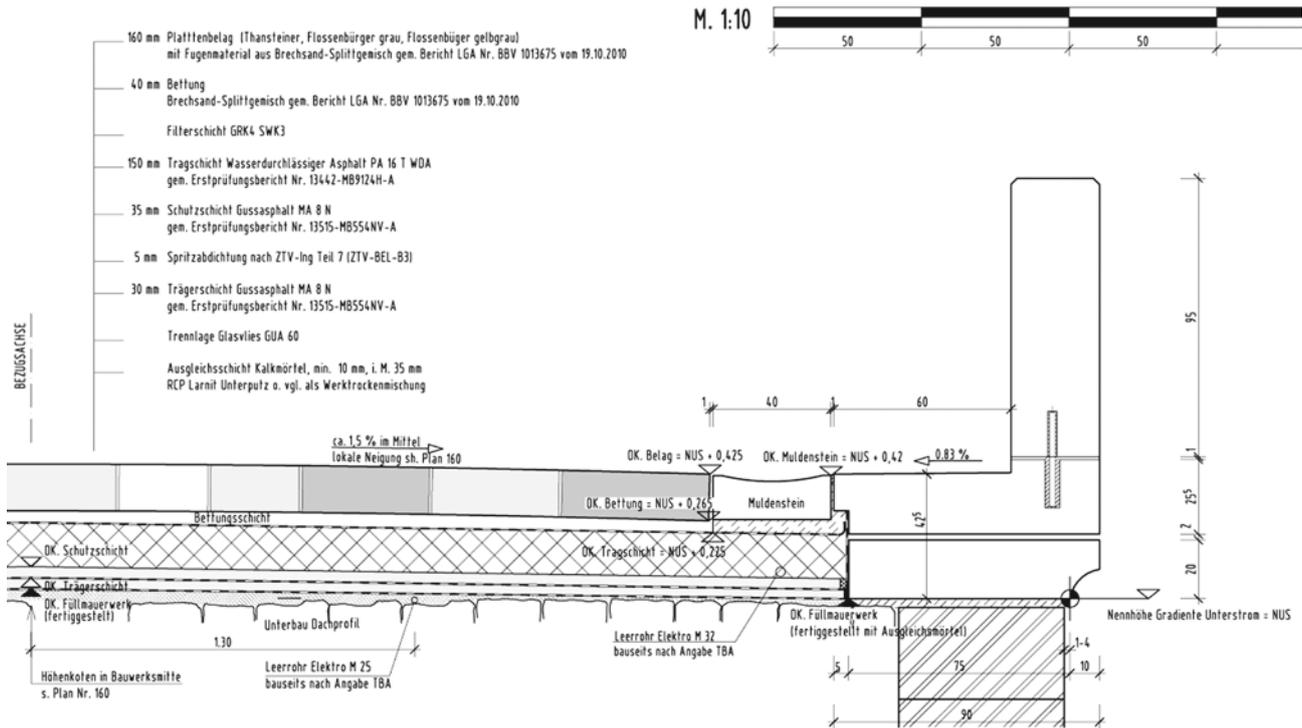


Abb. 19: Regelquerschnitt der neuen Fahrbahn über dem Füllmauerwerk

## 9 Erneuerung des Oberbaus

Zum Oberbau der Brücke zählen die Brüstungen, deren Auflagerplatten in Form von Fries- und Sockelsteinen am Rand sowie der Belag mit den an die Ränder angrenzenden Muldensteinen. Eine Instandsetzung der L-förmigen Betonfertigteile war aufgrund ihres hohen Schädigungsgrades nicht mehr möglich. Dass der vorhandene, gebunden verlegte Großpflasterbelag gerissen und erheblich verformt war, erleichterte die planerische Entscheidung, diesen komplett aufzunehmen, um der Brücke die dringend notwendige und bisher fehlende Abdichtung zu geben. Gestalterische und denkmalrelevante Fragen stellten sich somit an das veränderte Erscheinungsbild des Oberbaus mit neuen Brüstungen und einem neuen Belag. Ingenieurtechnische Fragen waren zur Verträglichkeit, zur Widerstandsfähigkeit und zur Dauerhaftigkeit der neu einzubauenden Baustoffe insbesondere an den Kontaktstellen mit den historischen Baustoffen zu beantworten.

Die Leitgedanken des ersten Entwurfs von 2010 waren zum einen die Anlehnung an eine Schrammbordausbildung von 1863, zum anderen aber auch die Beschränkung der vorgeschriebenen Brüstungshöhen auf ein erträgliches Maß. Der Nachteil der Schrammbordlösung war, dass mobilitätseingeschränkte Menschen mit dem Rollstuhl nicht mehr an die Brüstung heranfahren können, so wie es seit 1967 möglich war.

Daher wurde die Anlehnung an das historische Vorbild aufgegeben und eine Kompromisslösung gefunden, die auf Abbildung 19 dargestellt ist:

Als Brüstungselemente werden Granitplatten unterschiedlicher Längen versetzt, die an das von alten Darstellungen bekannte Material- und Fugenbild angelehnt waren. Höhe und Breite der Brüstungen wurden aus einem Kompromiss von denkmalpflegerischen, verkehrsrechtlichen und statisch-konstruktiven Aspekten entwickelt. Die Brüstungselemente sind über Dollen in die Sockelsteine eingespannt, die ihrerseits auf die geschwungenen und nicht parallel verlaufenden Brückenränder ausbildenden Friessteine aufgelegt sind.

Der Fahrbahnaufbau wurde speziell auf die Belange der Steinernen Brücke abgestimmt und folgt damit einer im Brückenbau unüblichen und in der Folge ungeregelten Bauweise. Daher mussten im Vorfeld Tastversuche durchgeführt und an einem Probefeld der gesamte Fahrbahnaufbau mit den zum Einsatz kommenden Geräten hergestellt werden. Mit Hilfe von Probennahmen konnten die Tauglichkeit der speziellen Asphaltmischungen nachgewiesen und die durch Kugelstrahlen des Asphalts erreichte Haftzugfestigkeit der Folie auf dem Asphalt bestätigt werden. Die Fahrbahn wird somit wie folgt hergestellt: Auf das historische und wo nötig ertüchtigte und mit einer Mörtelschicht profilierte Füllmauerwerk wird eine Trä-

gerschicht aus Gussasphalt aufgebracht, auf die die Polyurethan-Abdichtung aufgespritzt wird. Der Vorteil der Flüssigabdichtung ist eine hohe Dampfdiffusion, eine hohe Reißdehnung sowie die Anpassungsmöglichkeiten an die gekrümmte Geometrie der Brücke sowie an die Beleuchtungsanschlüsse. Die Folie, die für die Verwendung auf Bundesverkehrswegen zugelassen ist, wird mit einer Deckschicht aus Gussasphalt vor Beschädigungen auf der Baustelle geschützt. Als eigentliche Tragschicht, die auch den geometrischen Höhenausgleich zwischen Brückenrand und Mitte bildet, fungiert wasserdurchlässiger Asphalt. Auf diesem werden, getrennt durch ein Flies, die großformatigen Platten aus heimischem Granit in unterschiedlichen Formaten und Varietäten in ungebundener Bauweise verlegt.

Der Belag soll mit seinem geringen Fugenanteil schon einen Großteil des anfallenden Oberflächenwassers gezielt an die Rinnsteine und von dort an die historischen Wasserspeicher abführen. An den Belag werden die Forderungen gestellt, dass

- zwängungsfreie Verformungen ermöglicht werden,
- die Fugen auf ein Minimum reduziert werden,
- Verteilungen von Einzellasten (Radlasten von Einsatzfahrzeugen) ermöglicht werden,
- ein Benutzungskomfort der Brücke geschaffen wird,

- Vandalismus vermieden wird,
- ein natürliches, selbstverständliches und keinesfalls steriles Erscheinungsbild erreicht wird.

Den Anforderungen wird dadurch entsprochen, dass

- eine ungebundene Bauweise gewählt wird,
- großformatige Steinplatten verwendet werden,
- Steinauswahl, Verlegemuster und Oberflächenbildung von den maßgebenden Entscheidungsträgern akzeptiert werden, und
- modifizierte Fugmaterialien zum Einsatz kommen.

Zur Erprobung des Einbaus und der Bemusterung der verschiedenen Oberbauausbildungen wurde auf dem Bauhof des Tiefbauamts der Stadt Regensburg ein Musterbauwerk im Maßstab 1:1 errichtet. Wenn auch das Bauwerk nur einen idealisierten, weil begradigten Abschnitt zwischen zwei Pfeilern wiedergibt, so konnten dort dennoch die Gesamtwirkung von Brüstungshöhen, -dicken und Steinarten, die Wirkung und Nutzbarkeit von Schrammborden, das Erscheinungsbild von Belagsmustern, die Art der Aufbringung und Wirkungsweise von verschiedenen Abdichtungen sowie unterschiedliche Leuchtenstandorte untersucht werden.

## Literatur

- [1] Swaczyna, A.: Die Steinernen Brücke in Regensburg – Erhaltung eines Kulturdenkmals von europäischer Bedeutung. In: Natursteinsanierung Stuttgart 2006. Tagungsband. Fraunhofer IRB Verlag, S. 95–111
- [2] Patitz, G.; Illich, B.; Wenzel, F.: Zerstörungsfreie Untersuchungen an der Steinernen Brücke in Regensburg. In: Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, SFB 315, Karlsruhe, Jahrbuch 1997/1998, S. 135–182
- [3] Swaczyna, A.: Substanzschonende Beseitigung von Umweltschäden an dem national wertvollen Kulturgut „Steinerne Brücke“ in Kooperation mit mittelständischen Unternehmen. Abschlussbericht zum Modellvorhaben DBU-Projekt 10826, unveröffentlicht, 2005
- [4] Heilmeier, K.: Die Steinernen Brücke zu Regensburg im 19. und 20. Jahrhundert. Ansprüche des Industriezeitalters an ein Werk romanischer Ingenieurbaukunst. In: Denkmalpflege in Regensburg. Hrsg. Stadt Regensburg, Amt für Archiv und Denkmalpflege, Abteilung Denkmalpflege, Band 11, Verlag Friedrich Pustet, 2009, S. 119–181
- [5] Egermann, R.: Zur Instandsetzung der Steinernen Brücke in Regensburg. In: Tagungsband der Dombaumeistertagung des Regensburger Dombauvereins e.V., Verlag Schnell & Steiner, Regensburg, 2011, S. 149–166
- [6] Egermann, R.: Untersuchungen an der Steinernen Brücke in Regensburg als Grundlage für eine denkmalgerechte Instandsetzung. In: Erfahrungsaustausch Bauwerksprüfung nach DIN 1076, Dokumentation, Verein zur Förderung der Qualitätssicherung und Zertifizierung der Aus- und Fortbildung von Ingenieurinnen/Ingenieuren der Bauwerksprüfung (VFIB), 2013, S. 57–70
- [7] Weber, J.; Hilbert, G.: Romanzement – ein hydraulisches Bindemittel des 19. Jahrhunderts mit interessanten Zukunftsperspektiven für Mörtelanwendungen in der Restaurierung und im Bauwesen. In: Natursteinsanierung Stuttgart 2012. Tagungsband. Fraunhofer IRB Verlag, S. 25–36
- [8] RCP RoCemPlaster Baustoff GmbH: Technische Merkblätter [www.rocemplaster.com](http://www.rocemplaster.com)
- [9] Wenzel, F. (Hrsg.): Historisches Mauerwerk. Untersuchen, Bewerten und Instandsetzen. Empfehlungen für die Praxis, Sonderforschungsbereich 313, Universität Karlsruhe (TH), 2000

## Abbildungen

Titelbild: BfB

Abb. 1: Tiefbauamt der Stadt Regensburg

Abb. 2: Zeitler, Arldt (+) + Schild, J. Jacobi, MZ, Stadtverkehr, Lastauto + Omnibus, RVB, Archiv Kirchner (Darmstadt)

Abb. 3–7: BfB

Abb. 7: Tiefbauamt Regensburg

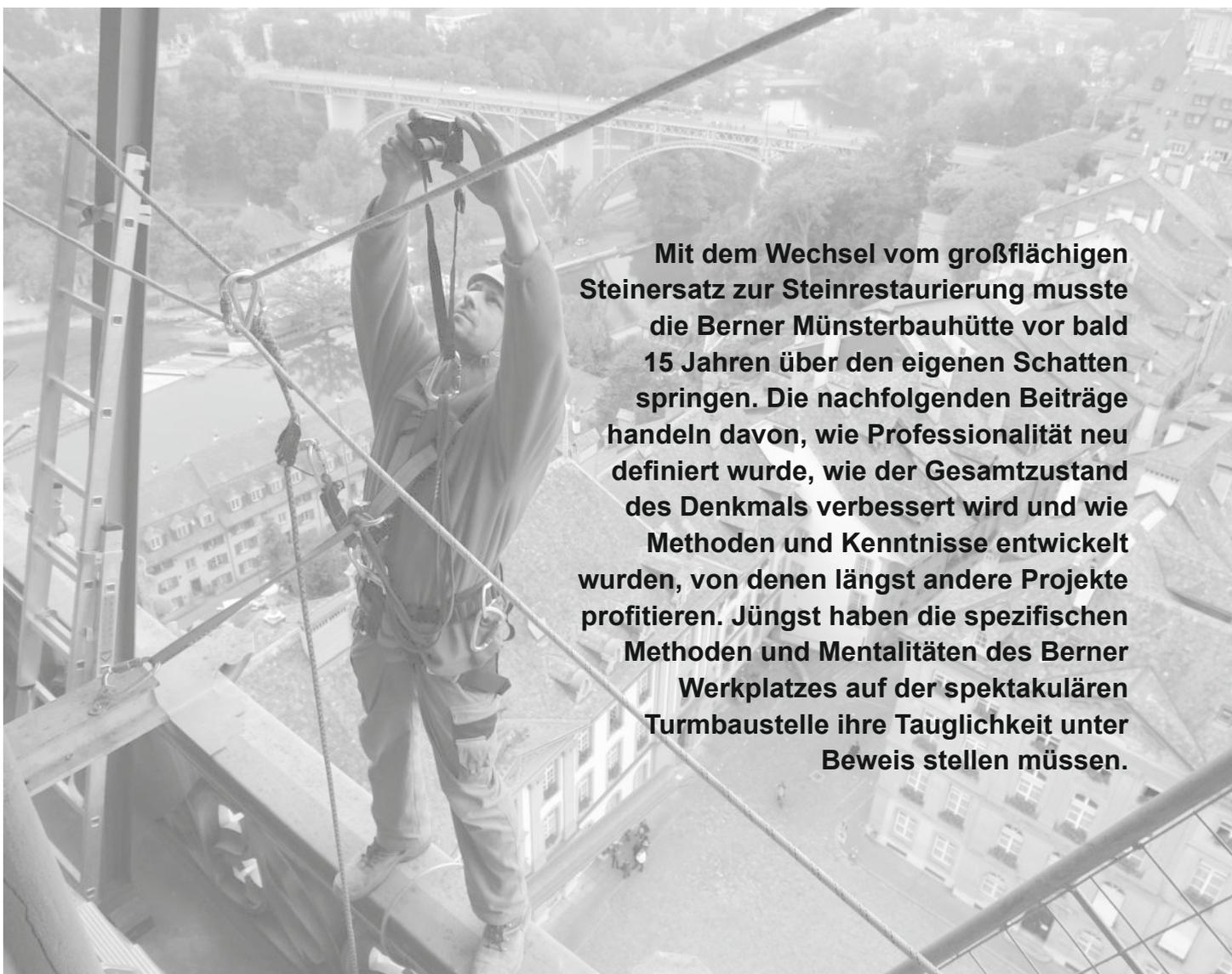
Abb. 8: BSR 8. Juni 1953 [4]

Abb. 9–19: BfB



# Baupflege am Berner Münster

von Annette Loeffel, Christoph Schläppi und Peter Völkle



**Mit dem Wechsel vom großflächigen Steinersatz zur Steinrestaurierung musste die Berner Münsterbauhütte vor bald 15 Jahren über den eigenen Schatten springen. Die nachfolgenden Beiträge handeln davon, wie Professionalität neu definiert wurde, wie der Gesamtzustand des Denkmals verbessert wird und wie Methoden und Kenntnisse entwickelt wurden, von denen längst andere Projekte profitieren. Jüngst haben die spezifischen Methoden und Mentalitäten des Berner Werkplatzes auf der spektakulären Turmbaustelle ihre Tauglichkeit unter Beweis stellen müssen.**

## Die Münsterbauhütte Bern als Pflegezentrum

(Referentin: Annette Loeffel)

### 1 Das Berner Münster

Als spätmittelalterliche Stiftskirche verkörpert das Berner Münster die Entwicklung und die Karriere der Republik Bern, die während der Bauzeit zur größten Stadtrepublik nördlich der Alpen heranwächst. Von der Grundsteinlegung 1421 bis zur Einwölbung des unteren Turmoktogons gegen Ende des 16. Jahrhunderts entstehen in mehreren intensiven Bauphasen der Chor, die Seitenschiffe und das Strebewerk, der untere Teil des Westwerks, das Hochschiff, der Turm und abschließend die Gewölbe über Chor, Langhaus und Turmoktagon. Besondere Erwähnung verdienen der Chor und die Glasmalereien aus der Zeit Matthäus Ensingers, das Hauptportal mit dem berühmten Jüngsten Gericht von Erhart Küng sowie die vorreformatorische Ausstattung des Chors mit dem Chorgewölbe von Peter Pfister und dem Chorgestühl von Jacob Ruess und Heini Seewagen. Der Bau findet mit den Gewölben über dem Langhaus von Daniel Heintz 1588 seinen kongenialen Abschluss. Seit einer Kampagne im 17. Jahrhundert werden in großen zeitlichen Abständen immer wieder Unterhaltsarbeiten und partielle Erneuerungen vorgenommen. Erst am Ende des 19. Jahrhunderts wird der Turm mit Oktagon und Helm aufgestockt. Das Bild des „vollendeten“ Münsters prägt die Silhouette der Berner Altstadt erst im 20. Jahrhundert. Die damals neu gegründete Bauhütte beschäftigt sich seither ununterbrochen mit der Instandhaltung des Bauwerks (Abb. 1).

### 2 Restaurierungsgeschichte

Während die Baugeschichte im Rahmen der Kunstdenkmälerinventarisierung minutiös aufgearbeitet wurde, hat sich erst in jüngerer Zeit ein Bewusstsein für die Restaurierungsgeschichte des Münsters gebildet. Dies hat mit der Quellenlage einerseits, andererseits aber auch mit unserem Verständnis für das Bauwerk zu tun. Dokumente zu frühen Restaurierungsphasen fehlen teilweise gänzlich. Zahlreiche Planbestände, Bild- und Schriftquellen des 19. und 20. Jahrhunderts sind in den letzten Jahren erschlossen worden. Derzeit werden die Baujournale des Turmaufbaus ab 1889 transkribiert. Aus der Perspektive dieser früher als zweitrangig betrachteten Quellen ist unser Bild des Münsters deutlich facettenreicher und differenzierter geworden. Neben der traditionellen Wahrnehmung als spätgotisches Gesamtkunstwerk wird

dieses heute zunehmend auch als Resultat des Restaurierungsprozesses verstanden.

### 3 Baupflegestrategie gestern und heute

Der Restaurierungsprozess hatte eine seiner intensivsten Phasen ab 1911. Seither ist die äußere Gebäudehülle mit Turmfassaden, Strebewerken, Obergadenfenstern und Chorfenstern im Zuge ausgedehnter Arbeiten stark umgeprägt worden. Alle vier Fassaden des Turmvierecks erhielten dabei neue äußere Mauerschalen oder wurden zurückgearbeitet, zahlreiche weitere Bereiche wurden erneuert. Noch in den Jahren 1988–1998 wurden 8 von 14 originalen Fenstermaßwerke am Obergaden komplett ersetzt. Diese Maßnahmen standen in der Tradition der Bauhütte, welche für die Turmaufstockung neu gegründet worden war. Gemäss dem damaligen Verständnis von Denkmalpflege wurden defekte Teile ersetzt. Dabei



Abb. 1: Berner Münster mit aktueller Baustelle am Turm (2010–2015). Der Turmhelm befindet sich erstmals seit seiner Fertigstellung 1893 wieder im Gerüst.

zögerte man nicht, auch Elemente im Sinne stilreiner, klarer Gotik zu „verbessern“ oder gar zu korrigieren.<sup>1</sup> An Einzelmaßnahmen wie zum Beispiel der Aufhängung und Verklammerung sämtlicher Gewölberippen in den Stoßfugen um 1911 werden einige Züge dieser im ganzen 20. Jahrhundert verfolgten Denkweise deutlich (Abb. 2–4). Die Maßnahmen wurden konsequent, ja mit einer gewissen Unerbittlichkeit umgesetzt. Dadurch geschahen zahlreiche aus unserer Sicht unnötige Interventionen. Im Fall der erwähnten Verstärkungen sprechen viele Indizien heute dafür, dass es sinnvoller gewesen wäre, auf die Maßnahme zu verzichten.

Der beispielsweise am Turmviereck vollflächig vorgenommene Steinaustausch ist eine irreversible Maßnahme (Abb. 5–8). Wären diese mehrere hundert

1 Schweizer Dr. J., Kunsthistoriker, Präsident des Münsterbaukollegiums Bern, Vizepräsident des Stiftungsrates der Berner Münster-Stiftung, Auszug aus: *Protokoll der Betriebsinformation vom 28.08.2001*

Tonnen Stein nach heutigem Verständnis restauriert worden, hätten wir noch die Option, zu ersetzen, wo es uns notwendig erscheint. Es ist noch nicht lange her, dass das Denkmalpflegeverständnis zwischen der authentischen („ursprünglichen“) Kernsubstanz und störenden „Zutaten“ unterschied. Wir hingegen sind überzeugt, dass die Authentizität des Bauwerks auf der Gesamtheit aller Maßnahmen, ungeachtet ihrer chronologischen Abfolge, beruht. In diesem Licht betrachtet, erfährt die Zeugenschaft der Bausubstanz eine neue Wertschätzung: Materialien, Formen, Oberflächen, Mörtel etc. sind nicht nur wesentliche Ausdrucksträger auf ästhetischer Ebene, sondern sie treten vermehrt in den historischen Zeugenstand. Der heutige Bestand an originalen äußeren Bauteilen ist freilich klein. Eine Übersicht, welche 2002 die Summe aller restauratorischen Ersatzmaßnahmen zusammenfasste, zeigt dies mit aller Deutlichkeit (Abb. 9).

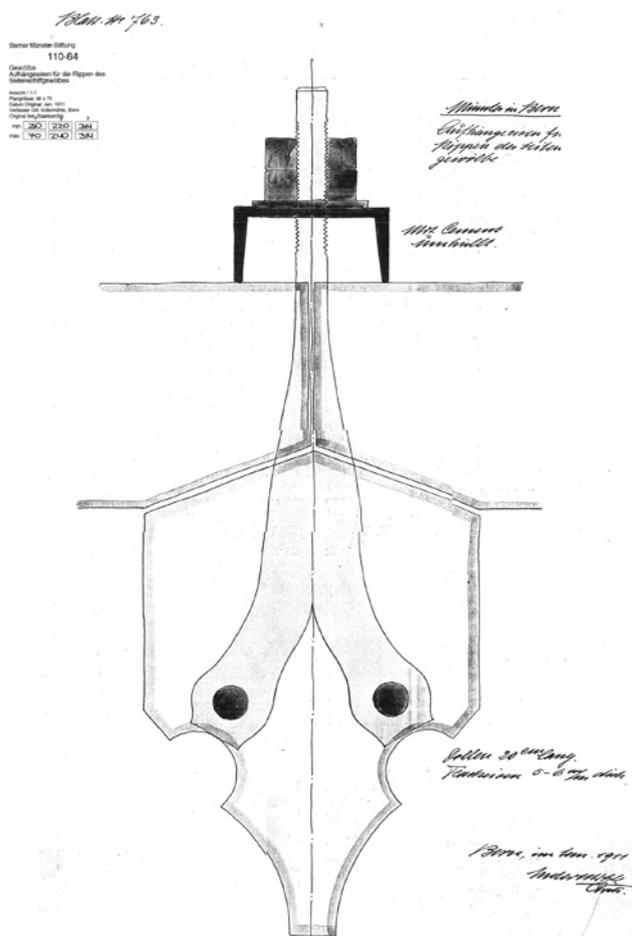


Abb. 2: Schnitt durch die Gewölbeaufhängung von 1911 mit Eisenklammern und U-Profil über den Gewölberippen. „Aufhängeeisen für die Rippen des Seitenschiffgewölbes“, Karl Indermühle, 1911. Ausgelöst durch Wassereinbrüche verursachten die rostenden Klammern an den Gewölberippen teils massive Schäden.



Abb. 3: Vorsichtiges Abnehmen und Sanierung eines fast vollständig gerissenen Rippenstückes (Schütz-Kapelle)



Abb. 4: Freilegung der rostenden Dübel und Ersatz derselben durch Dübel aus Edelstahl wo sinnvoll und notwendig



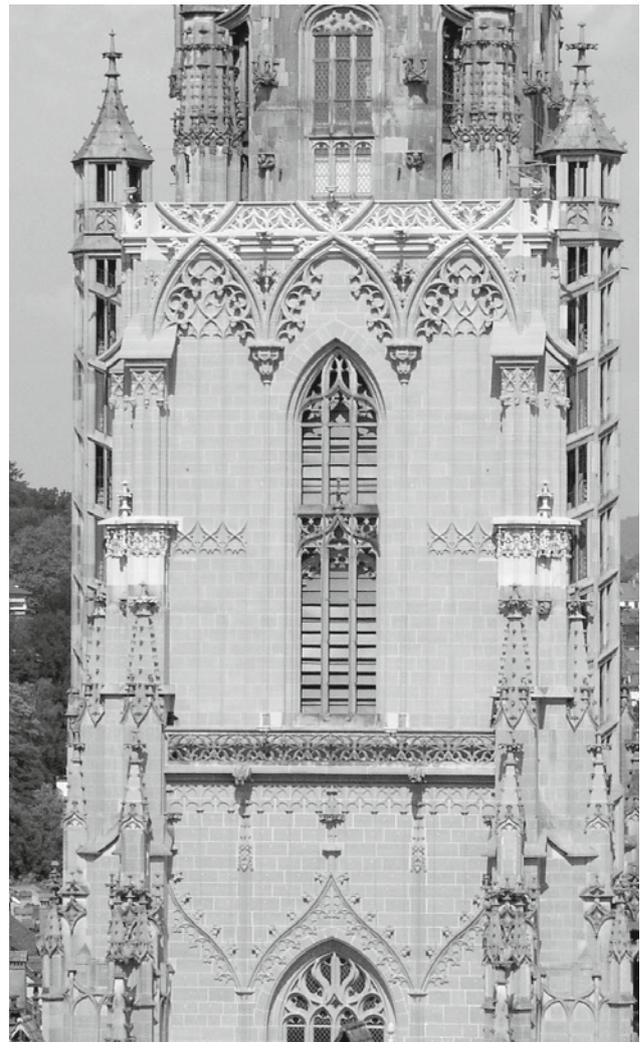
**Abb. 5:** Letzte umfangreiche Renovationsstufe: Oberes Turmviereck West, Steinaustausch 100%. Standzeit des Gerüstes an diesem Fassadenabschnitt: 1982–2002



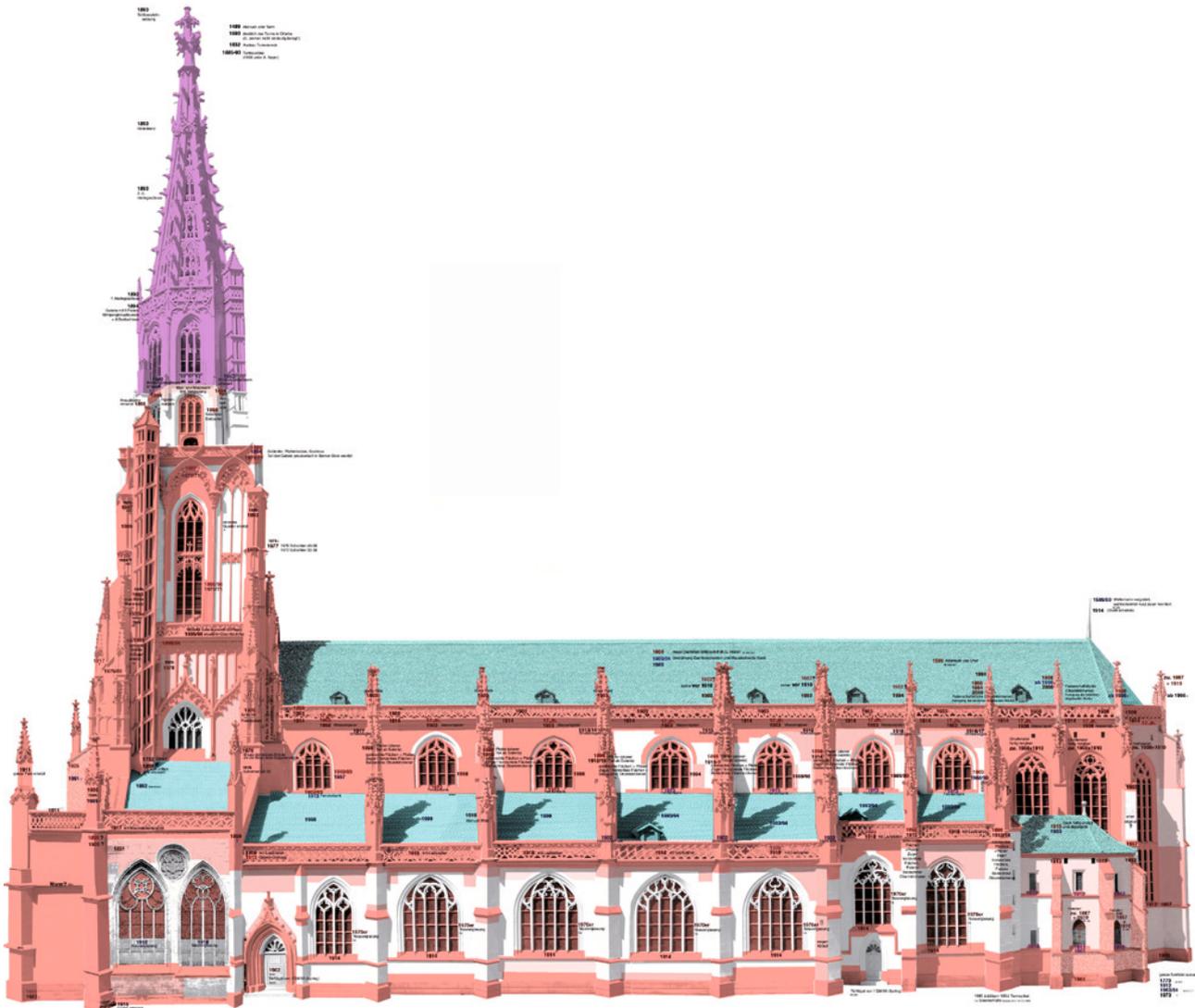
**Abb. 6:** Oberes Turmviereck West: Abbruch (Foto Juni 2001)



**Abb. 7:** Oberes Turmviereck West, Erneuerung der gesamten äußeren Mauerschale durch die Münsterbauhütte 2001



**Abb. 8:** Oberes Turmviereck West 2002 kurz nach der Fertigstellung der Arbeiten (vorerst letzter großer Steinaustausch am Berner Münster)



**Abb. 9:** Bestand an originalen äußeren Bauteilen am Beispiel der Südfassade: Sämtliche rot markierten Bereiche wurden seit der Turmaufstockung Ende 19. Jahrhunderts erneuert (Erfassung 2001 auf Fotos des Münstermodells „Swissminiature“)

### Paradigmenwechsel

Auf Karl Indermühle, welcher 1901 das Amt des Münsterwerkmeisters angetreten hatte, folgten bis Ende des 20. Jahrhunderts zwei weitere Generationen der Familie im Werkmeisteramt. Der Amtsantritt von Münsterarchitekt Hermann Häberli 1998 fiel mit der letzten intensivsten Phase bei der Neuverblendung des oberen Turmvierecks West zusammen. Die enormen Anstrengungen dieser Phase veranlassten Häberli und sein Team nach Alternativen zu suchen. An einer Eckfiale aus dem frühen 20. Jahrhundert wurde erstmals der Versuch unternommen, ein schadhaftes Bauteil nicht zu ersetzen, sondern mit restauratorischen Maßnahmen zu ertüchtigen (Abb. 10).

Damit war der erste Schritt zum Paradigmenwechsel weg vom traditionellen Natursteinaustausch ganzer Bauteile hin zu einer umfassenden Baupflege getan. Dieser Wandel war nicht nur für das Bauwerk

selbst, sondern für alle am Bau beteiligten Personen folgenreich. Während die Bauhütte sich bislang auf Produktivität und bildhauerische Qualität konzentriert hatte, waren nun andere Kompetenzen gefragt. Unter Anleitung von Andreas Walser und Kathrin Durheim und weiteren beigezogenen SpezialistInnen wurden die MitarbeiterInnen in die Methoden der Steinrestaurierung eingeführt.

Für einige MitarbeiterInnen der Bauhütte war diese Neuerung ein Kulturschock. Sie konnten das neue Berufsbild nicht mit ihrem Selbstverständnis vereinbaren. Die Konsequenz war, dass mehrere Personen die Bauhütte verließen. Andere begriffen die Chance, die der neue Ansatz für das Baudenkmal und das Berufsbild des Steinbildhauers und Steinmetzes bedeutet: Seine Qualifikation wird in Richtung eines „Natursteinrestaurators“ ausgeweitet. Was anfangs



**Abb. 10: Baldachin an der Eckfiale Süd 2001. Rechts: Vorzustand, links: kurz vor dem Abschluss der Restaurierung mit Mörtelantragungen als Schutz- und Opferschicht**

weit über den Betrieb der Bauhütte hinaus zu Auseinandersetzungen geführt hatte, ist nur wenige Jahre später zum festen Bestandteil der schweizerischen Berufsausbildung geworden. Personen wie Peter Völkle, Cornelia Marinowitz (Dipl.-Restauratorin FH) oder Christine Bläuer und Bénédicte Rousset (CSC Conservation Consulting Sàrl, Fribourg) stellen heute sicher, dass das Fachwissen der Werkleute stets auf dem neuesten Stand bleibt.

Es wäre zu kurz gegriffen, die Neuausrichtung auf technische Fragen beschränken zu wollen. Der neue Ansatz setzte vielmehr eine neue Mentalität voraus. Der Paradigmenwechsel erstreckte sich auch auf Betriebskultur, Haltung und Selbstverständnis. Dies bedeutet beispielsweise, dass gegen außen willentlich transparent kommuniziert wird, dass Teamarbeit im ständigen Dialog stattfindet, dass Lern- und Diskussionsbereitschaft die tradierten Denkschemen zwischen „richtig“ und „falsch“ hinterfragt, dass selbst-

kritisch vorgegangen wird und nicht zuletzt, dass ein Bewusstsein für wirtschaftliche und betriebsökonomische Zusammenhänge gepflegt wird.

Wesentliche Voraussetzungen für das Gelingen dieses Wandels sind in der Arbeitshaltung der Beteiligten zu suchen. Die Fähigkeit zum Teamwork, zur Interdisziplinarität, zur Hingabe, zum analytischen und vernetzten Denken, zur Empathie und zum Respekt gegenüber dem Bauwerk sind heute genauso gefragt wie eine hohe fachliche Kompetenz. Außerdem ist es nur auf der Basis gegenseitigen Vertrauens und Respekts möglich, die aktuellen, teilweise mit Unsicherheiten behafteten Arbeiten durchzuführen. Nur die Möglichkeit, auch einmal einen Fehler machen zu dürfen, führt letztendlich zu immer wieder neuen Arbeitsansätzen und Erkenntnissen.

Die breit gefächerte Interdisziplinarität des Teams schränkt das Risiko von kapitalen Fehlern ein und bietet gleichzeitig die Chance, Möglichkeiten und

Grenzen auszuloten. Dies bedeutet nicht, dass die Baustelle ein Spielplatz ist. Vielmehr ist sie ein Ort ohne Berührungängste, auch gegenüber berufsspezifischem Spezialwissen und gewerkübergreifendem Denken. In einem Kompetenzzentrum muss man erkennen, wo der Beizug von Spezialisten nötig und sinnvoll ist.

Zur Effizienz des Ganzen gehören nicht zuletzt auch organisatorische Fragen. Kleine kompetente Entscheidungsgremien fördern die Handlungsfähigkeit. Arbeitsfortschritt und rechtzeitiges Eingreifen werden nicht durch langfädige Entscheidungsprozesse behindert.

#### *Tradition und Innovation*

Die neue Ausrichtung der Sichtweise im Umgang mit dem Bauwerk stellte keine Abkehr von den tradierten Steinbearbeitungstechniken, sondern im Gegenteil eine Ausweitung der Kompetenzen dar. In den neuen Denkprozessen werden nun Systemaspekte und übergeordnete Sichtweisen mit einbezogen. So wurden Kenntnisse und Techniken wieder aufgenommen, die im Verlauf der Zeit nicht mehr verwendet worden waren. Dies konnte nur unter Beizug von externen SpezialistInnen und mit wissenschaftlicher Begleitung gelingen.

Ein Irrtum, der außerdem zu beseitigen war, betraf die Befürchtung, das Handwerk gehe verloren. Die Beherrschung der ganzen Diversität von Konservierungsmaßnahmen ist auf jeder Ebene anspruchsvoll, nicht nur bezüglich des handwerklichen Könnens. Anders als vor etwa zwei Jahrzehnten ist es heute keine Option mehr, am Baudenkmal mit der Begründung zu intervenieren, dies geschehe zur Bewahrung des traditionellen Handwerks. Gestaltungswille und künstlerische Selbstverwirklichung stehen heute nicht mehr zuvorderst im beruflichen Selbstverständnis der Bauleute.

Um einen Bauservice nach den neuen Vorstellungen umzusetzen, braucht es umfassende Kenntnisse des Bauwerks. Damit ist nicht nur das historische Wissen gemeint, sondern vielmehr eine sorgfältige Bauerfassung mit Bestandsaufnahme, Schadenskartierung, Maßnahmenkartierung etc. Diese Dokumentationen stellen sicher, dass jede Oberfläche nicht nur als Bestand, sondern auch als Prozess verstanden wird. Je lückenloser Kenntnisse über einen einzelnen Bauabschnitt gesammelt werden, desto präziser ist die Anamnese, welche als Grundlage für ein Maßnahmenkonzept und einen Bauentscheid dient. Zur Erfassung der Daten können wir uns heute moderner Findmittel wie Datenbanken und CAD-Programmen bedienen.

Nicht nur aus technologischer Sicht hatte der Mentalitätswandel gravierende Konsequenzen. Ging es früher meist darum, das Steinmetzhandwerk zu pflegen, werden heute nach Möglichkeit alle wissenschaftlichen und technologischen Disziplinen eingesetzt. Der umfassende Bauservice wird heute durch Kontinuität, flexible Interventionsmöglichkeiten und intensiven Erfahrungsaustausch gewährleistet.

#### **4 Hin zum ständigen Unterhaltsbetrieb und Pflegezentrum**

Die heutige Arbeitsweise der Bauhütte basiert auf einer neu auf die Bausubstanz ausgerichteten Sichtweise. Die Hütte wird immer mehr zum Unterhalts- und Pflegebetrieb. Um nun die Errungenschaften der vergangenen Jahre und die daraus resultierenden Erkenntnisse auch im Hinblick auf Einsparungen für die Zukunft zu sichern, muss die Kontinuität des Wissenstransfers und der Nachpflege sicher gestellt sein. Durch ein konsequent umgesetztes Monitoring und eine systematische Baukontrolle wird dies am Berner Münster gewährleistet. Kontrollen werden nach festgelegten Pflegeplänen in periodischer Abfolge durchgeführt. Checklisten begleiten alle Bauteile wie Patientenblätter, sodass überall stets leicht nachvollziehbar ist, an welchen „Gebrechen“ ein Bauteil gerade leidet und welche Maßnahmen bereits angewendet wurden. Das System der Kontrollgänge ist in den letzten Jahren bereits mehrmals erprobt worden. Die seit 2001 restaurierten Bauteile sind, obwohl die angewandten Verfahren anfänglich noch in den Kinderschuhen steckten, heute in einem sehr stabilen Zustand.

Das in den letzten 15 Jahren gewonnene Wissen wird zunehmend auch von außen beachtet. Bauhütte und Münsterbauleitung werden in vielen Fällen als Kompetenzzentrum um Unterstützung angefragt. Dabei geht es nicht „nur“ um Fragen der Steinkonservierung, um Bautechnik oder Rezepturen, sondern auch um Denkansätze und Gesamtkonzepte. Es kann dabei durchaus vorkommen, dass Fragen zum Gerüstbau, zur Infrastruktur oder organisatorische Belange in die Diskussion einbezogen werden. Wichtig ist für unsere Partner, dass wir sehr klare Vorstellungen haben, wo es Sinn macht, im gesamten Netzwerk nach einem geeigneten Team Umschau zu halten und wo vielversprechende interdisziplinäre Ansätze liegen.

Wie kann das erworbene Know-How auch in Zukunft erhalten und, noch wichtiger, der Allgemeinheit zugänglich gemacht werden? An Baudenkmalern mit großem Handlungsbedarf fehlt es bekanntlich nicht. Wenn die Berner Fachleute in den letzten Jahren

häufiger auf fremden Bauplätzen als BeraterInnen zugegen waren, stellte sich oft die grundlegende Frage, inwiefern die am Münster gewonnenen Erkenntnisse und Fähigkeiten sich auf andere Situationen und andere Materialien übertragen lassen. Dazu ist eine vorläufige Antwort möglich: Produkte und Rezepte lassen sich meist nicht 1:1 übertragen. Was hingegen weitergegeben werden kann, ist die Haltung und die Erfahrung, die befähigt, für andere spezielle Aufgaben ähnliche Überlegungen anzustellen und angemessene Methoden zu entwickeln. Für die Zukunft ist es für uns daher sehr wichtig, den fachlichen Austausch weiter zu pflegen, neue Mittel und Methoden aufzugreifen und auf die Verwendbarkeit am Bau hin zu überprüfen.

Das Konzept des Bauservices umfasst auch angewandte Forschung. Referenzflächen zu bestimmten Maßnahmen werden nach dem Kriterium der Praktikabilität angelegt und teilweise über längere Zeiträume wissenschaftlich begleitet. Die Erkenntnisse solcher Anstrengungen fließen direkt in die Praxis ein. Die angewandten Techniken werden somit ständig weiter entwickelt. Im Verlauf der Jahre ist so ein beträchtlicher Erfahrungsschatz heran gewachsen.

### Unspektakulärer Bauservice

Der umfangreiche Katalog von Maßnahmen, der mit dem neuen Ansatz der Baupflege einhergeht, beginnt bei der Bestandsaufnahme für umfangreiche Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen und reicht bis hinunter zu Arbeiten, die gemeinhin nur als einfache Reparaturarbeiten angesehen werden. Dazu zählen viele immer wiederkehrende Maßnahmen, wie z.B. das Schließen von Rissen im Stein, das Abdichten aller „Flachdächer“ z.B. an der Besuchergalerie am Turm und aller Hoch- und Seitenschiffgalerien, das Anbringen diskreter Schutzabdeckungen und kleiner Wasserabweisbleche, das Flickern von Blechabdichtungen, das Entstopfen von Fallrohren und das regelmäßige Reinigen der Steinoberflächen. Der unspektakuläre Charakter vieler solcher Arbeiten ändert nichts daran, dass diese für das Bauwerk essentiell wichtig sind. Vergessen wir nicht, dass viele größere Schadensprozesse harmlos erscheinende Ursachen haben. Hierzu zwei Beispiele:

#### Beispiel 1:

##### *Wassereintrich im südlichen Seitenschiff 2011*

Im Januar 2011 fielen große Mengen von Schnee, die später durchnässten und abrutschten. Beim anschließenden Tauwetter staute sich das Wasser am vereisten Dachrand und lief durch Ziegel und Unterdach in den Dachstuhl. An einigen Stellen tropfte es auf das



**Abb. 11:** Zeit gewinnen für die Planung der anspruchsvollen Gesamtanierung des Turmhelms: Notmaßnahmen 2001, 2003/04 zusammen mit einem Bergführer



**Abb. 12:** Provisorisches Schließen offener Fugen mit einem Fugenmörtel auf der Basis von reinem Edelmalk (2003)

Gewölbe oder strömte unter die Bleiabdichtungen der Galerien. Dieses Phänomen ist von beheizten, schwach geneigten Schrägdächern her bekannt. Obwohl das Ereignis nur aufgrund einer unüblichen Wetterlage auftrat, zeigten die Wassereinträge einen deutlichen konstruktiven Mangel der Dachbedeckung auf. Dieser Mangel war bereits seit längerer Zeit bekannt, das Problem war jedoch in den zurückliegenden Wintern nie in diesem Ausmaß aufgetreten. Dank der am Berner Münster seit Jahren gepflegten systematischen Baubeobachtung wurde das einmalige, schwer vorhersehbare Schadensereignis schnell erkannt und prioritär behandelt, sodass rechtzeitig die erforderlichen Gegenmaßnahmen ergriffen werden konnten.

#### Beispiel 2:

##### *Fugen Turmhelm, Notmaßnahmen 2003–2006*

Der Turmhelm ist in 63–100 m Höhe besonderen Witterungseinflüssen ausgesetzt. Wärme und Kälte, einseitige Sonneneinstrahlung, mechanische Beanspruchung durch das Glockengeläute, Wind und Regen haben dazu geführt, dass sich die beim Helmaufbau 1890 mit einer Sand-Zementmischung geschlossenen Fugen stark abgebaut hatten. Bei einer Zustandskontrolle wurden 2001 Schäden mit bis zu 10 cm tief klaffenden Fehlstellen entdeckt.

Ziel einer ersten Notmaßnahme war es, die Schadstellen ohne Gerüst, also im Seil hängend, zu schließen. Dies bedingte die Arbeit mit einem möglichst einfach zu verarbeitendem Mörtel, welcher keine große Nachpflege braucht. Dazu wurden im Vorfeld der Sanierung in der Münsterbauhütte Versuche mit verschiedenen Rezepturen und Techniken durchgeführt und auf ihre Verarbeitbarkeit und Haftung überprüft. Peter Völkle, damals noch an der Münsterbauhütte Ulm, regte an, Versuche zum Einbringen des Mörtels mittels einer Pumpe sowie einer Zahnpastatube als Düse durchzuführen. Diese zweihändige Methode wurde zu einer einhändig bedienbaren Lösung weiterentwickelt, bei der aufgeschnittene Zahnpastatuben auf Kittauspresspistolen geschraubt wurden. Die mit einfachsten Mitteln durchgeführte Notmaßnahme hat bis zu der fast ein Jahrzehnt später angepackten Restaurierung ihren Zweck vollauf erfüllt (Abb. 11–12).

#### Verhältnismäßigkeit

Mit der neuen Einstellung zur Bauwerkserhaltung und Pflege haben sich auch neue Fragestellungen ergeben. Fiel der Entscheidung in der Vergangenheit in der Regel zu Gunsten einer idealisierten dem Zeitgeist angepassten Maßnahme aus, so hat der Steinrestaurator heute die Wahl über eine breite Palette von



**Abb. 13: Zeitzeugnis: Der sichtlich bereits früh verrutschte Schlussstein beim Fenster 90 am nördlichen Seitenschiff wurde nicht gerichtet, sondern in situ restauriert (Münsterbauhütte 2004)**



**Abb. 14: Detail Schlussstein: Vorzustand**



**Abb. 15: Detail Schlussstein: Schlusszustand nach der Restaurierung**



**Abb. 16** „Baumangel“: Die Schaftstücke der Brüstungsfiale über dem Chor (Zuger Sandstein) wiesen im Verbund mit den umgebenden Brüstungsmaßwerken aus Oberkirchener Sandstein starke Risse auf.



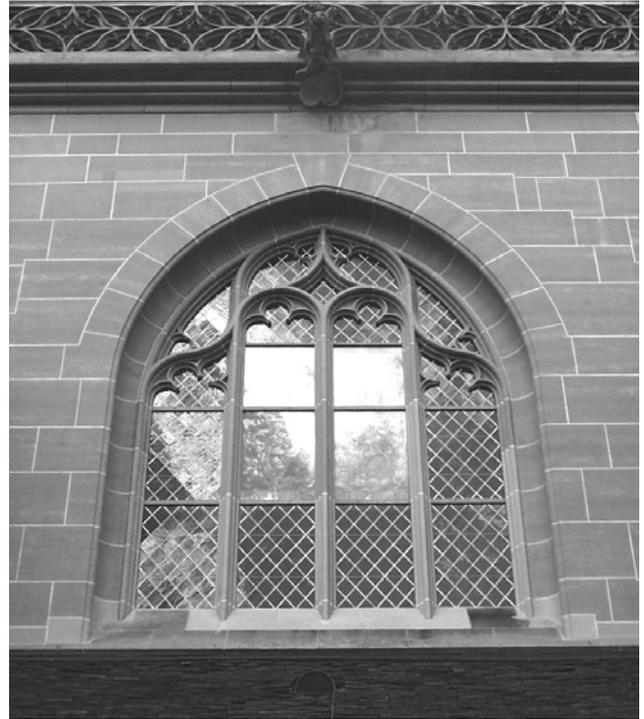
**Abb. 17:** Ersatz der Werkstücke aus Zuger Sandstein mit Oberkirchener Sandstein. So kann eine bessere Stabilität des Bauteils gewährleistet werden.

Lösungen. Sie reichen von Methoden der zurückhaltenden Konservierung bis hin zum täuschend echten Steinimitat, von der patinierten, aber technisch instand gesetzten Oberfläche mit Altersspuren und Flickern bis hin zum mittels Steinaustausch erneuerten Bauteil. Heute wird am Berner Münster nur noch selten darüber diskutiert, ob ein Bauteil ersetzt oder erhalten werden soll. Aber wie weit sollen die Spuren seiner Geschichte und seines Zerfalls repariert und kaschiert werden? Ist es auch möglich, ein Bauteil ungeschminkt, gegebenenfalls mit Fehlstellen als Endresultat zu präsentieren? Darf handwerkliche Meisterschaft überhaupt noch ausgelebt werden? Wo ist die Zeugenschaft der angetroffenen Substanz besonders wichtig, und worin besteht diese? Als Beispiel für die Schwierigkeit von Entscheidungen sei auf jene historischen Bauteile hingewiesen, denen die Eile und Behelfsmäßigkeit ihrer Erstellung deutlich anzumerken ist (Abb. 13–15). Solche Spuren haben nicht nur eine andere Qualitäten sondern zeigen auch auf, dass es auch in der Vergangenheit Brüche und Qualitätsunterschiede in der Art der Ausführung am Bau gab. Aus rein ästhetischen Gründen werden „Baumängel“ am Berner Münster in der Regel nicht behoben. Denn gerade solche aus der Reihe fallenden Teile sind als Zeitzeugnisse von Bedeutung. Sind an der-

artigen „mangelhaften“ Bauteilen nun aber Schäden zu finden, die nicht durch Pflege und Konservierung in den Griff zu bekommen sind, tauchen neue Unsicherheiten auf: Sind die Bereiche in ihrer schadhafte, schlechten Form zu rekonstruieren? Wie kann verbessernd eingegriffen werden, sodass Schäden in der Zukunft vermieden werden (Abb. 16–17)?

Vor allem der Umgang mit solchen Bauteilen kann aus Unsicherheit oder Unkenntnis heraus auch zu Diskussionen führen. Manches mag in diesem Zusammenhang vielleicht fragwürdig erscheinen und die Grenzen von Restaurierungen generell aufzeigen (Abb. 18–19). Wir versuchen jedoch, darüber nicht aus den Augen zu verlieren, dass jede Form von Restaurierung der Schuttmulde vorzuziehen ist.

Die Reversibilität einer Maßnahme und die Funktion von Ergänzungen als Opferschicht und Schutz des Bestandes sind stichhaltige Argumente für eine Restaurierung, ohne dabei die Ästhetik des Bauteils in den Mittelpunkt zu stellen. Das Bauwerk soll letztlich so erhalten und gepflegt werden, dass weder seine Patina noch seine Fehlerhaftigkeit als Störung der gesamten Erscheinung wahrgenommen, sondern vielmehr als Selbstverständlichkeit und erhaltenswerter Baubestandteil gesehen werden (Abb. 20–22).



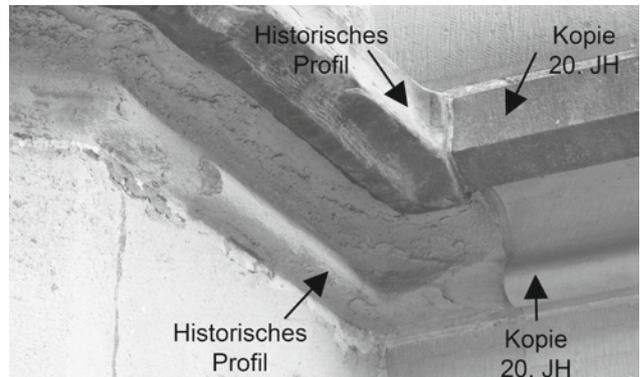
**Abb. 18 und 19: Obergadenfenster Nord, Totalersatz durch die Münsterbauhütte 1995**

**Abb. 18: Vorzustand aus den 1490er Jahren**

**Abb. 19: Zustand nach der Renovation von 1995, mit einhergehendem Verlust sämtlicher Zeugnisse historischer Bautechnik**



**Abb. 20: Rekonstruktion: Beim Erneuern aller Kaffgesimse um 1900 wurde an der nordwestlichen Gebäudeecke ein einziges Originalgesims (15. Jh.?) ausgelassen.**



**Abb. 21: Anschluss des originalen Gesimses an das neugestaltete Gesims aus dem 20. Jahrhundert (links altes feingliedriger Profil, rechts im Bild neueres Profil)**



**Abb. 22: Aufmörtelung des Profils durch die Münsterbauhütte 2013 (Orientierung am Bestand)**

## 5 Aktuelle Herausforderungen

Inzwischen hat sich die Gewichtung zwischen der Konzeption von Maßnahmen, der Planung und Logistik und dem reinen Baubetrieb verschoben. Die baulichen Interventionen schlagen in Zukunft weniger zu Buche, die Baustelle wird weniger sichtbar. Die Arbeit wird somit unauffälliger und mit deutlich weniger Pathos vollzogen. Vor diesem Hintergrund lassen sich vor allem auch große Bauvorhaben nachhaltig planen.

Im Hinblick auf die Interventionsplanung haben sich zwei Grundhaltungen herauskristallisiert:

1. Agieren statt reagieren. Bei progressiven Schadensbildern lohnt sich die schnelle Intervention gleichsam als lebensrettende Maßnahme. Je früher interveniert wird, desto weniger aufwendig ist es, den Schadensprozess in den Griff zu bekommen, und desto niedriger sind die Kosten.
2. Zeit lassen heisst Zeit gewinnen. Fast immer werden unter Zeitdruck und Hektik sehr tiefgreifende Maßnahmen geplant. Geduldige Planung mit einem ausreichenden Zeithorizont ermöglicht es hingegen, Unerlässliches von Verzichtbarem zu trennen, Interventionen zu minimieren. Ein aktuelles Beispiel hierfür ist die statische Ertüchtigung von Turmspitze und Turmhelm. Bei dieser war zunächst eine Außenarmierung durch ein Stahlkorsett gefordert. Erst eine für Außenstehende sehr lange Reflexionsphase bot die Möglichkeit, die notwendigen Abklärungen vorzunehmen, Zweitmeinungen einzuholen und schliesslich auf das Korsett zu verzichten.

Für die nächsten drei Jahre gibt es im Inneren des Münsters eine weitere große Aufgabe, bei der diese Haltung und Denkweise für das Bauwerk eine Rolle spielen wird: Die Restaurierung des Chores stellt nicht nur logistisch sondern auch methodisch eine Herausforderung dar, will man sich an das bewährte Schema des behutsamen Umgangs mit dem Münster halten (Abb. 23). Hierzu ein Textauszug von Cornelia Marinowitz:

*„In den letzten zwei Jahren konnten im Chor bereits Untersuchungen an den Schlusssteinen und Kappen durchgeführt werden. Sie haben einen großen Aufschluss darüber geben, wie umfangreich der Originalbestand in Bezug auf die Fassung aus der Bauzeit ist und in welchem Zustand sich diese befindet.*

*Das Chorgewölbe entstand als letztes Bauteil im Chor. Bis um etwa 1514 hatte der Chor kein Gewölbe, sondern war mit einer provisorischen Flachdecke abgeschlossen. Erst mit der Einwölbung 1515–1517 durch den Baumeister Peter Pfister fanden die Bauarbeiten dann ihr Ende. Die farbige Ausgestaltung des Chorgewölbes und seiner Schlusssteine wurden dem Berner Maler Niklaus Manuel Deutsch übertragen, was durch sein Signet im Gewölbe und durch Rechnungen nachgewiesen ist.<sup>2</sup>*

*Bereits Luc Mojon hat sich 1960 in seiner Monographie zum Berner Münster mit den außergewöhnlichen Schlusssteinen beschäftigt. Die 86 fast vollplastischen und büstenartigen Schlusssteine, einige davon*

<sup>2</sup> Dr. Ludwig Stantz: Münsterbuch. Eine artistisch-historische Beschreibung des St. Vincenzen Münsters in Bern, Bern 1865, S. 54.

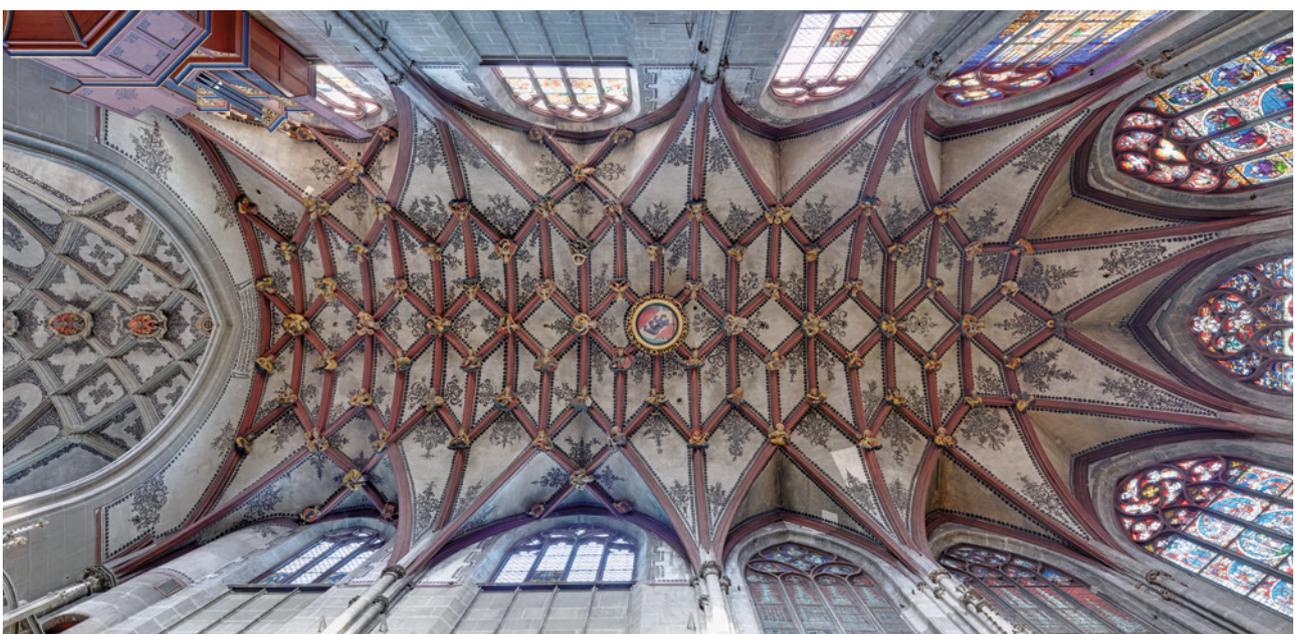


Abb. 23: Blick von unten ins Chorgewölbe (Foto: Nick Brändli, 2012)

auf einem Wolkenband schwebend, verkörpern den „Himmlichen Hof“. Da das Berner Münster während der Reformation alle seine Bildwerke verlor, sind die Schlusssteine des Chorgewölbes heute die einzige verbliebene figürliche und farbig gefasste Bauzier des frühen 16. Jahrhunderts.

Schon der erste genauere Blick auf die Schlusssteine brachte die Gewissheit, dass auch die originale Farbfassung von 1517 bis auf wenige Veränderungen erhalten ist. Besonders überraschte dabei der ungewöhnlich gute Erhaltungszustand. Durch die sehr starken Oberflächenverschmutzungen konnte das bisher von unten kaum erkannt und nicht beurteilt werden (Abb. 24).

Die Kappen sind ebenso wie die Schlusssteine bis auf wenige Ausbesserungen der Renovierung von 1910 in ihrem Erscheinungsbild von 1517 erhalten. Die weiss getünchten Kappenflächen tragen sehr schwungvolle und dünn gemalte Mauresken als Verzierung. Die Ornamente sind ohne jede Vorzeichnung, Pause oder Schablone frei aufgemalt und jede Kappe trägt ein anderes Motiv. Die schwarze Farbe war sehr dünn, fast lasurartig und ist dadurch zum Teil in den Frühschwundrissen verlaufen. Die Pinselansätze, Pinselbreiten sowie der Malduktus sind sehr gut sichtbar. Die Bemalung ist von großer Leichtigkeit und Frische.

Um nach der Bestandsaufnahme die notwendigen Maßnahmen und die dafür geeigneten Arbeitsschritte zu ermitteln, wurden an den Kappen und an den Schlusssteinen Arbeitsmuster angelegt (Abb. 25–26). Dabei stand die Reinigung der außerordentlich stark verschmutzten Oberflächen im Vordergrund. Staubablagerungen, Russ und Spinnenweben haben über die Jahrhunderte eine kompakte Schicht gebildet, die sich nicht mehr nur mit dem Pinsel entfernen lässt. Mit kleinen Wisch-ab-Schwämmen konnten die Verschmutzungen aber gut abgenommen werden, ohne dass dabei die „Patina“ verletzt wurde. Die Flächen wirken nach der Reinigung nicht „geputzt“. Die farbigen Ausbesserungen von 1910, die in den schwarzen Rankenmalereien teilweise zu finden sind, bleiben alle erhalten.

Die gleiche Vorgehensweise wird auch für die gefassten Schlusssteine zielgebend sein. Hier gibt es neben den stark auf der Oberfläche haftenden Verschmutzungen auch noch die farbigen Veränderungen, wie z. B. die Verbräunungen der Lüstrierungen, die nicht mehr rückgängig gemacht werden können.

Zielsetzung für die Erarbeitung des Restaurierungs- und Konservierungskonzeptes für die Chorgewölberestaurierung im Berner Münster sind zwei Gedan-



Abb. 24: Schlussstein: Evangelist Matthäus, während der Untersuchung 2012  
(Foto: Cornelia Marinowitz)

ken: weniger ist mehr und nicht alles was machbar ist, ist auch sinnvoll. Je weniger moderne Materialien jetzt auf die Oberfläche gebracht werden, desto weniger Probleme werden hoffentlich in Zukunft auftreten. Die Fassungen der Kappen und Schlusssteine haben 500 Jahre fast schadlos überdauert. Die Maßnahmen sollten sich daher respektvoll nur auf das absolut Notwendigste beschränken, das der Erhaltung des einmaligen Bestandes dient. Ästhetische Belange dürfen dabei getrost in den Hintergrund treten.“

## 6 Fazit

Das Ziel eines nachhaltigen Umgangs mit dem Denkmal bleibt es, anstelle der fortschreitenden Verwitterung eine kontinuierliche Werterhaltung des Bestandes in Gang zu setzen. In der täglichen Umsetzung bedingt dies eine Vielzahl von Maßnahmen und Methoden, die ineinander greifen und einander gegenseitig bedingen.



**Abb. 25: Gewölbekappe Chor: Zustand vor Anlegen des Reinigungsmusters**  
(Foto: Cornelia Marinowitz)



**Abb. 26: Gewölbekappe Chor: Zustand mit Reinigungsmuster**  
(Foto: Cornelia Marinowitz)

Anamnese und kontinuierliche Beobachtung des Gebäudes dienen dazu, die frühen Anzeichen eines Schadensverlaufs zu erkennen. Eine kontinuierliche Baupflege und ein durchdacht geplanter Bauunterhalt sind wichtige Grundlagen zur Schadensprävention und Durchführung unumgänglicher Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen. Über dem Spezialistentum muss eine übergeordnete Sicht aufs Ganze bestehen.

Wir werden dessen Bedürfnissen am besten gerecht, wenn wir nicht fixe Standards pflegen, sondern versuchen, Methoden spezifisch weiter zu entwickeln und anzupassen und dabei unseren Horizont ständig zu erweitern. Wir setzen weiterhin auf einen Verband von ähnlich denkenden und ähnlich handelnden Personen mit hoher Fachkenntnis und Kommunikationsbereitschaft.

## Anwendungsbeispiele und Entwicklungen aus der Praxis

Referent: Peter Völkle

Am Beispiel der Turmrestaurierung, die seit 2005 am Achteck und am Turmhelm durchgeführt wird, sollen hier aus der Vielzahl der entwickelten und eingesetzten konservatorischen und restauratorischen Maßnahmen die wichtigsten vorgestellt werden. Dabei ist zu betonen, dass im gesamten Restaurierungsablauf die eingesetzten Maßnahmen immer wieder neu diskutiert und bewertet werden, um die jeweils beste Lösung zu finden. So kann es durchaus vorkommen, dass eine Methode in einem gut zugänglichen Bereich – etwa auf der Höhe einer Umgangsgalerie – problemlos umgesetzt werden kann, während sie im Bereich des exponierten Turmhelms einer Anpassung bedarf. Dies ist vor allem bei den Maßnahmen wichtig, die später einen höheren Unterhalt benötigen.

### 1 Die Steine und ihre Schadensbilder

Wie jedes Bauwerk mit einer langen Bauzeit besteht auch das Berner Münster aus den unterschiedlichsten Steinsorten. Insbesondere am 101 Meter hohen Turm mit seinem spätmittelalterlichen Unterbau und dem Aufbau des späten 19. Jahrhunderts sind die wichtigsten am Münster vorkommenden Steinmaterialien vertreten. Im Mittelalter wurde Berner Sandstein aus mehreren lokalen Steinbrüchen verbaut. Einige Varietäten stammen aus dem alten Ostermundiger Steinbruch, andere vom Gurten, dem Berner Hausberg. Die Steine aus diesen Steinbrüchen sind hinsichtlich Farbe, Körnung und Verwitterungsbeständigkeit sehr unterschiedlich. Lange gab es keine brauchbare Systematik des Berner Sandsteins, die im Hinblick auf die Baustelle brauchbare Erkenntnisse geliefert hätte. In den letzten Jahren haben Peter Völkle und der Geologe Per Storemyr in einem Forschungsprojekt die Geschichte der teils längst aufgegebenen Steinbrüche aufgearbeitet. Trotz der neuen Erkenntnisse bleibt es schwierig, die einzelnen Varietäten aufgrund ihrer optischen, haptischen und technischen Eigenschaften zu unterscheiden.

Für den Turmausbau wurde ab 1889 Obernkirchener Sandstein eingesetzt. Dieses weitherum bekannte Material aus der Gegend von Hannover hat einen hohen Quarzanteil und ist daher verwitterungsstabiler als der Berner Sandstein. Abgesehen von der Verfügbarkeit durch den Eisenbahntransport war in Bern sicher August Beyer für die Wahl des Obernkirchener Steins verantwortlich. Beyer hatte bereits in Ulm mit



Abb. 1: Schadensbilder an einem Maßwerk aus Gurten-sandstein. Unteres Achteck, um 1520

diesem Material gebaut. In Bern wurde (und wird) das Material nur für hochwertige Bauteile verwendet, und zwar vorwiegend für Werkstücke, bei denen große Oberflächenabwicklungen der Witterung ausgesetzt sind.

Ebenfalls ab 1889 kam in Bern der so genannte Zuger Sandstein in großen Mengen zur Anwendung. Der Transportweg dieses Materials war kürzer, der Preis günstiger. Der Zuger Sandstein wurde im Massenquaderbau eingesetzt, der sich durch verhältnismäßig große Volumen und kleine Oberflächen charakterisieren lässt. Dabei ist er weniger den Witterungseinflüssen ausgesetzt. In Bern sind am Turm die geraden Wandflächen und die einfache Profile allesamt aus Zuger Sandstein angefertigt.

So unterschiedlich die Steinmaterialien und die Einbausituationen sind, so unterschiedlich sind die Schadensbilder. Die einzelnen Steinsorten weisen typische Schadensbilder auf. Sie werden jedoch auch von Faktoren wie dem geologischen Gefüge im Steinbruch, der Qualität der abgebauten Schicht oder der Einbausituation überlagert. Je nach Qualität



**Abb. 2:** *Stark geschädigte Turmhelmstrebe aus Zuger Sandstein aus der Zeit der Turmaufstockung um 1890.*



**Abb. 3:** *Nach einem starken Regenfall bleibt der Bereich unter der Krabbe aus Obernkirchener Sandstein zunächst trocken. Genau in diesem Bereich zeigen sich im Zuger Sandstein die stärksten Schäden, meist Schalenbildungen und oberflächliche Verwitterungsbilder.*

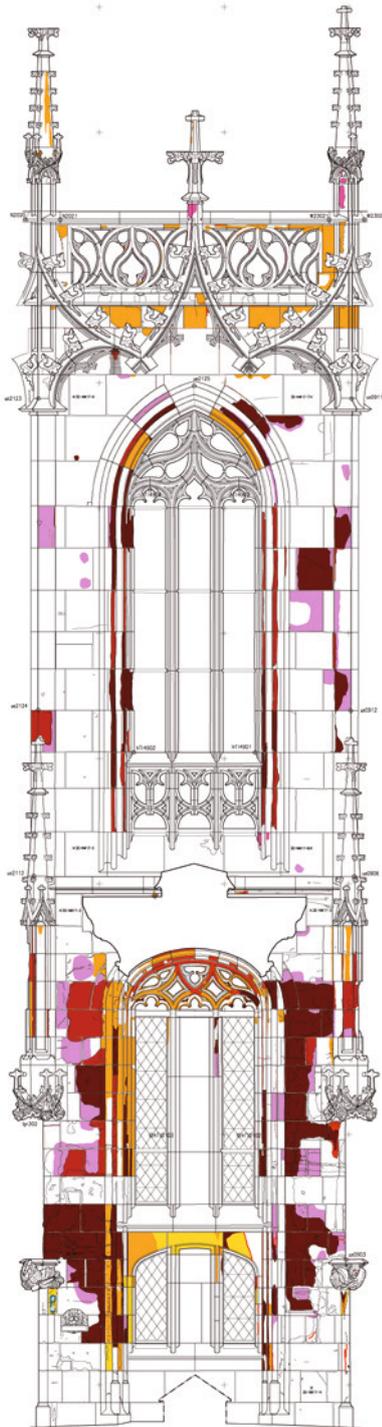
des abgebauten Steins und seiner Exposition können sich die Schadensbilder stark unterscheiden. Bei den wichtigsten Verwitterungsarten treten folgende Hauptphänomene auf:

- Absanden und Abschuppen,
- Schalenbildung,
- Abbröckeln und
- Reliefbildung.

Das typische Schadensbild für Berner Sandstein ist Absanden (Abb. 1). Eine kombinierte Einwirkung von Feuchtigkeit und Sonneneinstrahlung kann bei diesem Material jedoch auch zu Schalenbildungen führen. Der Obernkirchener ist insgesamt sehr verwitterungsstabil – so stabil, dass auf vielen Werkstücken die originalen Bearbeitungsspuren gut erhalten sind. Doch auch bei diesem Material können expositionsabhängig tiefere Verwitterungsbilder auftreten, besonders auf der Südostseite. Oft sind auch schwer erklärbare Verwitterungsbilder anzutreffen, deren Ursache weder mit der Steinqualität noch mit der Einbausituation erklärt werden kann. Hier wird ein Zusammenhang mit in der Bauzeit prophylaktisch aufgetragenen Konservierungsmitteln vermutet (siehe unten). Beim Zuger Sandstein sind Schalenbildungen das häufigste Schadensphänomen. Überall wo das Material durchfeuchtet wird und langsam austrocknet, können Schalen entstehen, die sich in einer Tiefe von 2–3 cm ablösen (Abb. 2). Als Ursache stehen Schadstoffeinlagerung, thermische Dilatation (Wärmedehnung), hygri sche Dilatation (Dehnung infolge Durchfeuchtung) sowie Frosteinwirkung im Vordergrund (siehe unten).

Die ausgeprägte plastische Durchbildung des Bauwerks bewirkt unterschiedlichste Geometrien und Expositionen. Deshalb wird der Stein an bestimmten Stellen mehr beregnet, an anderen Stellen trocknet er schneller aus. Dabei wandert Wasser kapillar von den feuchten in die trockenen Bereiche, löst und transportiert damit Salze und Schadstoffe. Dies erklärt das Paradox, warum trockene Stellen, wie etwa Bereiche unter Gesimsen, oft schneller verwittern als häufig beregnete Bereiche (Abb. 3).

Das Verständnis von Schadensprozessen endet deshalb nicht bei der Erfassung der Materialien und der Schadensbilder. Vielmehr muss das Gebäude als System verstanden werden, das auf Tageszyklen, Jahreszeiten, Witterungseinflüsse dynamisch reagiert. Für den Restaurator bedeutet dies, dass er den Schadenshergang gewissermaßen aus dem Zeitraffer heraus verstehen lernt.



### 01 Schadensbild Stein

<b>Absanden</b> 01.01	<b>Schuppen</b> 01.02	<b>Abblättern</b> 01.03	<b>Reliefbildung</b> 01.04	<b>Schalen</b> 01.05	<b>Bröckelzerfall</b> 01.06	<b>Fehlstellen</b> 01.07	<b>Fehlstellen durch mech. entfernen</b> 01.08
<b>Ausblühung, Salze</b> 01.09	<b>Verschmutzung</b> 01.10	<b>Schwarze Verfärbung</b> 01.11	<b>Schwarze Kruste</b> 01.12	<b>Organischer Bewuchs</b> 01.13	<b>Wasserläufe</b> 01.14	<b>Risse</b> 01.15	

**Abb. 4:** Schadenskartierung der nordöstlichen Achteckseite. An dieser Seite ist das Schadensausmaß des spätmittelalterlichen unteren Achtecks und des Aufbaus aus dem 19. Jahrhundert besonders augenfällig.  
(Plangrundlage: Wolfgang Fischer, Ing.-Büro für Photogrammetrie, Müllheim)

## 2 Bestandskartierung

Vor Beginn der Arbeiten wird jeweils eine Schadens- und eine Bestandskartierung durchgeführt. Für diese Arbeit steht als Grundlage ein Plansatz von fotogrammetrischen Plänen zur Verfügung. Die Erfassung erfolgt je nach Umständen von Hand auf Papier oder direkt auf dem Tablet-PC. Die Kartierungen werden digitalisiert und in eine Datenbank eingepflegt.

Bei der Bestandskartierung sind folgende Themen relevant: Materialien (Steine, Mörtel), Bearbeitung, Steinmetzzeichen und bautechnische Besonderheiten. Bei der Schadenskartierung werden Schadensbilder im Hinblick auf praxisrelevante Aussagen erfasst. Das Ziel besteht darin, Schadensprozesse nachvollziehbar zu machen, um die Ursachen zu beseitigen. Die Kartierung ist auch ein wertvolles analytisches Werkzeug, welches ein übersichtsmäßiges Verständnis des Bauwerks ermöglicht (Abb. 4). Parallel zu den Kartierungen werden Fotodokumentationen angelegt, welche den Vorzustand, die wichtigen Arbeitsschritte, Details am Bau und Befunde dokumentieren. Fotografiert wird digital und analog.

Die wichtigsten Befunde werden in eine Befunddatenbank aufgenommen, die in Zusammenarbeit mit Cornelia Marinowitz (Dipl.-Restauratorin FH) bearbeitet wird. Dabei wird versucht, die Befunde so zu typisieren, dass Zusammenhänge erkennbar werden. Für eine solche Aufgabe ist eine Datenbank prädestiniert. Als besonders hilfreich hat sie sich bei der Einordnung von Mörtelbefunden erwiesen. Über die beobachteten Schichtfolgen von unterschiedlich zusammengesetzten Mörteln (Stratigrafie) entsteht allmählich ein zusammenhängendes Bild von der Anwendungsgeschichte der Mörtel. Damit können aus diesem unspektakulären Material wertvolle Erkenntnisse im Hinblick auf die Bau- und Restaurierungsgeschichte des gesamten Bauwerks gewonnen werden.

### 3 Maßnahmen am Stein

#### 3.1 Reinigung

Bei der Reinigung kommen heute vorwiegend Niederdrucksandstrahl- und Mikrosandstrahlverfahren zur Anwendung. Den heute angewendeten Methoden gingen aufwendige Versuche beispielsweise mit Strahlmitteln voraus. Heute kommen als Strahlmittel je nach Verschmutzungsgrad und Stabilität der Oberflächen vor allem Granatsand und Calciumcarbonat zur Anwendung.

#### 3.2 Festigung

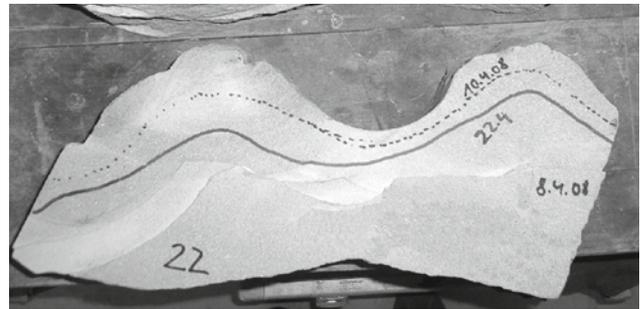
Nach der Reinigung erfolgt bei Bedarf die Festigung der Oberfläche mit Kieselsäureester (KSE). Der Entschluss für eine Festigung fällt einerseits aufgrund der Notwendigkeit, andererseits aufgrund der Machbarkeit an einer bestimmten Situation. Die Festigung ist ein anspruchsvoller Arbeitsschritt, bei dem verschiedene Voraussetzungen gewährleistet sein müssen. An der äußeren Gebäudehülle des Turmhelms wurde wegen der häufigen Schlagregen auf Festigungen verzichtet. Gemessen am angetroffenen stabilen Zustand war der Verzicht auf die Maßnahme das kleinere Risiko. Innen herrschte aufgrund viel stärkerer Schädigungen teilweise großer Bedarf. Durch eine Abdichtung mit Folien war das Festigen hier möglich. Für eine gelungene Festigung müssen über eine Dauer von drei Wochen ideale und stabile klimatische Bedingungen herrschen. Die Luftfeuchtigkeit muss 50–60 % betragen, es dürfen weder Beregnung, noch direkte Sonneneinstrahlung oder Frost auftreten. Die Temperaturen betragen idealerweise zwischen 10–20 °C. Am Turm musste aufgrund der Höhe und Exposition oftmals auf solche Bedingungen gewartet werden.

Materialien und Techniken des Festigens sind seit langem in umfangreichen Versuchsreihen getestet worden. Dabei ging es darum, einen guten Überblick über die verfügbaren Produkte und ihre Vor- und Nachteile zu erhalten. Es wurden viele auf dem Markt erhältliche KSE-Produkte getestet. Diese haben zwar alle eine ähnliche Zusammensetzung, aber sie unterscheiden sich deutlich in ihrer Wirkungsweise. Die Versuche ließen besonders bezüglich der Eindringtiefe und Reaktionsverhalten bei unterschiedlichen Bewitterungszuständen interessante Rückschlüsse zu. Für die Versuchsreihen wurden zunächst standardisierte, unverwitterte Prüfkörper hergestellt, bevor nach ersten Resultaten umfangreiche Versuche an ausgebauten, verwitterten Werkstücken vorgenommen wurden (Abb. 5 und 6).

Die Tests wurden von CSC Fribourg, Christine Bläuer und Bénédicte Rousset, begleitet und wissenschaft-



**Abb. 5:** Um eine möglichst objektive Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Festigersorten zu erhalten, wurden auch Versuche an unverwittertem Material vorgenommen. Die blaue Linie zeigt jeweils die Eindringtiefe des Festigers.



**Abb. 6:** An diesem Versuch auf einer verwitterten Steinoberfläche (Bernese Sandstein) zeigte sich, dass der Kieselsäureester etwa 5 Tage benötigt um die maximale Eindringtiefe zu erreichen.

lich untersucht. Sie befassten sich u. a. mit der Frage, ob und wie Eindringtiefen nachträglich nachgewiesen werden können. Mittels eines XRF- bzw. Röntgengeräts kann beispielsweise eine Zinnverbindung nachgewiesen werden, die dem Festiger als Katalysator beigemischt ist. Aus dem Vorhandensein des Katalysators kann auf die Eindringtiefe geschlossen werden. Im Hinblick auf die weitere Bearbeitung des gefestigten Materials muss die Reaktionszeit eines Festigers bekannt sein. Dies ist deshalb sehr wichtig, weil nahezu alle bei den nachfolgenden Aufmörtelungen und Schalensanierungen eingesetzten Restaurierungsmaterialien auf wässriger bzw. mineralischer Basis hergestellt werden.

Die wissenschaftliche Begleitung der Untersuchungen erfolgt nie aus Selbstzweck, sondern immer aufgrund konkreter Fragestellungen im Hinblick auf einen praktischen Nutzen. Die Zusammenarbeit mit CSC ist unter anderem deshalb besonders fruchtbar, weil die Mitarbeiterinnen dieses Unternehmens Verständnis für solche Rahmenbedingungen haben.

Folglich lassen sich die Erkenntnisse oft in der praktischen Arbeit unmittelbar umsetzen. Sämtliche zu testenden Materialien müssen sich zuerst in der Praxis als anwendbar erweisen, bevor sie im Labor einer weitergehenden Prüfung unterzogen werden.

Aufgrund dieser Untersuchungen wurde über einen längeren Zeitraum mit zwei Produkten gearbeitet und gute Ergebnisse erreicht. Seit 2011 traten jedoch Probleme mit hydrophoben Oberflächen auf. Der Ursache dieser Probleme konnte bis heute nicht vollständig auf den Grund gegangen werden. Hängen sie mit dem Feuchtehaushalt des Steins zusammen? Mit der Verträglichkeit zwischen der Anwendung und den klimatischen Verhältnissen? Mit alten Konservierungsmitteln? Mit einer Änderung der Festigerrezeptur? Oder gar mit mehreren, in Kombination auftretenden Ursachen? Leider ist es schwierig, bei den Festigerproduzenten Antworten auf diese Fragen zu erhalten, weil sie bei der Offenlegung der Inhaltsstoffe sehr zurückhaltend sind.

Zur Klärung der Ursachen für diese Problematik führen CSC und Münsterbauhütte derzeit in der Werkstatt und im Labor Festigungsversuche durch. In der Werkstatt werden größere Werkstücke in kontrollierter, klimatischer Umgebung beobachtet, im Labor werden Prüfkörper in der Klimakammer untersucht, wo vor allem die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit variiert werden. Diese Erfahrungen mit Festigern zeigen, dass ein vermeintlich gutes Verfahren unter bestimmten Umständen auf einmal nicht mehr funktioniert. Der Anwender ist dadurch gezwungen, zu reagieren. Es muss versucht werden, mit einfachen Mitteln der Ursache des Problems auf die Schliche zu kommen und geeignete Kontrollmechanismen zu entwickeln.

### 3.3 Verfüllen von Rissen, Sicherung von Schalen

Ein großes Arbeitsfeld ist die Sicherung von Schalen. Da der Ort der Intervention in der Tiefe des Steins liegt und die Verfüllungen sozusagen blind eingebracht werden müssen, haben Schalensanierungen höchsten Schwierigkeitsgrad. Voraussetzung für gutes Gelingen ist deshalb sehr viel Erfahrung.

Die Ursachen von Schalen liegen wie die meisten Degradationserscheinungen bei der spezifischen Kombination von Material, Exposition und Witterungseinwirkung. Oft werden Schalen von Spannungsrissen begleitet, welche die unter Oberfläche liegenden Verwitterungsbilder kennzeichnen. Am Zuger Sandstein beispielsweise entstehen Schalen oft unter einer völlig intakt erscheinenden Oberfläche. Diese Schalen werden durch das Abklopfen mit einem Bleiklopfer



**Abb. 7:** *Detektion von Schalen mit dem Bleiklopfer. Die mit weißer Kreide markierten Bereiche lassen sich bei der Reinigung der Oberfläche mühelos wieder entfernen.*

detektiert (Abb. 7). Diese Methode besticht durch ihre Einfachheit, das weiche Blei verursacht keine Verletzung des Steins und hat keine hörbare Eigenfrequenz. Deshalb wird nur der Stein in Schwingungen versetzt, welche gehört und gefühlt werden können. Der Bleiklopfer kommt bereits bei der Schadenskartierung zur Anwendung. Er bewährt sich aber auch bei der Ausführung.

Bei der Sanierung wird versucht, die Lockerzone hinter der Schale zu verfüllen und an den intakten Untergrund anzubinden. Das Füllmaterial muss daher gut fließen, um in die hintersten Ritzen zu gelangen und muss nach dem Aushärten diffusionsoffen bleiben. Für Füllungen bieten sich verschiedene Materialgruppen an: Harze, kieselensäure- und kieselolgebundene Massen, mineralische Massen, Fertigprodukte und Eigenmischungen. Auch im Hinblick auf diese Füllmaterialien für das Münster wurden Versuchsreihen durchgeführt. Die Überprüfung fand zunächst an standardisierten Prüfkörpern mit künstlichen Rissen statt (Abb. 8), anschließend erfolgte die Überprüfung

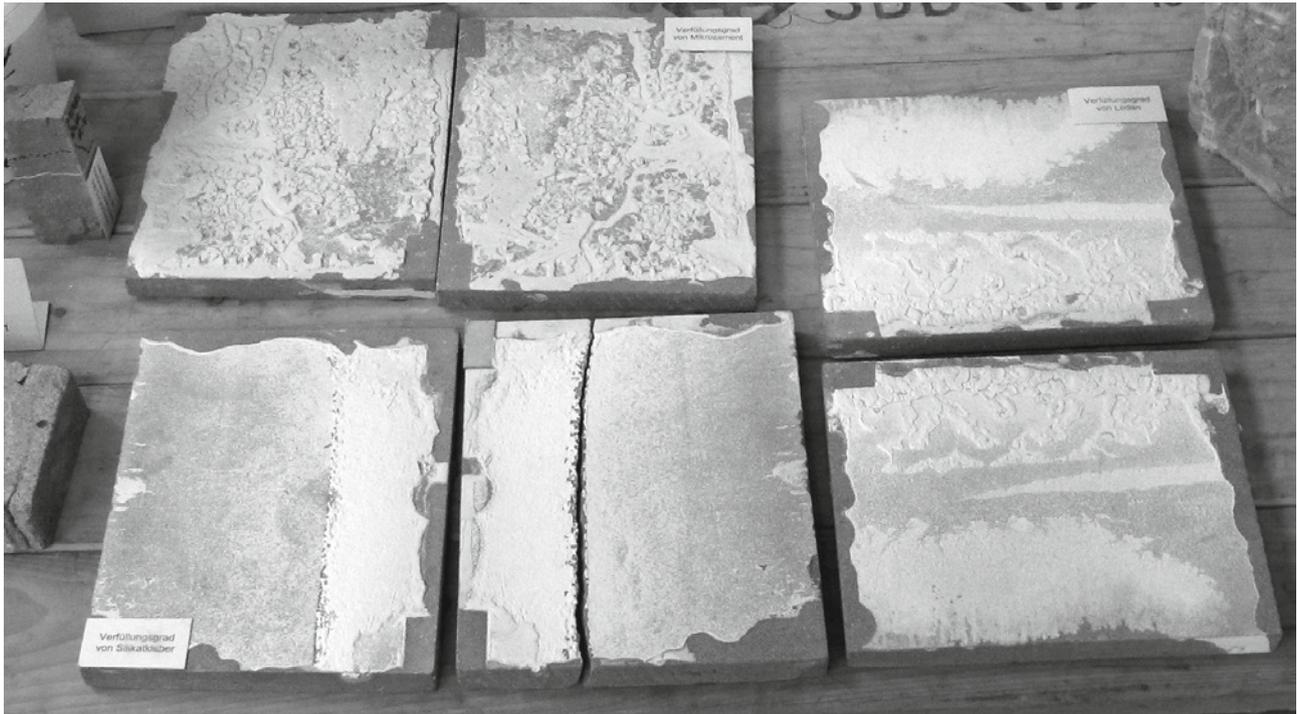


Abb. 8: Überblick über den Füllgrad verschiedener Injektionsmaterialien. Diese wurden zwischen zwei Sandsteinplatten eingepresst und nach dem Auseinandernehmen überprüft.

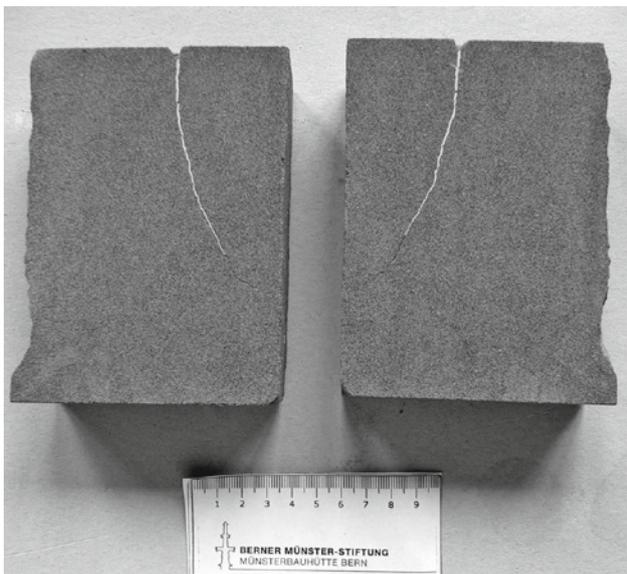


Abb. 9: Dieser Riss wurde mit Mikroazement verpresst und anschließend aufgesägt, um die Eindringtiefe zu überprüfen. Risse bis etwa 0,3mm können verfüllt werden.

der Methoden an verwitterten, ausgebauten Werkstücken. Die Prüfkörper wurden nach den Versuchen jeweils aufgeschnitten und analysiert (Abb. 9).

Im Verlauf der Versuche hat sich eine Suspension aus Mikroazement, abgemagert mit Kalziumkarbonat, als ideales Füllmaterial erwiesen. Mit dem Mischverhältnis der beiden Bestandteile können Klebe-

kraft und Härte eingestellt werden. Die Mischung ist bei der Verarbeitung unempfindlich gegen eindringendes Wasser. Dies ist vor allem im Vergleich zu kiesel säure gebundenen Füllmaterialien ein großer Vorteil. Das Injektionsmaterial hat hervorragende Fließeigenschaften. Die Münsterbauhütte verwendet eine eigene Rezeptur, deren Rohstoffe einzeln beschafft werden können. Das Verfahren wird seit 2006 mit Erfolg eingesetzt, es kann somit auf sieben Jahre Erfahrung zurück geblickt werden. Auch am Achteck und Turmhelm wurden umfangreiche Verfüllungen vorgenommen.

Das Verfahren bereitet keine Probleme, wenn die Arbeiten sauber ausgeführt werden. Sehr wichtig ist jedoch die Vorbehandlung der Schalen. Diese werden bei Bedarf mit 4mm-Löchern angebohrt, die für die Injektion und ggf. für Armierungen verwendet werden. Die Injektionsöffnungen und die Risse müssen penibel von Staub und Lockermaterial befreit werden, indem sie zuerst mit Druckluft ausgeblasen, anschließend mit Wasser und Spritzen ausgespült werden (Abb. 10). Ab einer gewissen Höhe wird jede Schale mechanisch gegen Absturz gesichert. Als Armierung kommen 2mm Edelstahl-Gewindestangen zum Einsatz.

Auch bei der Applikation sind vielfältige Erfahrungen in das heutige Verfahren eingeflossen. Insbesondere bei der Abdichtung von Rissen und dem Anbringen

der Injektionshilfen kommen verschiedenste Materialien und Techniken wie Heißleim, Latex und Lehm zur Anwendung (Abb. 11). Wie so oft hat sich ein „primitives“ Mittel, nämlich der Lehm, als besonders praktisch erwiesen: Er ist einfach anzubringen und zu entfernen und haftet auf jedem Untergrund (Abb. 12). Er ist allerdings nicht brauchbar, wenn mit Druck injiziert wird. In diesen Fällen kommt noch immer der Heißleim zur Anwendung, mit dem ursprünglich gearbeitet wurde.

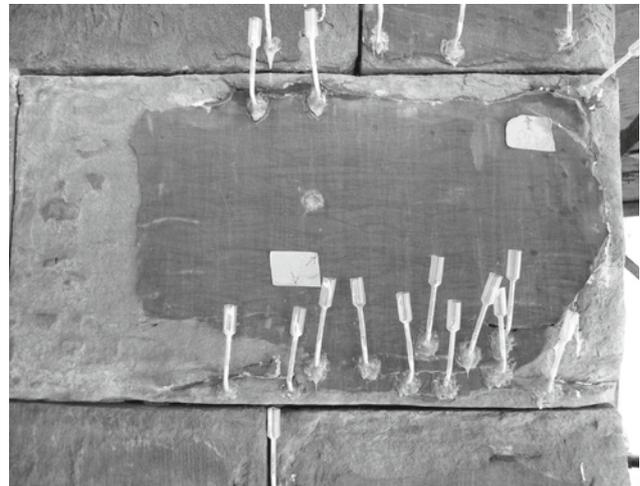
Die Entwicklung der Verfülltechnik ist typisch für die meisten am Münster entwickelten Methoden. Mit Versuchen unter idealen Bedingungen in der Werkstatt werden die Grundlagen einer Technik erforscht. Mit der Anwendung auf der Baustelle wird eine Methode zur Anwendungsreife weiter entwickelt. Dies verlangt in ganz besonderem Maß den Willen des Ausführenden, ein gutes Ergebnis zu erlangen. Wie so oft sind es die Freude, das Interesse und das Engagement der Mitarbeitenden, welche sich für ein gutes Resultat verbürgen.

### 3.4 Aufmörteln

Der Entscheid, Fehlstellen am Bauwerk mit Aufmörtelungen zu restaurieren, stand im Zentrum des Paradigmenwechsels, welcher im Jahr 2000 mit der Restaurierung der damaligen Eckfiale Westwerk Süd vollzogen wurde. Das erste Know-How wurde vom Restauratorenpaar Andreas Walser und Kathrin Durheim eingebracht. Sie stellten ihre Erfahrungen, ihre Rezepturen und ihr Wissen großzügig zur Verfügung. Damit konnte am Berner Münster auf eine Grundlage zurück gegriffen werden, die sich seit Jahrzehnten bewährt hatte. Wesentlich dabei ist der Grundsatz, dass jede Steinsorte gemäß ihrer spezifischen Eigenarten spezifisch behandelt wird, und dass Ergänzungsmörtel mit spezifischen Rezepturen angewendet werden. Bereits zu Beginn wurden hier erste Versuchsreihen unter Begleitung von Christine Bläuer durchgeführt. Wichtig war damals die Erkenntnis, dass der Wassertransport im Mörtel ähnlich wie im Stein funktionieren muss. Sie bewirkte, dass Mörtelrezepturen angepasst wurden, um das kapillare Saugverhalten und die Dampfdiffusion zu optimieren. Bis heute wurden die Mörtel in mehreren Schritten weiter verbessert. Bei großen Fehlstellen wird mit zwei verschiedenen Mörteln gearbeitet: einem groben Kernmörtel und einem feinen Deckmörtel, der in einer Dicke von ca. 1 cm aufgebracht wird. Der grobe Mörtel erlaubt das Aufmodellieren selbst großer und tiefer Fehlstellen. Er kann bis zu Tiefen von 5–8 cm appliziert werden und härtet sehr gutmütig aus, d.h. ohne Bildung



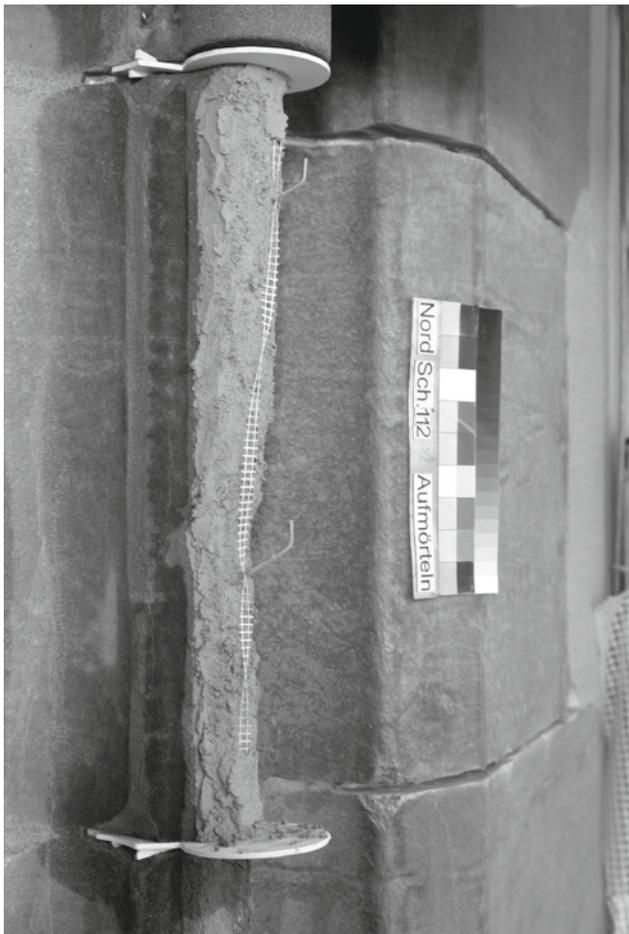
**Abb. 10:** *Sehr wichtig ist die Reinigung des Bohrloches vor der Injektion.*



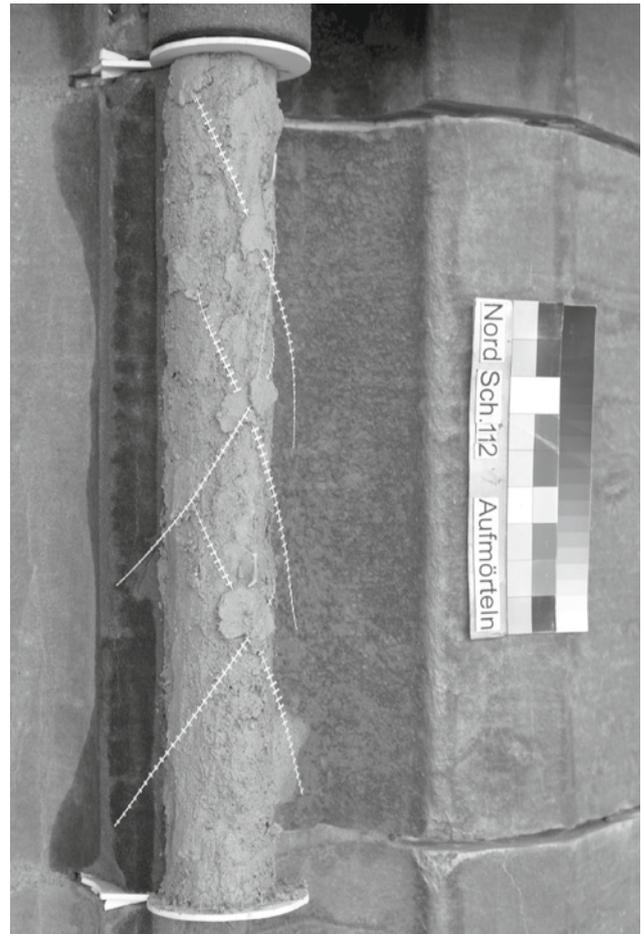
**Abb. 11:** *Anpassen der Applikationstechnik am Bau. Für die ersten Versuche wurden Pipetten mit Heißkleber auf die zu verfüllenden Schalen geklebt.*



**Abb. 12:** *Inzwischen werden die Injektionen meist über Trinkhalme, befestigt mit Ton, durchgeführt. Eine einfache aber sehr effektive Methode wenn ohne Druck verfüllt wird.*



**Abb. 13: Aufmörteln eines Rundstabes: Armierung mit 3 mm Gewindestangen (rostfrei), verbinden der Armierungen untereinander mit einem Streifen Glasfasergewebe**



**Abb. 14: Die grobe Form ist bereits mit Kernmörtel ergänzt, die Armierungsfäden aus Glasfasergewebe werden in den Deckmörtel weitergeführt um die beiden Mörtel mechanisch zu verbinden**

von Schwundrissen. An größeren Fehlstellen ist es aus Gründen des Aufwandes bisweilen sinnvoller, Natursteinvierungen einzusetzen. Der Deckmörtel soll Eigenschaften besitzen, die der Steinoberfläche möglichst ähnlich sind.

Bei den Aufmörtelungen werden nur eigene Mischungen und keine Fertigmörtel verwendet. Letztere verwerfen wir nicht per se. Der Grund liegt vielmehr darin, dass wir im Sinne einer nachhaltigen Restaurierung unseren Nachfolgern möglichst genaue Rezepturen überliefern wollen, welche auch die Chance bieten, weiterverwendet oder angepasst zu werden. Bei externen Baustellen kommen deshalb auch Fertigmörtel zum Einsatz, u. a. weil diese verfügbar sind, mit geringerem Aufwand durch Fremdfirmen verarbeitet werden können und insgesamt gute Resultate ermöglichen. Die am Münster verwendeten Mörtel hingegen können nur mit großer Erfahrung in der gewünschten Qualität verarbeitet werden.

Aufmörtelungen werden mit Edelstahl-Gewindestangen 2–3 mm armiert, dünne Aufmörtelungen

gelegentlich auch mit Schrauben. Die Armierungen werden in kleine Bohrlöcher gesteckt, an statisch beanspruchten, z. B. überhängenden Situationen können Armierungsstangen auch eingeklebt werden. Die Gewindestangen können als Verbindungspunkte zum Mauerwerk untereinander mit Edelstahldraht oder Glasfasernetz (Putznetz mit 4 mm Maschenweite) verbunden werden. Damit kann die innere Stabilität der Aufmörtelungen verbessert werden. Außen am Turm wurden alle Aufmörtelungen konsequent armiert, mit dem Ziel, eine möglichst hohe Absturzsicherheit zu gewährleisten.

Bei der Applikation des Mörtels wird zuerst der Kernmörtel mit dem Spachtel aufgetragen. Sobald dieser beginnt abzubinden, wird er durch Abkratzen aufgeraut und der Deckmörtel aufgebracht, sodass das gesamte Paket vom vorhandenen Wasserreservoir profitiert. Die Oberfläche wird durch Abkratzen in die definitive Form gebracht. Durch Abtupfen mit einem Mikroporenschwamm wird die noch feuchte Oberfläche anschließend ausgemagert (Abb. 13–15). Da-



**Abb. 15: Fertige Mörteloberfläche, abgetupft mit dem Mikroporenschwamm**

mit wird einerseits eine Sinterschicht vermieden, die durch Anreicherung des Bindemittels entstehen kann. Andererseits entsteht so die Oberfläche, welche dem Sandstein sehr ähnlich ist. Die Aufmörtelungen müssen nun feucht gehalten und vor der schnellen Austrocknung, dem gefürchteten „Verbrennen“, geschützt werden. Unsere eigenen Mischungen sind nicht vergütet, daher müssen sie mit größerem Aufwand nachbetreut werden. Dieser Aufwand wird durch die hervorragende Qualität des Schlussresultats gerechtfertigt. Die Oberflächen werden nach dem Aushärten mit Silikatkreiden oder Farblasuren retuschiert bzw. patiniert.

#### *Wissenschaftliche Begleitung*

Am Turm waren in Verbindung mit Aufmörtelungen auch Spezialprobleme zu lösen. Es waren beispielsweise unübliche Schadensbilder wie feine Schalenbildungen im Obernkirchener Sandstein zu beobachten, bei den hier aufgetragenen Mörteln traten schwarze Verfärbungen auf, teilweise bildeten sich

an der Oberfläche feine weiße Beläge. Die Ursachen dieser Probleme wurden CSC zur wissenschaftlichen Untersuchung übergeben. Hierzu zitieren wir Christine Bläuer, CSC Fribourg:

*„Ein insbesondere bei der Turmhelmrestaurierung, aber auch schon früher, beobachtetes Problem sind unübliche Schäden am Obernkirchener Sandstein. Diese zeigten sich in Form von millimeterdünnen, oberflächenparallelen Schalen oder durch Anreicherungen von braunem Material in einer Oberflächzone oder in oberflächlichen Gefügeauflockerungen, welche manchmal mit sichtbaren Salzausblühungen<sup>3</sup> verbunden sind. Die auftretenden Salze sind adstringierend und/oder stark salzig im Geschmack. An solchen Stellen kann es sein, dass (normalerweise gut korrosionsbeständige) Neusilberdrahtbürsten korrodieren oder Flickmörtel noch beim Abbinden schwarz werden.“*

*Im Labor wurden zunächst die in den Proben zu findenden Salze analysiert, wobei es sich rasch zeigte, dass „Exoten“, wie zum Beispiel der Aluminiumalaun Tschermigit aber auch bis heute noch nicht gänzlich identifizierte Mineralphasen darunter waren<sup>4</sup>. Erst nach Anfrage bei mehreren Naturwissenschaftlern aus dem Norden Deutschlands hat uns Prof. Dr. H. Siedel aus Dresden den entscheidenden Hinweis gegeben, dass es sich um die Folgeerscheinung von historischen Konservierungsmaßnahmen handeln könnte.<sup>5</sup>*

*Diese Hypothese erschien uns zugegebenermaßen zunächst unwahrscheinlich, denn der Obernkirchener Sandstein ist seit dem Einbau am Turmhelm nie restauriert worden, es hätte sich also um eine präventive Konservierung vor dem Einbau handeln müssen und der Stein hat einen so guten Ruf bezüglich seiner Dauerhaftigkeit, dass wir eine präventive Behandlung fast nicht glauben konnten. Die Archivarbeit hat dann aber gezeigt, dass bestimmte, um die Jahrhundertwende 19./20. Jh. bekannte Konservierungsmittel<sup>6</sup> auch am Berner Münster etwa zum Zeitpunkt der Errichtung des Turmhelms eingekauft worden waren. Weiter ist aus zeitgenössischen Quellen bekannt, dass der zum Turmhelmaufbau verwendete Obernkirchener Sandstein sehr teuer zu stehen kam. Was wäre also näher gelegen als ihn gleich zu Beginn*

3 Auf fast reinweißem Obernkirchener Sandstein sind die in der Regel weißen Salzausblühungen nicht immer zu erkennen.

4 Analysiert wurde mittels Mikroskopie, mikrochemischen Tests und FTIR-ATR.

5 H. Siedel sei hiermit herzlich gedankt!

6 Herm, C., Pfefferkorn, S., Sneathlage, R. (1998): Historische Verfahren und Handelsmarken in der Steinkonservierung 1840 bis 1940. Fraunhofer IRB Verlag. S. 9–26.



Abb. 16: Überblick über die Versuchskörper der Zwischengalerie

*präventiv noch etwas haltbarer zu machen als er so wieso schon ist, vielleicht nach dem Motto „nützt es nichts, so schadet es auch nichts“? Diese Hypothese können wir allerdings bisher mit den Laboranalysen weder richtig untermauern noch widerlegen, sodass die Frage im Moment noch offen bleiben muss. Aber ohne die Annahme, dass zu früheren Zeiten eine Aluminium- oder Magnesiumverbindung (Testalin, Fluat) zur Behandlung der Steine verwendet worden ist, wären die Herkunft von Aluminium oder Magnesium in den Ausblühungen schwierig zu erklären. Dies wurde von anderen Autoren, welche das Mineral Tschermigit an Bauten in Deutschland gefunden haben, ähnlich gesehen.<sup>7</sup>“*

#### Versuchskörper

2004 wurden am Turm auf der Zwischengalerie in etwa 30m Höhe an allen vier Turmseiten bzw. Expositionen Versuchskörper aufgebaut (Abb. 16). Mit diesen wird das Verhalten verschiedener Mörtelrezepturen an verschiedenen Expositionen lang-

fristig beobachtet. An den Versuchskörpern werden die erwähnten Mörtelrezepturen, Fertigprodukte, verschiedene Steinsorten, Festigungen und Oberflächenbehandlungen variiert. Die Versuchskörper werden periodisch dokumentiert, die beobachteten Veränderungen werden unter Beizug von CSC laufend ausgewertet. Dadurch können feinste Prozesse und Beobachtungen in den Erkenntnisprozess einbezogen werden. Die Haupteckkenntnis liegt darin, dass die Exposition einen sehr großen Einfluss auf das Verhalten der Prüfkörper hat. Die Ostseite zeigt eindeutig die geringsten Veränderungen, während die stärker beregneten Himmelsrichtungen eindeutig die Auswirkungen beschleunigter Schadensprozesse zeigen. Erfreulicherweise zeigen sich unsere eigenen Mörtel bisher in sehr stabilem Zustand.

#### 3.5 Steinaustausch

Der Steinaustausch ist die Ultima Ratio, wenn sehr tiefe Schäden, die Exposition, die Abwägung der Lebenserwartung, die Kosten, und die Zugänglichkeit denselben als ratsam erscheinen lassen. Am Turmhelm wurde infolge der Zugänglichkeit und der Exposition öfter auf das Mittel des Steinaustausches zurück gegriffen als an anderen Bauteilen. So waren am Turmhelm aus den zuvor erwähnten Gründen (Schadenstiefe, Exposition, Unmöglichkeit der Festigung) etwa 100 Vierungen einzubauen. Besonders

<sup>7</sup> Siehe hierzu u. a. Steiger, Michael, Neumann, Hans-Herrmann, Grodten, Thorsten Wittenburg, Christian, Dannecker, Walter (1998) Salze in Natursteinmauerwerk, Probenahme, Messung und Interpretation. In: R. Sneathlage (ed): Denkmalpflege und Naturwissenschaft Natursteinkonservierung II. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1998, pp. 61–91.

im Zuger Sandstein waren sehr tiefe Auswitterungen zu beobachten.

Vierungen an den Helmstreben mussten aus statischen Gründen in Absprache mit dem Ingenieur realisiert werden. Alle Vierungen wurden so dimensioniert, dass keine Überlastung des Restquerschnittes auftrat und keine Abspießungen beim Steinaustausch notwendig wurden. Infolge der komplexen Geometrie des Turmhelms und der erforderlichen Präzision waren die Fertigung der Werkstücke und der Einbau besonders anspruchsvoll.

Die Vierungen wurden mit zwei Methoden statisch mit dem Mauerwerk verbunden: Im Innenbereich kamen Gewindestangen als Verdübelungen zum Einsatz. Im Außenbereich Lochbleche, die vertikal eingenetet und eingeklebt wurden. Letztere stellen über die gesamte Höhe der Werkstücke biegesteife Verbindungen zum bestehenden Mauerwerk her. Bei den Vierungen kam ein Verpressmörtel nach eigener Rezeptur zur Anwendung. Dieser verzichtet auf Verflüssiger und enthält Aerosil als Stellmittel (Emulgator) und Aluminiumpulver als Quellhilfe. Der Verpressmörtel wurde mittels einer angepassten Handpresse eingebracht (Abb. 17).



**Abb. 17:** Einbringen des Verpressmörtels bei den Vierungen am Turmhelm

#### 4 Maßnahmendokumentation

Für die rückblickende Beurteilung und als Informationsquelle für spätere Generationen ist eine umfassende Maßnahmendokumentation unerlässlich. Alle Maßnahmen werden hierzu auf fotogrammetrischen Plänen festgehalten, jeder Mitarbeiter trägt die von ihm ausgeführten Maßnahmen ein. Aufgrund der Komplexität der Maßnahmen ist es teilweise sehr anspruchsvoll, dieselben präzise und anschaulich zu dokumentieren. Besonders schwierig ist dies u. a. bei Aufmörtelungen mit Armierungen. Über jede restaurierte Fläche wird abschließend zusätzlich ein Übersichtsplan erstellt, welcher die besonders wichtigen, kritischen Aspekte des betreffenden Fassadenabschnitts beschreibt.

#### 5 Schlussbetrachtung

Am Münster kann inzwischen auf langjährige Erfahrungen mit Restaurierungen zurück geblickt werden. Waren die neuen Methoden anfänglich mit Unsicherheiten behaftet, herrscht nach zahlreichen Jahren mit saisonalen Zyklen, Frost etc. ein gefestigtes Vertrauen in die restaurierten Gebäudeabschnitte. Freilich: die Restaurierung von Naturstein kann nicht immer nur eine Erfolgsgeschichte sein. Misserfolge und Fehlschläge können nie ausgeschlossen werden.

Was wir dagegen tun können, ist aktives Lernen, Pflegen einer hohen Diskussionsbereitschaft. Wir wollen in unserem Betrieb die Kultur einer kreativen Werkstatt und offener Kommunikation hochhalten. Nur so sind wir befähigt, Misserfolge nüchtern und kollegial aufzuarbeiten und jederzeit die nötigen Schlussfolgerungen zu ziehen. Dabei sind wir uns bewusst, dass Restaurierungen stets mit Entwicklungen und Prozessen einhergehen. Ohne die Probleme, die bei neuen Aufgaben und neuen Produkten auftreten, gäbe es keine Lösungen und keinen Erkenntnisprozess.

#### Danksagung

Das Autorenteam bedankt sich bei Cornelia Marinowitz (Dipl.-Restauratorin FH) und Dr. Christine Bläuer (CSC Fribourg) herzlich für die engagierte Mitarbeit und Bearbeitung einzelner Textbereiche.

#### Weitere Infos

[www.bernermuensterstiftung.ch](http://www.bernermuensterstiftung.ch)  
besonders: Tätigkeitsberichte 2001–2012.

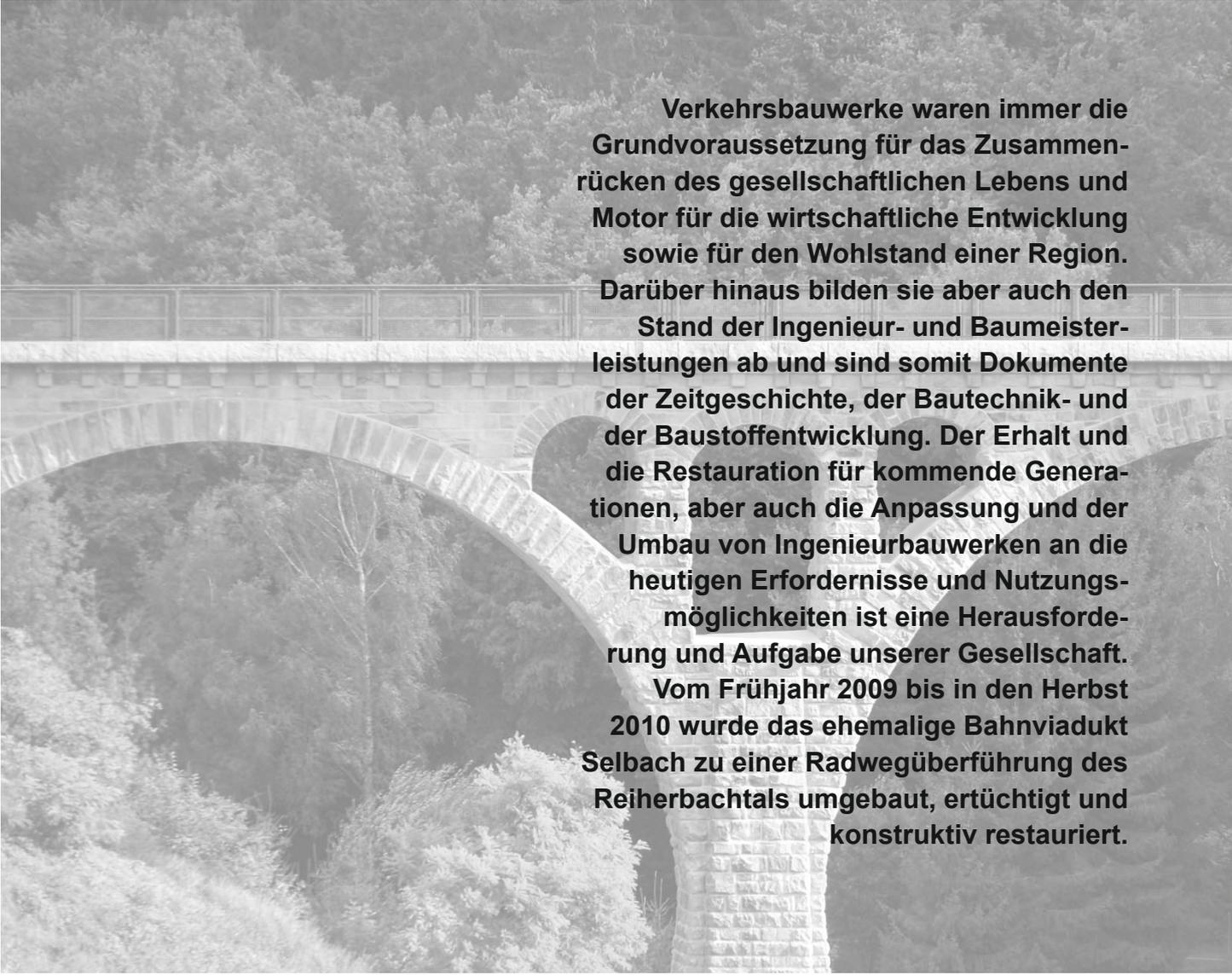
#### Abbildungen

Wo nicht anders bezeichnet: Berner Münster-Stiftung.



# **Konstruktive Restauration von Ingenieurbauwerken – Werkbericht über die Instandsetzungsarbeiten am Bahnviadukt Selbach**

von Hans-Dieter Jordan und Erich Erhard



**Verkehrsbauwerke waren immer die Grundvoraussetzung für das Zusammenrücken des gesellschaftlichen Lebens und Motor für die wirtschaftliche Entwicklung sowie für den Wohlstand einer Region. Darüber hinaus bilden sie aber auch den Stand der Ingenieur- und Baumeisterleistungen ab und sind somit Dokumente der Zeitgeschichte, der Bautechnik- und der Baustoffentwicklung. Der Erhalt und die Restauration für kommende Generationen, aber auch die Anpassung und der Umbau von Ingenieurbauwerken an die heutigen Erfordernisse und Nutzungsmöglichkeiten ist eine Herausforderung und Aufgabe unserer Gesellschaft. Vom Frühjahr 2009 bis in den Herbst 2010 wurde das ehemalige Bahnviadukt Selbach zu einer Radwegüberführung des Reiherbachtals umgebaut, ertüchtigt und konstruktiv restauriert.**

## 1 Baugeschichte Ederseebahn

Als in den Jahren 1908–1914 die Edertalsperre errichtet wurde, ergab sich die Notwendigkeit einer Bahnverbindung nach Hemfurth/Edersee. Dazu wurde an der bestehenden Eisenbahnstrecke von Wabern nach Bad Wildungen in Wega – 2,5 Kilometer vor der Stadt gelegen – ein Gleisdreieck gebaut, denn eine einfache Verlängerung der Strecke war auf Grund der Topographie mit den Bergen nördlich von Bad Wildungen nicht möglich. Von Wega aus führte die Strecke also über Hemfurth/Edersee erst bis Korbach (1912) und schließlich ab 1917 durchgängig bis Brilon-Wald.

Auf diesem Weg musste die Bahnstrecke in der Nähe des Waldecker Stadtteils Selbach das Flusstal des Reiherbaches queren, eines Zuflusses des Edersees. In den Jahren 1910 bis 1913 wurde dazu das Selbacher Viadukt als siebenbogige gemauerte Brücke mit Einzelspannweiten von 25 m errichtet (Abb. 1). Das auch Reiherbachbrücke genannte Bauwerk hat eine Gesamtlänge von 193 Metern und ist bei einer Höhe von 28 Metern ein architektonisches Highlight und ein landschaftsprägendes Element. Da die vielgenutzte Bundesstraße B 485 zwischen Waldeck und Korbach in unmittelbarer Nähe vorbeiführt, ist das Viadukt auch identitätsstiftend für die Bewohner des Waldecker Landes.

Die Bahnstrecke wurde im Zweiten Weltkrieg als Umleitungsstrecke für Züge von Kassel in Richtung des Ruhrgebietes genutzt. So flogen die Alliierten im Februar und März 1945 mehrere Bombenangriffe auf das Bauwerk. Beim Angriff vom 18. März 1945 wurde die Brücke so stark beschädigt, dass der Bahnbetrieb für längere Zeit eingestellt werden musste. Güter und Passagiere wurden bis zum Ende der ersten Instandsetzung und Wiederinbetriebnahme am 22. Juli 1946 mit Pferdefuhrwerken und Automobilen zwischen den Haltestellen der Dörfer Netze im Südosten und Sachsenhausen im Westen transportiert.

Nach dem Ende der Dampflok-Ära 1971/72 durch die Umstellung der Lokomotiven auf Dieselmotoren endet die Geschichte als Bahnstrecke am 20. Oktober 1995 mit der letzten Überquerung des Reiherbaches durch einen Zug. Obwohl die Ederseestrecke in das Netz der Kurhessenbahn integriert wurde und bis ins Jahr 2000 als Reaktivierungskandidat galt, entschied man sich zur endgültigen Einstellung des Schienenverkehrs. Hauptgrund dafür war die Bauauffälligkeit des naheliegenden Buhleiner Viadukts als auch die erneut notwendige Instandsetzung des Selbacher Viadukts.

## 2 Sanierung und Umnutzung

Im Rahmen des Baus des Edersee-Radwegs von Buhlen nach Korbach, der heute auf und entlang der ehemaligen Bahntrasse führt, wurde das inzwischen denkmalgeschützte Viadukt als mit Abstand größtes Bauwerk auf dem Radweg umgebaut und instandgesetzt. Während die Korbacher Firma Fr. Fisseler alle Arbeiten auf der Oberseite der Brücke ausführte war die Firma TORKRET GmbH mit ihrem Standort in Kassel für die denkmalpflegerischen Arbeiten am Naturstein, für die Betoninstandsetzung und für die statische Ertüchtigung zuständig.

Im Vorfeld der Maßnahmen musste das umliegende Gelände nach Blindgängern aus dem Zweiten Weltkrieg durchsucht werden. Die gefundenen Bomben wurden entschärft und geräumt. Nach dem Bau von Zufahrtswegen für den Baustellenbetrieb wurde das gesamte Viadukt von einem leistungsstarken Gerüstbauunternehmen eingerüstet. Knapp 260 Tonnen Stahl für 32000 m<sup>3</sup> Gerüstmaterial waren für das Arbeits- und Traggerüst notwendig, das mit dichten Sandstrahlnetzen (8500 m<sup>2</sup>) eingehaust wurde (Abb. 2). Dadurch wurde verhindert, dass bei den Arbeiten herunterfallende Fugenbestandteile oder Steine Schäden und Verschmutzungen anrichteten.

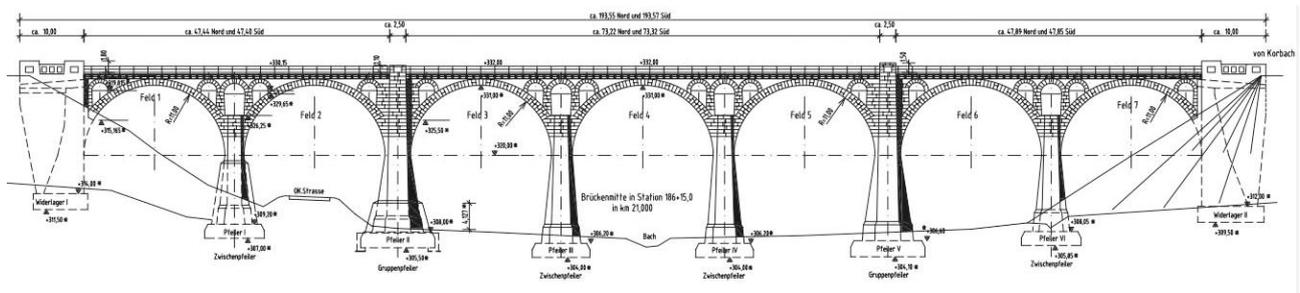
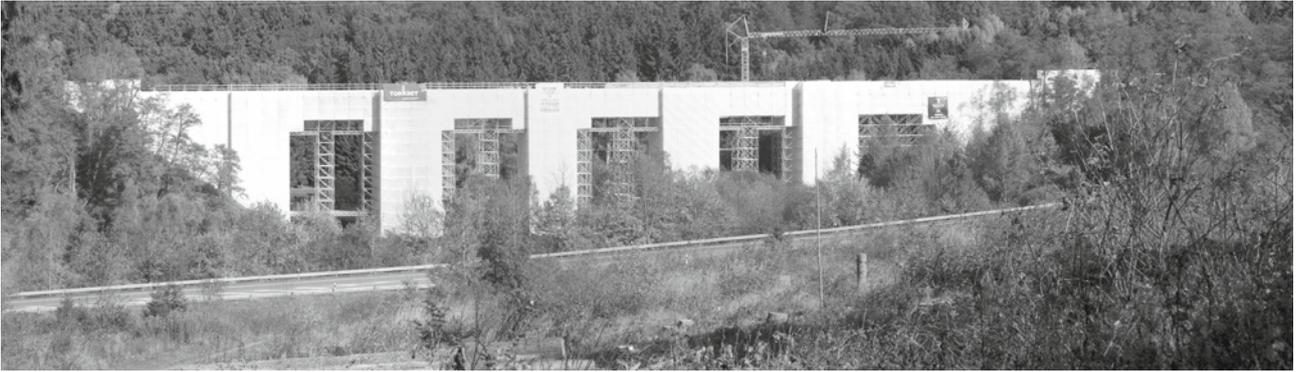


Abb. 1: Plananschnitt der Ansicht



**Abb. 2: Einrüstung des Brückenbauwerks**



**Abb. 3: Schäden durch Spontanvegetation**



**Abb. 4: Schonende Wasserstrahlreinigung**

Vor der Instandsetzung galt es zuerst, das Gemäuer von Bewuchs und Pflanzenresten zu befreien. Auf Grund mangelnder Pflege in der Zeit der Nichtnutzung war das Viadukt an verschiedenen Stellen durch Spontanvegetation stark geschädigt worden (Abb. 3). Im Anschluss daran wurden die Steinoberflächen mittels Hochdruckverfahren mit Wasser gereinigt (Abb. 4). So war es möglich, die schadhaften Stellen zu finden und zu markieren. Das relativ schonende Wasserstrahlverfahren wurde auf Wunsch des Bauherrn gewählt. Die alten Steine sollten auch nach der Restauration der Brücke ihre originale Optik behalten und die in fast 100 Jahren entstandene Patina sollte ebenfalls weitgehend in den Ansichtsflächen erhalten bleiben.

## 2.1 Arbeiten an der Überbauoberseite

Auf der Oberseite des Brückenüberbaus wurden die Gleise einschließlich Unterbau zurückgebaut. Die

Gewölberücken wurden abschnittsweise freigelegt, gereinigt und die Tröge mit ca. 400 m<sup>3</sup> Magerbeton wieder aufgefüllt. Eine lastverteilende Fahrbahnplatte aus i. M. 25 cm dickem bewehrten Beton C30/37 wurde anschließend über die gesamte Fläche betoniert. Die Abdichtung gegen Oberflächenwasser erfolgte entsprechend ZTV-Bel-B Teil 1 durch eine 2-lagige Versiegelung und aufgeschweißter Dichtungsbahn mit entsprechenden Verstärkungstreifen. Danach erfolgte der Einbau seitlicher Gehwegkappen aus Stahlbeton mit Luftporenbildnerzusatz zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen starken chemischen Angriff und gegen Tausalzeinwirkung. Der Fahrbelag wurde mit einer Schutz- und Deckschicht aus Gussasphalt ausgebildet, die neben dem Radverkehr auch Überfahrten mit Wartungsfahrzeugen der Kommunen und mit Rettungsfahrzeugen ermöglicht. Zur Absturzsicherung wurden 1,30 m hohe beschichtete Stahlgeländer befestigt (Abb. 5–7).



**Abb. 5, 6, 7: Abbruch der Gleisanlage und Neuausbildung der Fahrbahn einschließlich Geländer**

Im Bereich der Widerlager wurden die begrenzenden Natursteinbrüstungen überarbeitet und die Postamente erneuert und auf die erforderliche Bauteilhöhe gebracht.

Hierzu wurden alle Postamente oberhalb der Fahrbahn abgetragen, die Steine substanzschonend gereinigt, um dann als neue, um eine Steinlage erhöhte Postamente wieder aufgemauert zu werden (Abb. 8). Einzelsteine wurden erneuert. Die Abschlusssteine wurden teilweise erneuert und auf Grund des hohen Gewichts von bis zu 700 kg je Einzelstein mit einem Hilfskran (Abb. 9) versetzt. Abschließend wurde das gesamte Mauerwerk nochmals gereinigt und mit der gesamten Ansichtsfläche einheitlich von Hand mit kalkgebundenen Mörteln neu verfugt.



**Abb. 8 und 9: Wiederaufmauerung der Postamente mit zusätzlicher Steinlage**

## 2.2 Arbeiten an den Unterbauten und an den Bogenuntersichten

Nach der Grundreinigung und Lokalisierung der Schäden wurden alle schadhaften, entfestigten und gerissenen Steine sowie die komplette Verfugung ausgebaut. Um die Steine beim Herausstemmen der Fugen nicht zu beschädigen, erhielten diese sogenannte Entlastungsschnitte, d.h. die Fugenmörtel wurden vorab beidseitig mit Diamantsägen vorsichtig eingeschnitten, um dann mit leichten Stemmhämmern ausgebaut zu werden. Bei flächigen Schädigungen wurden zudem einzelne Steine und kleine Mauerbereiche im Pilgerschrittverfahren nach und nach ausgetauscht, da sonst der Einsturz drohte. Besonders im Gewölberücken wurden geschädigte Sandsteine einzeln ersetzt. Vor Ausbau der betroffenen Steine wurde jeweils das Umfeld mit Abstützungen und eingepfundenen Edelstahlspindeln und -ankern gesichert (Abb. 10). Erst danach erfolgte der vorsichtige partielle Austausch der Steine in diversen Abschnitten. Die

neuen Steine wurden maßgefertigt eingesetzt und mit Keilen und Verbau gesichert (Abb. 11). In die offenen Fugen wurden Injektionsschläuche eingelegt, die Fugenzwischenräume vorverfugt (Abb. 12) und nach Aushärtung des Fugmörtels hohlraumfrei im Niederdruckverfahren mit TUBAG Verpressmörtel HST-V P02 und P0 verfüllt. Diese Vorgehensweise wurde nun bei den angrenzenden auszutauschenden Steinen nach statischer Anforderung in Kleinflächen wiederholt. Die anschließende Endverfugung (Abb. 13) der Maueroberflächen erfolgte beim Selbacher Viadukt nach einem im Vorfeld gutachterlich ermittelten Rezept. Bauseits beauftragt waren durch einen Gutachter Gesteins- und Mörtelproben entnommen und untersucht worden. Auf dieser Grundlage wurde die Zusammensetzung und Farbigkeit des neuen Mauermörtels festgelegt. So ist gewährleistet, dass der neue Mörtel die notwendigen Eigenschaften aufweist und optisch annähernd identisch ist.



Abb. 10 und 11: Steinaustausch im Pilgerschritt



Abb. 12 und 13: In die Vorverfugung eingebaute Injektionsschläuche und endverfugtes Mauerwerk



Im Rahmen früherer Sanierungsmaßnahmen waren Teile der Bogenuntersichten mit einer 2–3 Zentimeter starken Spritzbetonschicht überzogen und vermeintlich gesichert worden. An den Widerlagern war diese Schicht bis zu 20 Zentimeter dick unregelmäßig aufgetragen und fest mit dem Untergrund verbunden (Abb. 14). Nachdem der Bauherr die Zustimmung beim Landesamt für Denkmalpflege Hessen, Abteilung Baudenkmäler eingeholt hatte, wurden diese Betonschichten nicht mehr erhalten und saniert sondern rückgebaut. Die Natursteine wurden wieder herausgearbeitet und entfestigte Steine ausgetauscht. Am nordöstlichen Widerlager wurde eine neue, fest verankerte Vorsatzschale unumgänglich (Abb. 15+16). Aus vorhandenem Steinmaterial wurden Steine zugeschnitten und behauen und die ursprüngliche Optik wieder hergestellt.



### 2.3 Spritzbetonertüchtigung und Betonrelief an den Fundamentpfeilern 1 und 2

An den beiden im Krieg zerstörten und 1946 mit einem Stahlbetonkorsett notdürftig ertüchtigten Pfeilerfüßen (Abb. 17) war der Beton inzwischen karbonatisiert, die Bewehrung stark korrodiert und die Standsicherheit nicht mehr gegeben. Während das Abstemmen der oberen Betonschale und das Freilegen der Bewehrung des alten Pfeilerfußes zu den üblichen Bauarbeiten gehört, war die erforderliche Verstärkung insbesondere wegen der abschließenden Oberflächengestaltung doch etwas Besonderes.



Nach dem Freilegen und Entrosten der Bewehrungs-eisen wurden diese durch eine Schicht Spritzbeton nach DIN 18551 wieder ummantelt und so durch das hoch alkalische Milieu des Spritzbetons der passive Korrosionsschutz wieder dauerhaft hergestellt. Um die Tragfähigkeit jedoch zu steigern, wurde, wie vom Planer, vorgesehen eine weitere Lage Bewehrungsmatten, die mit Spezial-Dübeln hilfsweise befestigt wurde, ebenfalls mit Spritzbeton kraftschlüssig einbetoniert (Abb. 18). Die Oberfläche verbleibt dabei spritzrau. Durch diese zusätzliche Umschnürung werden die Pfeilerfüße nachhaltig ertüchtigt, die Optik einer einfachen Betonansicht jedoch ohne weitere Maßnahme nicht verbessert. Vorgesehen war lediglich eine zusätzliche Feinmörtelschicht und eine farbliche Betonschutzbeschichtung gemäß der gültigen Instandsetzungsrichtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) aufzutragen. Eine zusätzliche Vorsatzschale aus Natursteinmauerwerk war sowohl aus Kostengründen als auch wegen der

Abb. 14, 15, 16: Widerlager Nordost: Ersatz der Spritzbetonsicherung durch eine neue Vorsatzschale



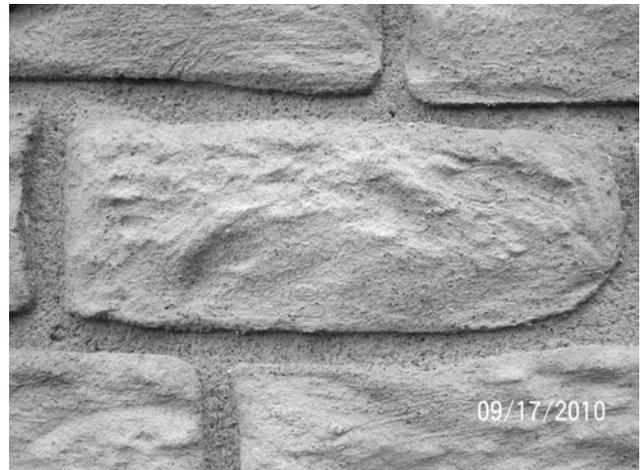
**Abb. 17: Stützenfundament aus Stahlbeton**



**Abb.18: Stützenfußverstärkung mit Spritzbeton**



**Abb. 19: Reliefmatrize wird hilfsweise eingelegt**



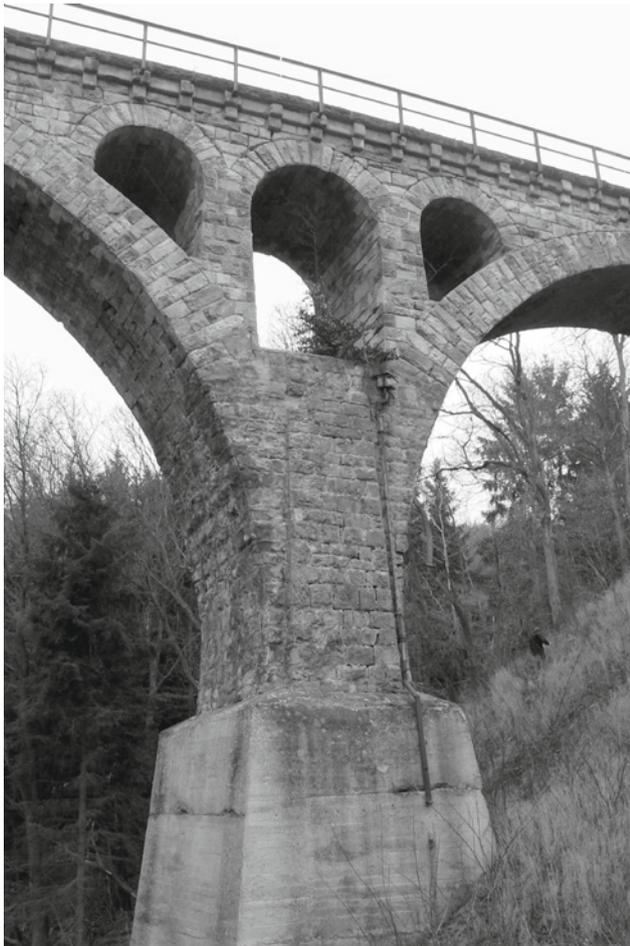
**Abb. 20: Farbiges Spritzbetonrelief**

sich stark verändernden Abmessungen ausgeschlossen worden.

In Abstimmung mit der Denkmalpflege wurde nachträglich alternativ die Oberflächengestaltung des statisch notwendigen Spritzbetons nach dem TORKRET Relief®-Verfahren in einer Steinmaeroptik beauftragt. Statisch wirksam, dauerhaft und ohne dabei die unbedingt erforderliche Bauteildicke zu erhöhen wird damit eine strukturierte Betonoberfläche erzeugt, die einer Mauer Oberfläche täuschend ähnlich erscheint. Auf die letzte, noch frische Spritzbetonlage wird dazu vorübergehend eine spezielle Matrize aus Schaumstoff befestigt, die die Form eines Natursteinfugenverlaufes hat (Abb. 19). Entsprechend dem seit 2009 patentrechtlich geschützten Verfahren wird dann eine dünne Schicht unterschiedlich durchgefärbter Spritzbeton aufgebracht, der in seiner Oberfläche frei modelliert und nachbearbeitet werden kann. Nach der erforderlichen Abbindezeit wird die Hilfsmatrize wie-

der entfernt. So entsteht eine Nut z. B. in Form einer Fuge, die die Farbe des letzten Betonuntergrundes zeigt (Abb. 20). Die Matrizen können in jeder Dicke und aus jeder vektorisierbaren Grafik mit digitalen Cuttermaschinen geschnitten werden. Dem Wunsch des Bauherrn entsprechend wurde ein Pfeiler als unregelmäßiges Natursteinmauerwerk, der zweite Pfeilerfuß, passend zum gesamten Pfeiler, im Schichtenmauerwerk ausgeführt. Oberflächenstruktur und Farbigkeit erfolgten in Abstimmung mit dem Bauherrn.

Der Kunstfertigkeit und dem handwerklichen Geschick der eingesetzten Mitarbeiter ist es zuzuschreiben, dass es jetzt schon eines genaueren Hinsehens bedarf, um zu erkennen, dass die Pfeilerfüße nach wie vor aus standsicherem Beton nach dem Verfahren TORKRET Relief® und nicht aus Natursteinmauerwerk bestehen (Abb. 21–23).



### 3 Zusammenfassung

Nach einer Gesamtbauzeit von weniger als 2 Jahren erstrahlt das 1911 errichtete Viadukt in neuem Glanz (Abb. 24, 25). Im Jahr 2013 wurde das Bauwerk seiner neuen Bestimmung übergeben und der 27 Kilometer lange Radweg zwischen Buhlen und Korbach feierlich eröffnet. Die Gesamtkosten des ab 2004 geplanten Ederseeradwegs beliefen sich auf ca. 10 Millionen Euro, wovon etwa ein Viertel der Kosten für die Erhaltung des Denkmals „Viadukt Selbach“ benötigt wurde.

Im Rahmen der konstruktiven Restaurierung mussten insgesamt etwa 1000 unbrauchbar geschädigte Sandsteine ausgebaut werden. Nicht mehr benötigtes historisches Steinmaterial der ehemaligen Abdecksteine konnte auf Maß zugeschnitten, steinmetzmäßig überarbeitet und als Ersatz für die geschädigten Natursteine wieder eingebaut werden. Um der Mauerwerksschale besseren Halt zu geben, wurden zusätzlich etwa 900 Meter Edelstahlanker mit einem Durchmesser von 6 Millimetern in Einzellängen von bis zu 200 Zentimetern eingebaut. Dadurch wurden die vorhandenen Risse im Mauerwerk stabilisiert und gesichert. Die im Mauerwerk vorhandenen Hohlräume wurden lokalisiert und mit mehr als 30 000 Li-

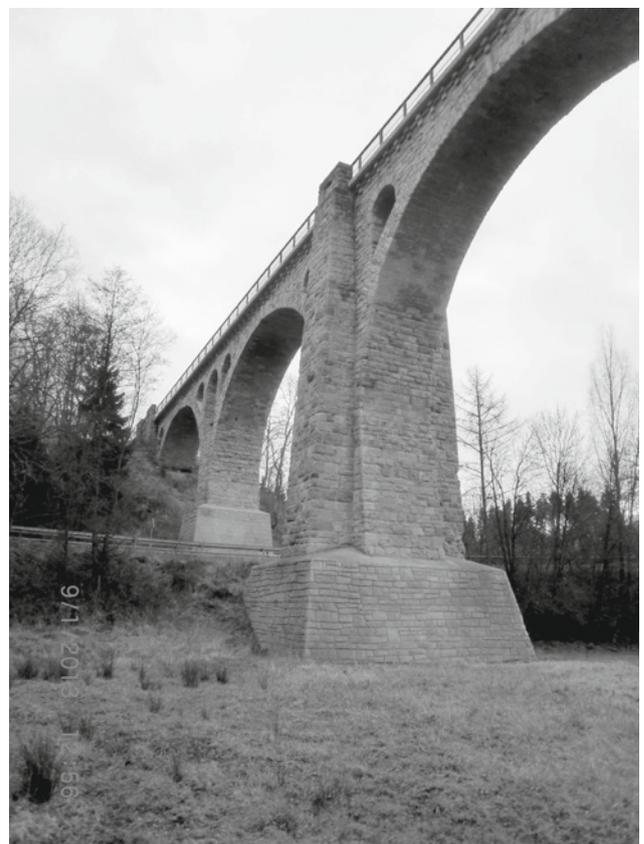


Abb. 21, 22, 23: Pfeiler vor und kurz nach der Instandsetzung mit **TORKRET Relief®** und nach Bewitterung

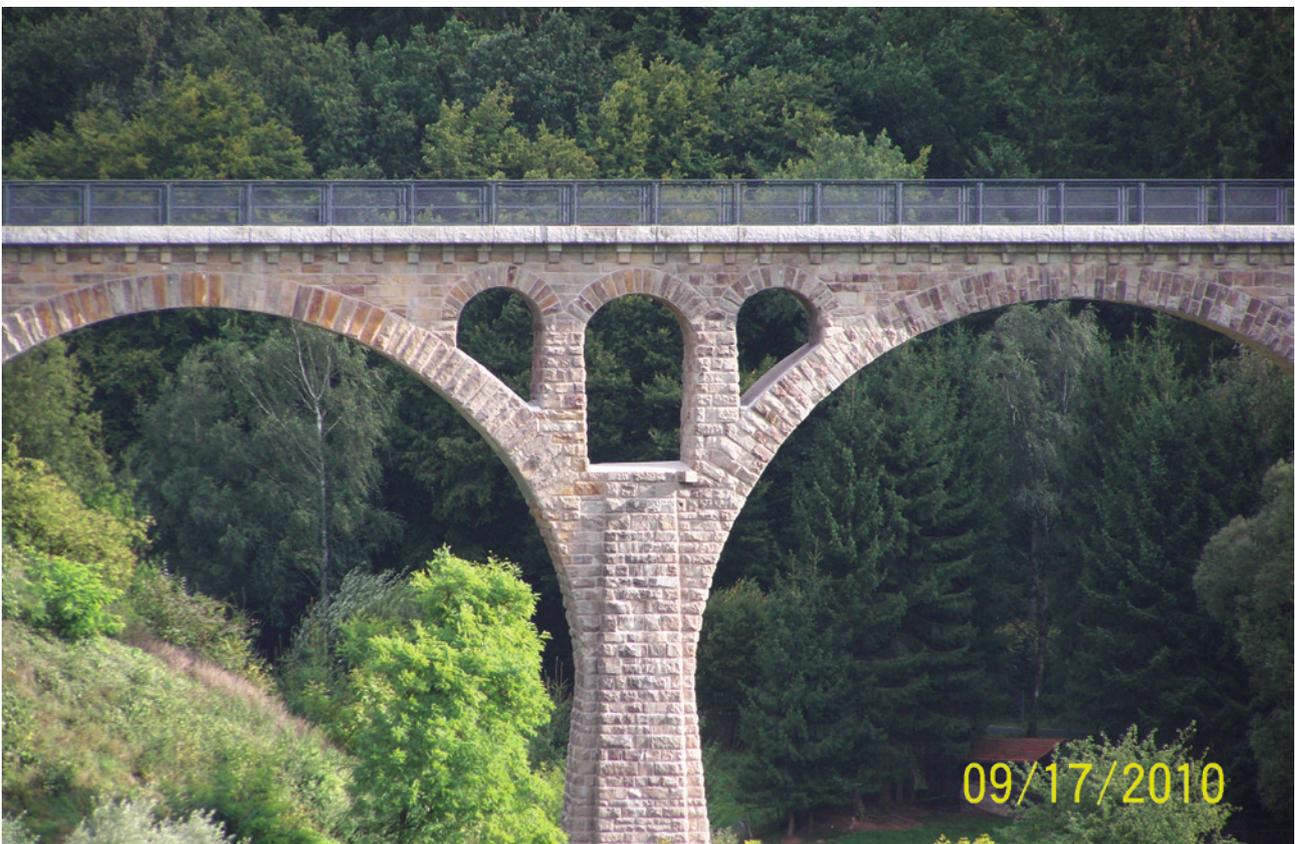
ter Mörtelsuspension im Niederdruckverfahren verfüllt. Auf einer Gesamtfläche von fast 8000 Quadratmetern wurden die Fugen händisch erneuert. Insgesamt 300 Quadratmeter Fundamentpfeilerfläche aus vorangegangener Notinstandsetzung wurde mit bewehrtem Spritzbeton, dessen Betonoberfläche mit einer Natursteinoptik charakterisiert wurde, statisch ertüchtigt.

Als wesentliche Ersatzbaustoffe wurden verwendet:

- Restauriermörtel der Firma Remmers, Lönigen
- Fugsand der Firma Josef Funke, Volkmarsen
- Mörtel-Bindemittel der Firma Otterbein, Großelüder
- Verpressmörtel der Firma Tubag, Kruff
- Spritzbeton der Firma Sakret, Nordhausen



**Abb. 24: Viadukt Selbach nach abgeschlossener Natursteinsanierung**



**Abb. 25: Pfeileransicht nach der Instandsetzung**

## Quellen

Als Quellen zur Baugeschichte wurden Informationen aus den Ausschreibungsunterlagen des Auftraggebers Amt für Straßen- und Verkehrswesen (ASV) Bad Arolsen und Eintragungen in der freien Enzyklopädie WIKIPEDIA genutzt.

## Abbildungen

Abb. 1: Planauszug ASV Bad Arolsen

Abb. 3, 5: ASV Arolsen

Alle weiteren Abbildungen: Torkret GmbH, Essen

# Historisches Waldschlösschen Dresden – Restaurierung der Sandsteinfassade

von Markus Sandner und Sebastian Sandner

Das Waldschlösschen in Dresden zählt zu den frühen neugotischen Bauwerken im deutschen Raum. 1803 als Jagdschlösschen errichtet hat es den Wandel der Zeiten fast unverändert überstanden. 2010 bis 2012 erfolgte die Sanierung des gesamten Gebäudes. Teil der umfangreichen Erhaltungsmaßnahmen waren die Instandsetzung und Restaurierung der südseitigen Sandsteinfassade.



## 1 Bau- und Nutzungsgeschichte

Das Historische Waldschlösschen ist ein von Graf Marcolini (1739–1814), dem Kammerherrn Kurfürst Friedrich Augusts III., auf der nördlichen Elbseite im Osten der Stadt Dresden errichtetes neugotisches Jagdhaus. Von der südseitigen Sandsteinfassade blickt man über die weitläufigen Elbauen in Richtung der imposanten Kulisse der Altstadt. Ab 1785 ließ Graf Marcolini auf dem Gebiet südlich der heutigen Dresdner Heide eine Landwirtschaft einrichten. Das Jagdhaus, erst „Jagdschlösschen“ oder später „Gotisches Haus“ genannt, lag inmitten von ihm durch Schenkung und günstigen Kauf erworbenen Grundstücken. Innerhalb von drei Jahren kultivierte Marcolini aus einer großen Sandsteppe herrliche Felder, Obst-, Holz- und Hopfenpflanzungen nebst erforderlichen Wirtschaftsgebäuden und Ställen. [1]

Mehrere Gründe für die Auswahl des neuen gotischen Stils für das Jagdhaus sind anzunehmen. Ersterer liegt in der Tatsache, dass Marcolini es vor allem für seine schottische Gemahlin, eine geborene O'Kelly, im damals modernen englischen Stil errich-

ten ließ. Weitere können in der Vorbildfunktion und Übernahme der neuen Wirtschaftsmethoden für eine rationellen Boden- und Viehwirtschaft aus England mit Beginn des 19. Jahrhunderts bestehen. Hierbei wurde auch das architektonische Konzept einer Einbeziehung der Landschaft in den Garten, in dessen Zentrum das Landhaus in gotischem Geschmack stand, übernommen.

Im Gegensatz zur wissenschaftlich betriebenen Neugotik mit Ende des 19. Jahrhunderts fußt die neuartige Verwendung gotischer Elemente weniger in der Kenntnis der mittelalterlichen Baukunst, vielmehr dienten die Stilelemente der Erzeugung bestimmter sentimentaler Stimmungen, die die phantastische Welt des Mittelalters zum Vorbild hatten. Der Bau im gotischen Stil diente als Staffageobjekt zur Illustration einer weitgreifenden landschaftlichen Szenerie. Leider lässt sich dieser Blick nur noch anhand historischer Ansichten nachvollziehen, da in den folgenden Jahren die Landschaft einer massiven Bebauung weichen musste. Thormeyers Stich (Abb. 1) für den Prachtband des Verlegers Heinrich Rittner von 1808/09, mit der Bildunterschrift „La maison gothique“



Abb. 1: Kolorierter Stich von G.F.Thormeyer, Dresden 1808/09

apartenant au comte Marcolini pres Dresde“, zeigt die ursprüngliche Positionierung in der Landschaft. Hervorzuheben ist, dass es sich um den ersten neugotischen Bau in Sachsen handelt. Daher kommt dem Gebäude eine besondere kunst- und bauhistorische Bedeutung zu. Ein Vorbild war sicher das „Gotische Haus“, wie es sich Leopold Friedrich Franz von Anhalt-Dessau seit 1773 in seinem Park in Wörlitz bauen ließ. Dessen Fassade erweist sich als Anlehnung an die Hauptfassade der Kirche Maria dell’ Orto in Venedig (1460–1464). Ganz anders zeigt sich die Fassade des Waldschlösschens und die dort verwendeten Stilelemente. Es findet sich ein Formenkonglomerat von Vorhangbögen der heimischen Spätgotik neben Tellerkapitellen mit glockenförmigem Hals, die der englischen Frühgotik zugeordnet werden können. [2] Die Konstruktion des Gebäudes ist ebenfalls sehr besonders. Die südseitige, der Elblandchaft zugewandte Fassade ist mit einem inneren Kern aus Ziegelmauerwerk und vorgeblendetem Sandstein ausgeführt. Die drei übrigen Seiten sind jedoch eine Fachwerkkonstruktion, die eine Holzverkleidung tragen. (Abb. 2, 3)



Abb. 2: Zustand vor der Sanierung, Bild aufgenommen 2009

te Forschungen datieren die Erbauung eines eingeschossigen Vorgängerbaus als Fachwerkkonstruktion auf das Jahr 1800. Die Aufstockung zum zweigeschossigen Gebäude sowie die Errichtung der Sandsteinfassade auf der Südseite des Gebäudes werden für 1803 nachgewiesen. [3]

Bisher gibt es keine gesicherten Erkenntnisse, wer der Baumeister des Waldschlösschens war. Neues-

Für die Nutzung des Gebäudes gibt es zusammenfassend folgende kurze Chronologie: Zuerst als

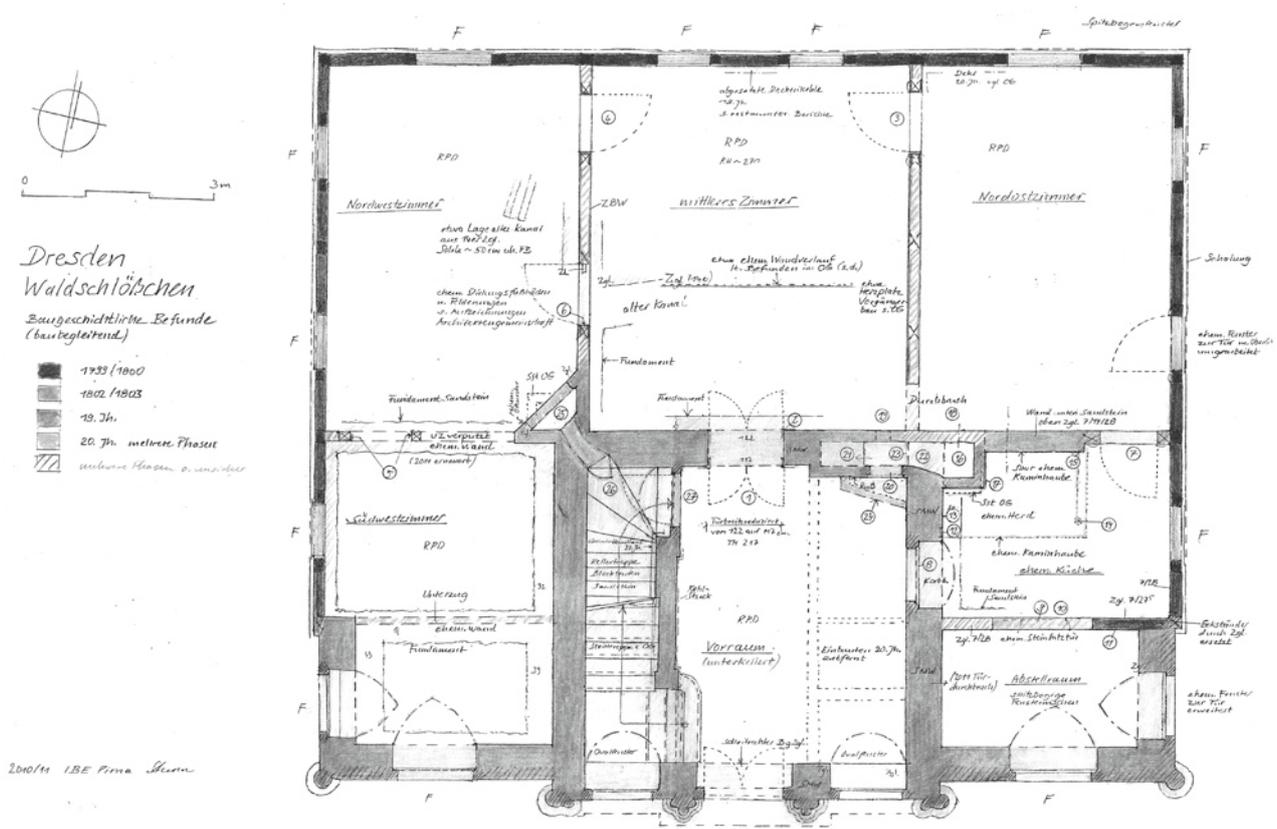


Abb. 3: Grundriss EG (baugesch. Bestandsaufnahme) mit dem Mauerwerk von Südseite, Vorhalle und Treppenhaus sowie die dünnen Fachwerkwände der übrigen Gebäudeseiten

Landhaus und Repräsentationsbau errichtet, wobei ungeklärt ist, in wie weit das Gebäude je von Marcolini und seiner Frau genutzt wurde, erfolgte nach der Versteigerung des Anwesens seit 1829 der Betrieb einer Schankwirtschaft. Mit Gründung der ersten sächsischen Aktiengesellschaft und Gründung der „Societätsbrauerei zum Waldschlösschen“ wurde das Gebäude zum Symbol der Brauerei. Seit dieser Zeit wird der Begriff „Waldschlösschen“ für das ehemalige Jagdhaus verwendet. Heute denken selbst die meisten Dresdner bei der Erwähnung des Waldschlösschens zuerst an die Gebäude der Brauerei, die von der Elbe gesehen seinen Namensgeber verdecken. Deshalb wurde mit dem Projekt der Titel „Historisches Waldschlösschen“ eingeführt, um die beiden Bauwerke besser zu unterscheiden. Deutschlandweit bekannt ist die nach dem Areal benannte Elbquerung „Waldschlösschenbrücke“.

Seit Errichtung der Brauerei wurde das Gebäude vermutlich als Wohnhaus genutzt. Zahlreiche kleinere Umbauten deuten daraufhin. Für den Zeitraum nach dem 2. Weltkrieg bis 1992 ist eine Wohnnutzung belegt. So überdauerte das Landhaus Marcolinis unbeachtet und weitgehend unverändert im Schatten der Brauerei. Im Anschluss übernahm eine Immobilienfirma Grundstück und Gebäude und nutzt es nach einer behelfsmäßigen Instandsetzung als Bauleitungsbüro für die Bebauung des Areals der ehemaligen Waldschlösschenbrauerei.

Nach Abschluss der Bebauung des Waldschlösschen-Areals war das Gebäude für über 10 Jahre ungenutzt dem Verfall preisgegeben, bis 2009 ein privater Bieter den Zuschlag bei der Versteigerung erhielt.

Heute, nach Fertigstellung der Instandsetzung und Sanierung, wird das Historische Waldschlösschen als Büro mit Empfangs- und Besprechungssaal und einer kleinen Wohneinheit für Tagungsgäste genutzt.

## 2 Zustand, Konzeption

### 2.1 Zustandsanalyse 2010

Bei der Besichtigung der Fassade zeigten sich massive Schädigungen an den Architekturteilen aus Sandstein. Komplizierte Schadbilder, gravierende Schäden und Substanzverfall waren besonders am Mittelgiebel, dem Traufgesims und an den Brüstungen mit den Fialtürmen im Dachbereich zu finden.

Die ungenügende Pflege des Bauwerks in den vergangenen Jahren und konstruktive Mängel bildeten die Hauptursache für den Substanzverfall von bestimmten Bereichen der Fassade. Die Beseitigung der Schäden und deren Ursachen sowie die Wiederherstellung einer funktionstüchtigen Gesamtkons-

truktion waren die zwingende Voraussetzung für die Erhaltung der zu restaurierenden Fassade. Setzungen im Baugrund führten zu Rissen über die gesamte Fassade und an einzelnen Bauteilen (Abb. 4). Die entstandenen Schäden an den Oberflächen der Bauteile aus Elbsandstein sind hauptsächlich auf das unkontrollierte Eindringen von Niederschlagswasser und folgende Durchfeuchtung der Bauteile zurückzuführen. Ungünstige Materialauswahl beschleunigte die Verwitterung. (Abb. 5, 6). Als Ursache ist u. a. die defekte Dachentwässerung vor der Sanierung des Daches 2001 zu nennen. Folgeschäden waren Salzausblühungen und Steinzerfall durch Frostsprengung sowie ein Auswaschen der Fugen. Hierdurch konnten die anfallenden Niederschläge noch tiefer in die Bausubstanz eindringen. An den vor freier Bewitterung geschützten, aber stark durchfeuchteten Bereichen bildeten sich weiße und schwarze Krusten mit Blumenkohlstruktur, die u. a. mit dem Eintrag von Sulfat durch die Luftverschmutzung der vergangenen Jahrzehnte begründet werden können. [4]

Eine weitere Ursache für einen großen Teil der vorgefundenen Schäden sind die vielfach eingebauten schmiedeeisernen Anker und Klammern. Bedingt durch die Durchfeuchtung der Fassade ist es zu einer Vielzahl von Korrosionsprengungen an den Sandsteinteilen gekommen (Abb. 7, 8). Weitere hohe Materialverluste sind durch Abschuppungen und Schichtspaltung parallel zur Oberfläche der teilweise stehend im Lager eingebauten Teile verursacht worden (Abb. 9). Schädigend wirkte sich ebenfalls der Einsatz von Zementmörtel einer vorangegangenen Reparatur des Bauwerks aus. Die zum Teil großflächigen Antragungen verhinderten ein Austrocknen des mit Feuchte belasteten Steins und führten in der Folge zu schalenförmigen Ablösungen an den Oberflächen.

### 2.2 Sanierungskonzeption

In Zusammenarbeit mit dem Architekturbüro Milde + Möser, Pirna, wurde Anfang 2011 nach Auswertung der Schadenskartierung sowie unter Beteiligung der Vertreter der Unteren Denkmalbehörde der Stadt Dresden und des Landesamtes für Denkmalpflege (LfD) ein Konzept für die Instandsetzung der Fassade entwickelt. Die Abläufe wurden in mehreren Gesprächsrunden und Treffen vor Ort gemeinsam diskutiert und abgestimmt.

Die Ausführung der Instandsetzung und Restaurierung wurde wie folgt festgelegt:

1. Manuelles Entfernen von Schmutz und aufsitzenden Krusten mit Skalpell und Wurzelbürste
2. „Sanfte“ Reinigung der Sandsteinteile mit Heißdampf und nur geringem Druck



**Abb. 4:** Risse in der Fassade durch Setzungen des Gebäudes



**Abb. 5:** Kompletter Substanzverlust durch mindere Materialqualität



**Abb. 6:** Substanzverluste in Folge der defekten Entwässerung



**Abb. 7:** Materialverlust, eingeleitet durch Korrosionssprengung



**Abb. 8:** Risse durch Korrosionssprengung



**Abb. 9:** Hohe Substanzverluste durch Schichtspaltung und Abschuppen



**Abb. 10: Sicherung und Verklammerung der Giebelspitze zur Vorbereitung der Demontage der Seitenteile des Giebels**



**Abb. 11: Sicherung und Demontage des gerissenen Sturzes am Mittelgiebel**

3. Abbeizen der Lack- und Ölfarben an den Fenstern des 1. OG und der Tür des Balkons am Mittelgiebel
4. Verbleib der festen und intakten Zementfugen einer vorangegangenen Reparatur
5. Kein Aufweiten schmaler Fugen
6. Nur Auskratzen loser Fugen und deren Reparatur, Neuverfugung mit Kalkmörtel, d. h. nur partielle Ausbesserung
7. Nur Reparatur der Bereiche mit Schäden durch Korrosionssprengung, Verbleib der Eisenanker an schadfreien Stellen mit vermuteten Eisenankern
8. Instandsetzung der Fassade nur an statisch notwendigen Stellen durch Vierungen und Neuteile, alle restlichen Bereiche durch Antragungen
9. Antragungen mit Steinerfüllungsmörtel, Einschlämmen der Kavernen unter Beachtung der Erhaltung des Originals in der Oberfläche, keine Herstellung einer homogenen Oberfläche
10. Vernadeln gebrochener Sandsteinteile, größtmöglicher Erhalt von Originalsubstanz
11. Salzreduktion an den Sandsteinteilen
12. Nur Partielle Festigung mit Steinfestiger
13. Verwendung aller Varietäten des Elbsandstein (Cottaer, Reinhardtsdorfer, Postaer) für Vierungen und Neuteile in Anpassung an den örtlichen Bestand
14. Reproduktion der Krabben der Fialtürme durch Abformen, bildhauerisch Reproduktion und Ergänzung als Vierung
15. Ergänzungen der Bekrönung der Fialtürme, vorab Zeichnung für Ausführungsart, Erstellen von Ausführungsvarianten, anschließend Abstimmung mit dem LfD, folgend Freigabe zur Ausführung

Für die Ausführung von Reinigung, Antragungen und Fugenreparatur wurden Probestellen und Probeachsen angelegt. Diese wurden von Bauherr, Architekt und den Vertretern der Denkmalbehörden begutachtet und die weitere Ausführung nach Abstimmung freigegeben.

### 2.3 Demontage- und Sicherungsarbeiten

Bedingt durch die an der gesamten Fassade verwendeten Eisenanker und Dübel kam es zu gefährlichen Korrosionssprengungen an den frei bewitterten Teilen über dem Traufgesims sowie an den feuchtebelasteten Bauteilen.

Aus Gründen der Standsicherheit wurde die Demontage der Brüstungen, Fialtürme und Fialen des Giebels als notwendig erachtet. Mit der Bauleitung und den Denkmalpflegebehörden wurden die Chancen und Risiken des teilweisen Rückbaus gemeinsam diskutiert. Der große Vorteil dieser Maßnahme wurde mit der vollständigen Entfernung der Eisenanker in diesem Bereich begründet. Als weiterer Vorteil wurde die dadurch mögliche Entsalzung der demontierten Bauteile im Wasserbad gesehen.

### 2.4 Zeitlicher Ablauf der Instandsetzung

Die Instandsetzungs- und Restaurierungsarbeiten an der Sandsteinfassade des Historischen Waldschlosschens wurden im Zeitraum Februar 2011 bis August 2012 in folgenden Teilschritten realisiert:

1. Demontage der Brüstungen, Fialtürme und Fialen des Giebels
2. Demontage der Schornsteinköpfe
3. Verankerung von Teilen des Giebels, Demontage von Teilen des Giebels



Abb. 12: Aussteifung des Bogens zur Vorbereitung der Demontage der Seitenteile des Giebels



Abb. 13: Demontage der Vorhangbögen der Giebelseiten

4. Instandsetzung, Restaurierung der demontierten Bauteile auf dem Werkplatz
5. Wiedereinbau der demontierten Bauteile
6. Instandsetzung, Restaurierung der Fassade

### 3 Demontage

#### 3.1 Demontage – Erster Abschnitt

Aus den zuvor genannten Gründen erfolgte die Demontage von Turmfialen und Brüstungen zwischen Mittelgiebel und Turmfialen, die Demontage von Teilen des Sturzes sowie des Mittelgewändes und der Brüstung des Balkons. Durch die Einbindung von Abdeckung und Sockelsteinen an der Balkonbrüstung wurde ein Einschneiden der Bauteile zur Demontage notwendig; dies begünstigte die Entkoppelung der Abdeckung von den seitlich anschließenden Gewänden. Einer Änderung des vorhandenen Fugenschnitts wurde vorgenommen. Die Demontage erfolgte mit Hilfe eines Kranes.

Die Arbeiten wurden wie folgt ausgeführt:

- Abstützen und Abfangen des Traufgesimses
- Demontage der Turmfialen und Brüstungen zwischen dem Mittelgiebel und Turmfialen
- Demontage von Teilen des Sturzes sowie des Mittelgewändes und der Brüstung des Balkons
- Demontage der Fialen des Giebels
- Sicherung der offenen Fugenflächen vor Witterungseinflüssen
- Abtransport und Einlagerung der demontierten Bauteile auf dem Werkplatz

#### 3.2 Demontage der Schornsteinköpfe

Zwischenzeitlich wurde beim Ausbau des Dachgeschosses erkannt, dass obwohl das Dach 2003 saniert wurde, Schwammbefall besteht. Zum Austausch der betroffenen Balken und Sparren wurde es notwendig, die Schornsteinköpfe zu demontieren. Diese waren als Rekonstruktion bei der Instandsetzungsmaßnahme 2003 auf das Dach gesetzt und mit einer Stahlrahmenkonstruktion zur Lastverteilung am Dachstuhl befestigt worden. Die Bauteile wurden bis zur Wiedermontage eingelagert.

#### 3.3 Demontage – Zweiter Abschnitt

Erst nach der erfolgten Demontage der Brüstungen, Fialtürme und Fialen des Giebels, wie zuvor beschrieben, konnte der Zustand der verbliebenen Bauteile des Giebels besser beurteilt werden. Folgend wurde beschlossen, weitere Teile zu demontieren, um die bereits korrodierten Eisenanker innerhalb der Fassadenkonstruktion zu entfernen. Die Arbeiten wurden wie folgt ausgeführt:

- Verklammern und Vernadeln der Bauteile der Giebelspitze untereinander (Abb. 10)
- Abstützen und Aussteifen der drei Gewölbekappen des Giebels mittels Holzkonstruktion zur Sicherung der Kämpferzone (Abb. 11,12)
- Demontage der Seilenteile des Giebels (Abb. 13)
- Demontage der Baldachinhauben, -nischen und -sockelplatten rechts und links des Giebels
- Sicherung der offenen Fugenflächen vor Witterungseinflüssen
- Abtransport und Einlagerung der demontierten Bauteile (Abb. 14, 15)



Abb. 14: Geborgene Einzelteile einer zerstörten Fiale

#### 4 Instandsetzung und Restaurierung

Die Instandsetzung erfolgte nach den heute gängigen Grundsätzen und Methoden der Denkmalpflege und Natursteinrestaurierung. Angesichts der Bedeutung und Einmaligkeit des Historischen Waldschlösschens wurden die Maßnahmen besonders substanzschonend und mit größtmöglichem Erhalt der Originalsubstanz durchgeführt.

##### 4.1 Instandsetzung der demontierten Bauteile

Wie bei den Beratungen zur Ausführung der Natursteinarbeiten der denkmalgerechten Sanierung des Waldschlösschens vereinbart, wurden die demontierten Bauteile in unserer Werkstatt wie folgt restauriert:

- Dokumentation der Schäden und Maßnahmen
- Steinfestigung und Substanzsicherung
- Krustenentfernung
- Salzreduktion mittels Wasserbad und Kompressen
- Heissdampfreinigung
- Entfernen der Metallteile, Dübel
- Reinigen der Ankerlöcher
- Herstellen und Einbau von Vierungen (Abb. 16, 19, 21)
- Verkleben und Verpressen von Rissen (Abb. 17)



Abb. 15: Einlagerung der demontierten und nummerierten Werksteine auf dem Werkplatz

- Vernadeln, Verklammern und Verkleben gerissener Werkstücke (Abb. 18, 20)
- Abformen einer Krabbe und Erstellung eines Gipsmodells als Vorlage für die bildhauerische Reproduktion
- Herstellen und Einbau von Krabben als Vierungen durch bildhauerische Reproduktion
- Steinergänzung an Fläche, Profil, Ornament als Antragung mit mineralischem Steinergänzungsmörtel
- Fertigen, Liefern von Neuteilen nach Bestandsvorlage

##### 4.2 Feuchte- und Salzbelastung, Entsalzung

Durch die defekte Entwässerung sowie durch Umwelteinflüsse auf die frei bewitterten Bauteile über dem Traufgesims waren die Bauteile einer starken Feuchte- und Salzbelastung ausgesetzt. Durch exemplarische Beprobungen des Instituts für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. (IDK) wurde die Verteilung der Feuchte- und Salzbelastung nachgewiesen. Es wurden Schadsalzgehalte von Sulfaten und Nitraten festgestellt. [4] Die Reduktion des hohen Salzgehaltes an den Bauteilen stellte einen wichtigen Bestandteil der nachhaltigen Restaurierung des Sandsteins dar.

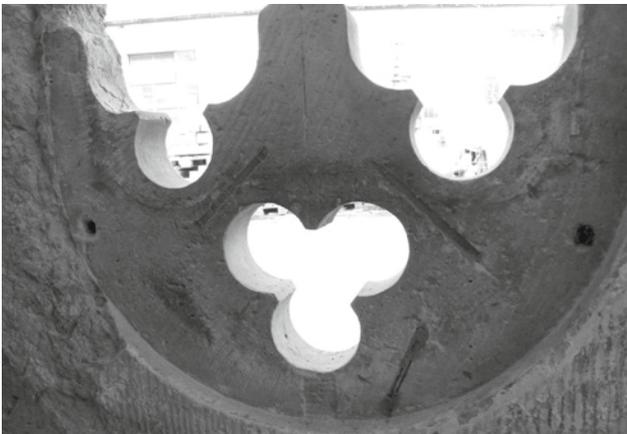
Zwei unterschiedliche restauratorische Verfahren kamen parallel zum Einsatz. Die demontierten Teile wurden zunächst im Wasserbad und anschließend mit Zellstoffkompressen behandelt. Für das Wasserbad wurde ein üblicher Baustoffcontainer mit Folie ausgekleidet (Abb. 22). Die Bauteile wurden in entmineralisiertem Wasser, welches aus Leitungswasser mittels eines Ionentauschers gewonnen wurde, eingelagert. Täglich wurde das Wasser eine Stunde mittels Pumpe umgewälzt. Die Einlagerung erfolgte



**Abb. 16:** Vorbereitung für den Einbau von Vierungen, Vorhangbogen



**Abb. 17:** Verkleben von Rissen, Vorhangbogen



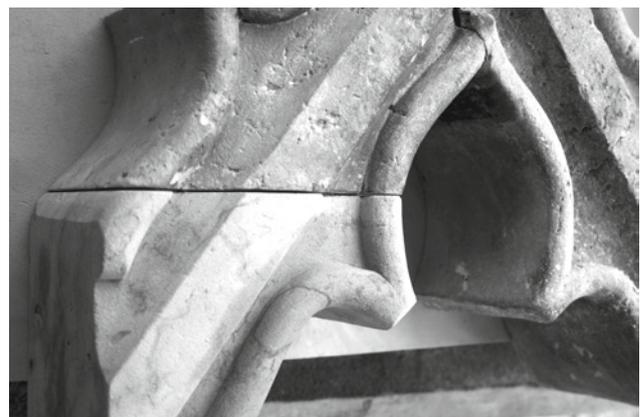
**Abb. 18:** Verklammerung von Rissen, Vorhangbogen



**Abb. 19:** Gesicherter und mit Vierungen ergänzter Vorhangbogen



**Abb. 20:** Vernadeln gebrochener Werksteine, Brüstungsplatte



**Abb. 21:** Einbau von Vierungen an konstruktiven Fehlstellen, Brüstungsplatte

durchschnittlich über einen Zeitraum von 15 Tagen bis zum Erreichen eines Plateaus der gemessenen Leitfähigkeit. Nach der Entnahme aus dem Wasserbad wurden, um die beim Trocknungsprozess an die Oberflächen tretenden verbliebenen Schadsalzionen zu binden, die Bauteile mit Zellstoffkompressen bestückt (Abb. 23).

Zur Salzreduktion der eingebaut gebliebenen Bauteile des Giebels wurden diese in situ mit einem Fertiggipsmörtel (Abb. 24) zweifach behandelt. Die Reduktion der Salzbelastung konnte mit der Analyse der Leitfähigkeit des Wasserbades und der Analyse der abgenommenen Kompressenproben nachgewiesen werden (Abb. 25, 26). [5]



Abb. 22: Salzreduktion im Wasserbad in einem mit Folie ausgekleidetem Container



Abb. 23: Aufbringen der Zellstoffkompressen nach der Behandlung im Wasserbad



Abb. 24: Antragen des Fertigkompressenmörtels an der Fassade

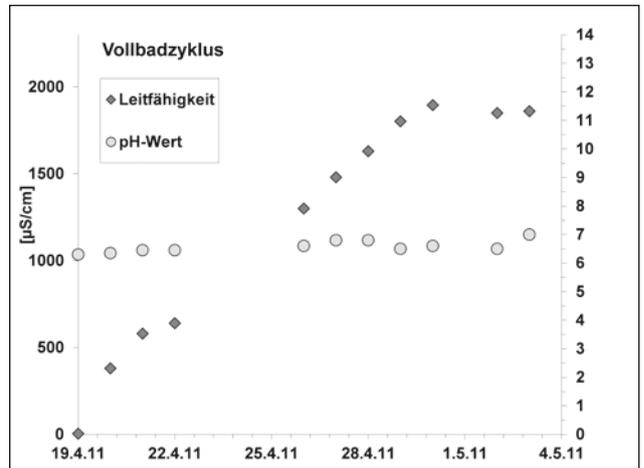


Abb. 25: Entwicklung der Leitfähigkeit und des pH-Wertes im Wasserbad (Charge Brüstungselemente)

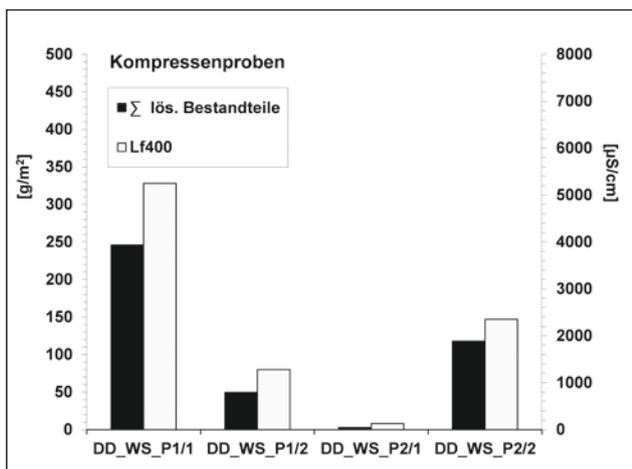


Abb. 26: Nachweis der Beladung der Fertigkompressenproben des Giebels mit löslichen Salzen

### 4.3 Notwendige statische Ertüchtigungen

Folgende statisch notwendige Ertüchtigungen wurden zur Sicherung der Bauteile und des Bauwerkes durchgeführt:

- Verklammerung/Vernadelung Giebel für den zweiten Abschnitt der Demontage
- Vernadeln gebrochener Bauteile
- Einbau einer Verankerung in den Sturz über dem Balkon (Abb. 27, 28)
- Einbau einer Verankerung in die Abdeckung/den Handlauf des Balkons (Abb. 29, 30)
- Verklammerung, Sicherung Traufgesims
- Vernadelung, Sicherung Traufgesims in die Mauerkrone
- Verklammerung Traufgesims mit Fußfette
- Vernadelung Bauteile Traufgesims, Sicherung des im Lager aufgehenden Materials



Abb. 27: Einbau eines Zug- und Halteankers für den Sturz des Mittelgiebels



Abb. 28: Anker mit den aufgeschobenen Teilen des Sturzes des Mittelgiebels



Abb. 29: Einbau eines Halteankers für die Brüstung des Balkons des Mittelgiebels



Abb. 30: Montage der Abdeckung der Brüstung des Balkons auf den Halteanker

- Vernadeln Neuteile/Vierung Traufgesims
- Stabilisierung der Ecke SW, Herstellung eines neuen Fundaments für die Pilasterbasis
- Querverankerung des Mittelrisalits durch externe Spezialfirma

#### 4.4 Wiedereinbau der demontierten Bauteile

Nach erfolgter Restaurierung der demontierten Bauteile sowie der fortschreitenden Instandsetzung des Dachstuhles und der Eindeckung konnten diese zum Ende Frühjahr 2011 mit Hilfe eines Kranes wieder eingebaut werden.

Die Arbeiten wurden wie folgt realisiert:

- Anliefern der restaurierten Bauteile und Neuteile
- Reinigen der Stoß- und Lagerfugen für die Montage
- Versetzen und Einbau der Bauteile

- Sichern der Bauteile durch Vernadeln und Verklammern
- Wiedereinbau der Schornsteinköpfe

#### 4.5 Instandsetzung der Fassade

Für die Realisierung der Instandsetzung der Fassade waren folgende Arbeiten notwendig:

- Begleitende Dokumentation der Maßnahmen
- Qualitative und quantitative Salzanalyse an den verbliebenen Teilen des Giebels
- Krustenentfernung
- Salzreduktion mittels Kompressen
- Heissdampfreinigung
- Entfernen der erreichbaren Metallteile, Dübel
- Korrosionsschutz bestehender Anker des Giebels
- Entfernen von losen Zementantragungen
- Reinigen Ankerlöcher



Abb. 31: Detailansicht der Brüstung des Balkons mit eingesetzten Vierungen



Abb. 32: Wiedermontage der instandgesetzten und Einbau der rekonstruierten Bauteile



Abb. 33: Ergänzung Fehlstellen von Pilaster und Quadermauerwerk mit Antragungen



Abb. 34: Farbliche Retusche der Antragungen

- Verpressen von Rissen
- Herstellen und Einbau von Vierungen
- Wiedereinbau der demontierten Bauteile und Versetzen der Neuteile (Abb. 31, 32)
- Steiner Ergänzung an Fläche, Profil, Ornament als Antragung mit mineralischem Steiner Ergänzungsmörtel (Abb. 33)
- Farbbretusche der Antragungen (Abb. 34)
- Verfugen aller offenen und gereinigten Fugen

- Mineralischer Natursteinkleber
- 2K-Epoxidharzkleber
- Edelstahl
- Steiner Ergänzungsmörtel, Korn 0,5 mm
- Kalk NHL 3,5
- Trasskalk
- Gewaschener Sand 0/2 (Ottendorf-Okrilla)
- Mineralische Silikatfarbe
- Natürliche Pigmente

#### 4.6 Verwendete Materialien

Folgende Materialien wurden für die Restaurierung der Bauteile, der Fassade und des Mauerwerks aus Elbsandstein verwendet:

- Entmineralisiertes Wasser (Ionentauscher)
- Kompressenputz
- Steinfestiger auf KSE-Basis
- Mineralischer Injektionsmörtel

## 5 Restauratorische Befunde, Schlussbetrachtung

### 5.1 Restauratorische Befunde

Die Restaurierung der Fachwerkkonstruktion und deren Holzverschalung sowie der Putzfläche des Mittelsalits und der gesamten Innenräume erfolgte durch Dipl. Restaurator Markus Schulz, Dresden. Bei der



Abb. 35: Scharrier-/Beilspuren, auch über die Fugen des Quadermauerwerks



Abb. 36: Befund von gelblicher und roter Fassung auf den Fugen



Abb. 37: Reste roter Farbpigmente in der Fuge



Abb. 38: Dreiecksgiebel und Wappen über dem Eingangportal mit ockerfarbener Fassung

gemeinsamen Begehung der Fassade wurde folgendes festgestellt:

- Nachträgliches Überscharrieren/Überbeilen des gesamten Quadermauerwerks der Fassade, da Bearbeitungsspuren auch auf den Fugen (Abb. 35)
- Befunde von gelblichen und roten Farbfassungen auf und in den Fugen des Quadermauerwerks (Abb. 36, 37)
- Reste einer ockerfarbenen Farbfassung am Portal (Abb. 38)

Es wird vermutet, dass ursprünglich die gesamte Fassade eine helle oder ockerfarbene Farbfassung mit aufgemalten Fugen hatte. Hierzu gibt es jedoch keine gesicherten Erkenntnisse.

## 5.2 Schlussbetrachtung

Erst nach dem Abrüsten der Südfassade 2011/12 ließ sich die Wirkung der instandgesetzten Sandsteinbe-

reiche der Fassade beurteilen. Hierbei ist generell festzuhalten, dass es sehr starke Kontraste zwischen den Neuteilen, den neuen Fugen und den alten Bereichen gibt.

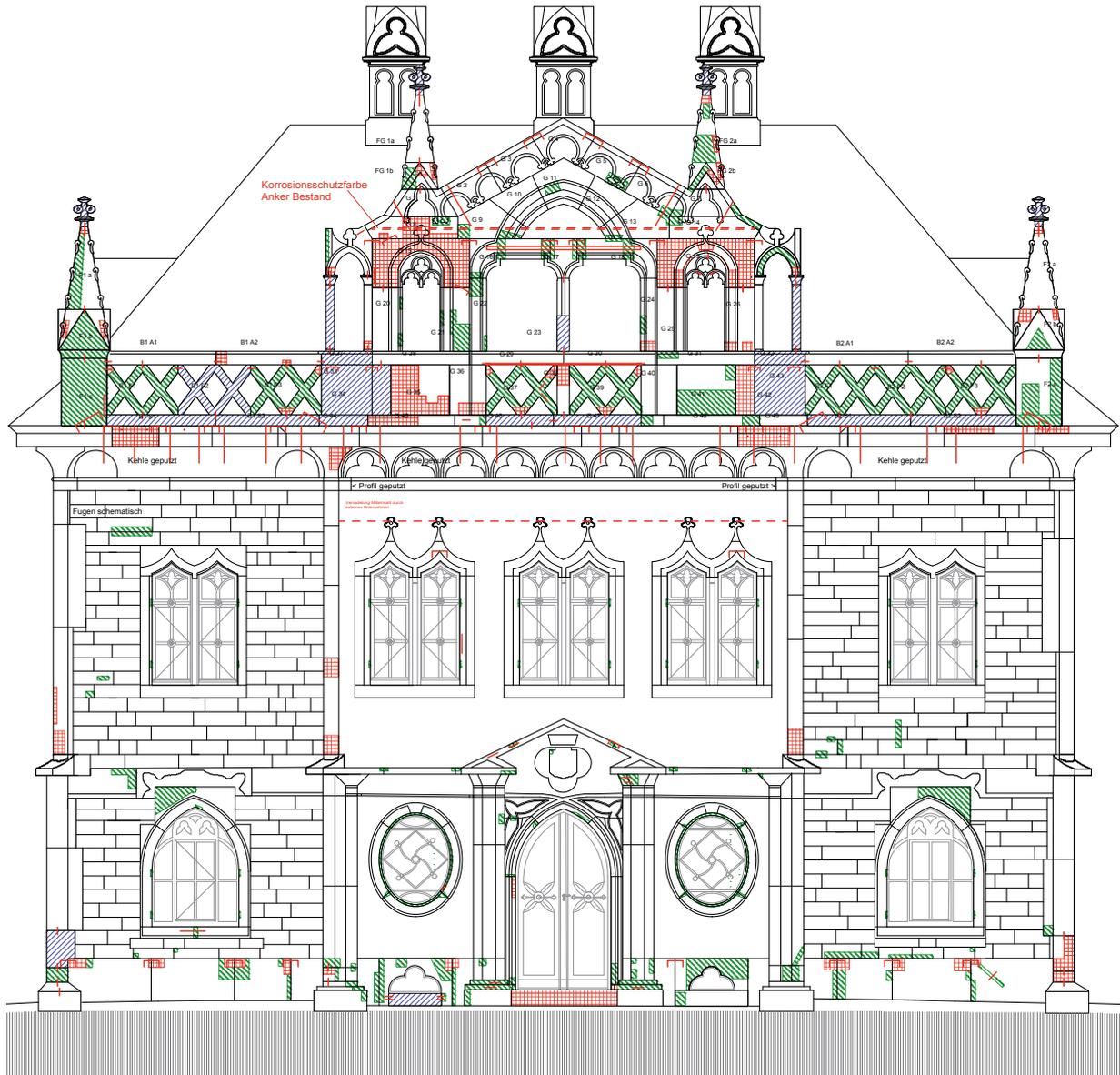
Aufgabe ist es einen Dreiklang zwischen den Farbtönen der Bauteile der Sandsteinfassade, der Holzverschalung und der Fenster zu schaffen. Die Neuteile in der Sandsteinfassade können zu erkennen sein, diese dürfen jedoch das Gesamtbild nicht durch einen zu starken Kontrast beeinträchtigen.

Ein kompletter Anstrich der Sandsteinfassade wird derzeit ausgeschlossen. Es gibt Rekonstruktionsansätze zum Fond-Ton, jedoch sind die Befunde zu gering, um damit eine fundierte Aussage zur historischen Farbigkeit und Farbgestaltung der Südfassade zu treffen.

Bei der abschließenden Begehung und Begutachtung mit allen Beteiligten wurde die Möglichkeit erörtert, die

hellen Neuteile mit einer Lasur an die Farbigkeit des Bestandes anzugleichen. Die Ausführung hat an einer Probefläche zu erfolgen und ist nach nochmaliger Abstimmung auf die restlichen Neuteile anzuwenden. Ebenfalls festgelegt wurde, dass die Putzfläche des Mittelrisalites keinen gleichmäßigen Anstrich erhält. Der patinierte Eindruck bleibt erhalten, nur reparierte

Stellen werden angeglichen. Bisher erfolgte jedoch keine Beauftragung für die Ausführung des farblichen Anpassens der neuen Steine. So ist abzuwarten inwieweit die natürliche Bewitterung die Flächen der neuen Sandsteinteile dem originalen Bestand angleicht.



Legende Maßnahmenkartierung	
	Neuteil
	Vierung
	Vernadelung, Klammer, Anker
	Antragung SEM

Waldschlösschen Dresden Denkmalgerechte Sanierung									
Zeichnung	Ansicht Süd								
Bauherr	Privat								
Planung	Steinmetz & Bildhauerwerkstatt Sandner Am Kohlenplatz 16, 01099 Dresden Telefon 0351 2147735								
Planungsphase	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Datum</td> <td>Bearbeiter</td> <td>Maßstab</td> <td>Plan-Nr.</td> </tr> <tr> <td>12.02.2012</td> <td>Sandner, M.</td> <td>M 1-100</td> <td>MK 03-1_Süd</td> </tr> </table>	Datum	Bearbeiter	Maßstab	Plan-Nr.	12.02.2012	Sandner, M.	M 1-100	MK 03-1_Süd
Datum	Bearbeiter	Maßstab	Plan-Nr.						
12.02.2012	Sandner, M.	M 1-100	MK 03-1_Süd						

Abb. 39: Ausschnitt der Maßnahmenkartierung der Südseite



Abb. 40: Ansicht des Historischen Waldschlösschens von Südosten nach der Restaurierung

## Literatur

- [1] Rieger, A.: „Altes Waldschlösschen“ - Denkmalpflegerische Zielstellung, unver. Bericht; Dresden, 1998
- [2] Laudel, H.: Marcolinis Waldschlösschen - Staffageobjekt in einer landschaftlichen Szenerie, unver. Manuskript, Vortrag; Dresden, 2010
- [3] Sturm, A.: Waldschlösschen Dresden Denkmalpflegerische Dokumentation von bauhistorischen Befunden und Bauetappen, unver. Bericht; Dresden, 2011
- [4] Franzen, C.; Zötzl, M.: Jagdhaus Waldschlösschen, Untersuchungen zur Feuchte- und Salzbelastung, IDK-Bericht DD10/2011, unver. Bericht; Dresden, 2011
- [5] Franzen, C.: Waldschlösschen, Begleitung der Entsalzung, IDK-Bericht DD73/2011, unver. Bericht; Dresden, 2011

## Abbildungen

- Abb. 1: Stich von G.F.Thormeyer aus „Dresden mit seinen Prachtgebäuden und schönsten Umgebungen“, Verlag Heinrich Rittner, Dresden, 1808/09
- Abb. 2, 7: Architektengemeinschaft Milde + Möser, Pirna
- Abb. 3: Albrecht Sturm, Pirna
- Abb. 26, 27: Christoph Franzen, IDK, Dresden
- Abb. 40: Holger Schütze, Dresden

Alle anderen Fotos und Zeichnungen stammen von den Verfassern.

Dipl.-Ing. Andreas **Bewer**  
Beratender Ingenieur Ingenieurkammer BW  
Hauffstraße 45, 73765 Neuhausen  
www.bewer.de

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

Dr.-Ing. Ralph **Egermann**  
Beratender Ingenieur  
BfB • Büro für Baukonstruktionen GmbH  
Rastatter Str. 25, 76199 Karlsruhe  
www.bfb-ka.de

Dipl.-Ing. Erich **Erhard**  
Technischer Leiter  
TORKRET GmbH  
Langemarckstrasse 39, 45141 Essen  
www.torkret.de

Hans-Dieter **Jordan**  
Restaurator  
TORKRET GmbH, Standort Kassel  
Am Lossewerk 5, 34123 Kassel  
www.torkret.de

Dipl. Arch. ETH Annette **Loeffel**  
Stv. Münsterarchitektin Bern  
Berner Münster-Stiftung  
Wasserwerksgasse 7, CH - 3000 Bern 13  
www.bernermuensterstiftung.ch  
www.haerberli-architekten.ch

Dipl.-Ing. Jörg **Möser**  
Architektengemeinschaft Milde + Möser  
Wachwitzrund 56, 01326 Dresden  
j.moeser@m-m-architekten.de  
www.m-m-architekten.de

Dr.-Ing. Gabriele **Patitz**  
Ingenieurbüro für Bauwerksdiagnostik und  
Schadensgutachten (IGP)  
Alter Brauhof 11, 76137 Karlsruhe  
www.gabrielepatitz.de

Dipl.-Ing. Markus **Sandner**  
Architekt  
Planungsbüro Sandner für Architektur & Naturstein  
Lauterbachstraße 74a, 53639 Königswinter  
www.architekt-sandner.de

Sebastian **Sandner**  
Steinmetz- und Steinbildhauermeister  
Steinmetz & Bildhauerwerkstatt Sandner  
Am Kohlenplatz 16, 01099 Dresden  
www.stein-sandner.de

Christoph **Schläppi**  
Architekturhistoriker  
Berner Münster-Stiftung  
Seidenweg 24, CH - 3012 Bern  
www.bernermuensterstiftung.ch  
www.christophschlaeppi.ch

Dipl.-Ing. Ralf **Schuster**  
Freier Architekt  
BAREZ + SCHUSTER GMBH  
Lenzstraße 3, 76137 Karlsruhe  
www.barez-schuster.de

Prof. Dr.-Ing. Sylvia **Stürmer**  
HTWG Konstanz, Fakultät Bauingenieurwesen  
Brauneggerstr. 55, 78462 Konstanz  
stuermer@htwg-konstanz.de

Peter **Völkle**  
Steinmetz- und Steinbildhauermeister  
Betriebsleiter Münsterbauhütte Bern  
Berner Münster-Stiftung  
Langmauerweg 18, CH - 3011 Bern  
www.bernermuensterstiftung.ch

Dr. Eberhard **Wendler**  
Diplomchemiker  
Fachlabor für Konservierungsfragen  
in der Denkmalpflege  
Mühlangerstr. 50/I, 81247 München  
e.wendler@t-online.de

ISBN 978-3-8167-9167-6



Hochschule  
für Technik  
Stuttgart

Fakultät B, Bauingenieurwesen



IGP Ingenieurbüro  
Dr. Ing. Gabriele Patitz

in Zusammenarbeit mit



Baden-Württemberg

REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTART  
LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE

