1

96. Jahrgang
Januar 2019, S. 58 – 67
ISSN 0932-8351

Sonderdruck

Bautechnik

Zeitschrift für den gesamten Ingenieurbau

Dom zu Erfurt St. Marien – Instandsetzung und Ertüchtigung der Kavaten

DR.-ING. HANS-JÖRG VOCKRODT
Fachbereichsleiter Instandsetzung Massivbrücken

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

INVER

MC
BE SURE. BUILD SURE

DOI: 10.1002/bate.201800079

Hans-Jörg Vockrodt

Dom zu Erfurt St. Marien – Instandsetzung und Ertüchtigung der Kavaten

Eng mit der Stadt Erfurt und ihrer Geschichte verbunden haben die Baumeister des Mittelalters mit den Stiftskirchen St. Marien und St. Severi zwei Gotteshäuser auf dem Domberg geschaffen, die weit über die Grenzen Thüringens ein beeindruckendes Zeugnis gotischer Kirchenbaukunst geben. Die Besonderheit hier der Domhügel „mons Sancti Severi – Berg des heiligen Severus", welcher nach Osten hin steil abfällt und durch großartige mehrgeschossige gewölbte Substruktionen, die Kavaten, umbaut ist. Dieser Beitrag beschreibt neben der beeindruckenden Baugeschichte aktuelle Instandsetzungsmaßnahmen zum Erhalt der Kavaten. Nach einer Analyse des Bauwerkszustands und Formulierung der Instandsetzungsziele werden die gesteinsrestauratorische Instandsetzung und die Erneuerung des Oberbaus erläutert. Abschließend wird auf die im Rahmen der Baumaßnahme durchgeführte experimentelle Tragfähigkeitsbewertung eingegangen.

Keywords Dom, Erfurter; Kathedrale; Gotik; Kavate; Substruktion; Unterbau; Natursteinmauerwerk; Instandsetzung; Ertüchtigung; Tragfähigkeitsuntersuchung, experimentelle

Cathedral Church of St Mary, Erfurt – repair and restoration of the vaulted arches

The medieval master builders of Erfurt created two churches that are inseparately linked with the city and its history – the collegiate churches of St Mary and Severus – on the Cathedral Hill, or Domberg, both impressive examples of Gothic church design that are famous far beyond the borders of Thuringia. What is unusual here is the Cathedral Hill, "mons Sancti Severi – mountain of Saint Severus", sloping away steeply to the east and enclosed by massive, multi-storey substructures in the form of vaulted arches. In addition to the impressive history of the construction, this article also describes the latest repair measures to support the vaulted arches. After an analysis of the structural condition and the formulation of the repair objectives, the stone restoration and the renewal of the upper structure are explained. Finally, the experimental load-bearing capacity evaluation carried out as part of the building measures is discussed.

Keywords Erfurt Cathedral; cathedral; Gothic; vaulted arches; substructure; base; natural stone masonry; repair; restoration; experimental load-bearing capacity investigation

1 Krone der Stadt Erfurt – Krone mittelalterlicher Baukunst

Am Ende des Mittelalters um 1500 gab es in Erfurt 36 Kirchen mit fast 40 Kirchtürmen. Diese das Stadtbild prägende Turmlandschaft soll der Überlieferung nach MARTIN LUTHER veranlasst haben, der Stadt den Beinamen „Erfordia turrita – türmereiches Erfurt" zu geben. Betrachtet man die auch heute noch großartige Stadtsilhouette, wird diese von den auf einem Hügel über der Stadt erbauten Stiftskirchen St. Marien und St. Severi dominiert. Beide Kirchen sowie der Domberg als Ganzes zeigen sich als ein gewaltiges und zugleich elegantes mittelalterliches Bauensemble, welches in Deutschland seinesgleichen sucht (Bild 1).

Der engstens mit der Missionstätigkeit des heiligen Bischofs BONIFATIUS verbundene, 81 m hohe Dom „Ecclesia Beatae Mariae Virginis – Kirche der seligen Jungfrau Maria" besteht aus einer Synthese von Kirchenräumen aus mehreren Bauperioden, wobei nachfolgend der Hohe Chor mit seinen gewaltigen Substruktionen im Vordergrund stehen soll [1, 2].

Wie einer gotischen Minuskelinschrift über dem Eingang der Krypta zu entnehmen ist, erfolgte am 25. März 1349 zum Fest Mariä Verkündigung die Grundsteinlegung zum Neubau eines 26 m hohen Chors, welcher seinen Abschluss in der heutigen Form 1370–1372 fand. Mit der Steilkonstruktion des Hohen Chors erhob sich fortan die

Quelle: HANS-JÖRG VOCKRODT

Bild 1 Domberg zu Erfurt mit den Stiftskirchen St. Marien und St. Severi – Duett von beeindruckender Schönheit
Cathedral Hill in Erfurt with the collegiate churches of St Mary and St Severi – a duo of impressive beauty

Bild 2 Längsschnitt durch den Dom St. Marien: links das spätgotische Hallenlanghaus, mittig der Mittelturm mit Glockenstube und „Gloriosa", rechts der Hohe Chor mit der Krypta und den gewaltigen Substruktionen darunter
Longitudinal section through the Cathedral of St Mary: on the left, the Late Gothic nave, in the middle, the central tower with belfry and "Gloriosa", on the right is the chancel with the crypt and massive substructures below

Gotik im Zusammenspiel von Stein und Glas zu ihrer reinsten Form im Baugefüge des Doms.

Für den Neubau des Domchors auf dem nach Osten hin steil abfallenden Hügel waren eine Ummauerung und Abstützung sowie eine damit verbundene Erweiterung der natürlichen Erhebung notwendig. Dies geschah durch hohe Stützpfeiler, welche durch segment- oder rundbogige Tonnen überwölbt sind. Der Bau der Kavaten (hergeleitet vom lateinischen cavus: hohl, gewölbt) genannten dreigeschossigen Substruktionen wurde etwa um 1320 begonnen und bis 1329 vollendet. Die Kavaten umschließen mit einer Gesamthöhe von bis zu 16 m zwei übereinanderliegende Kellergeschosse und die Krypta als dritte Etage (Bild 2).

Im Gegensatz zu dem massiven Mauergebäude der romanischen Kirchen sind die gotischen Kathedralen ein Skelettbau, bestehend aus Spitzbögen, Rippengewölben, Säulen und Strebebögen. Der Mauerwerksbereich dazwischen ist kein tragendes Bauteil mehr und kann durch große Fenster durchbrochen oder gar ersetzt werden. Diese so mögliche, fast schwerelose bauliche Transparenz rufen auch die gotischen, 18 m hohen Bildfenster des Erfurter Domchors hervor. 13 der 15 Fenster sind in einem Zeitraum von ca. 1380 bis nach 1416 entstanden und geben dem Dom jene Feierlichkeit, die gotischen Kathedralen zumeist eigen ist. Ihres Alters, ihrer Farbigkeit, ihrer Größe und Vollständigkeit am ursprünglichen Einbauort wegen gehören die Fenster im gotischen Chor zu den bedeutendsten ihrer Zeit im deutschen Sprachraum. Die Auflösung der umschließenden Wand des Chors besitzt einen so hohen Grad, dass die Fenster wie eine geschlossene farbige Glaswand den Betrachter umgeben

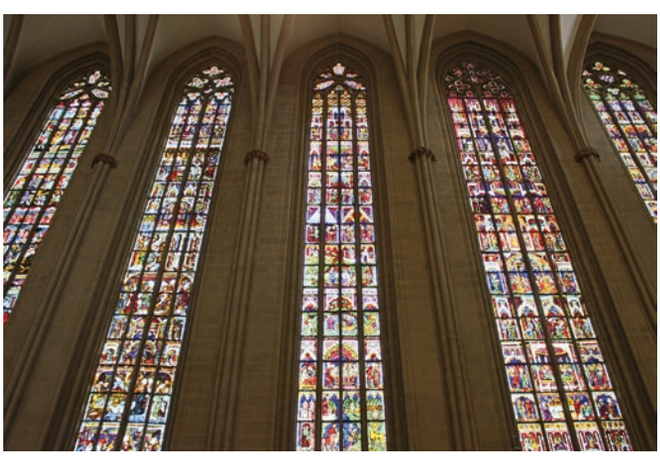
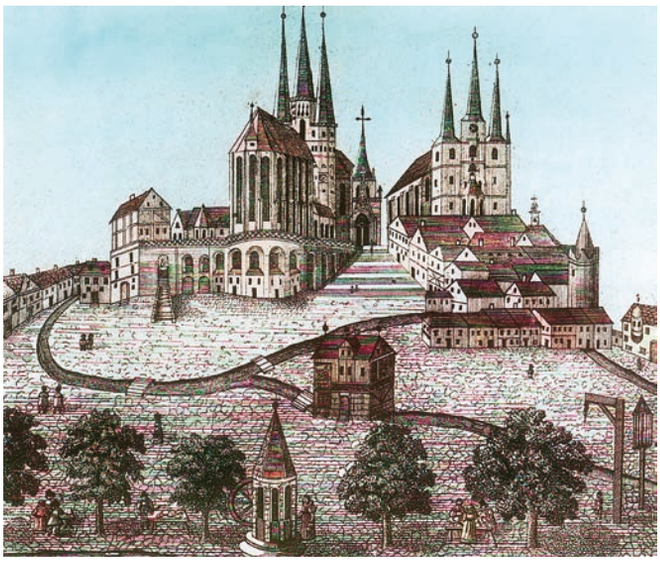


Bild 3 Zyklus farbiger Glasfenster im Domchor: Die Fenster sind außerbiblischen Heiligenlegenden gewidmet und zeigen von links nach rechts Darstellungen aus der Legende des Heiligen Kreuzes, Szenen aus dem Leben des heiligen Bonifatius, die Legende vom heiligen Eustachius, die Katharinenlegende und die Apostelmartyrien
The cycle of stained glass windows in the choir: The windows are dedicated to the lives of the non-biblical saints and show, from left to right, illustrations from the legend of the Holy Cross, scenes from the life of St. Boniface, the legend of St. Eustace, the legend of St. Catherine and the Apostle Martyrdoms

und so tatsächlich eine Aura des Transzendentalen entfalten (Bild 3). Dargestellt sind Szenen aus der Bibel und verschiedene Heiligenlegenden. Aufgrund der kirchengeschichtlichen Bedeutung ist das Bonifatiusfenster mit szenischen Darstellungen aus dem Leben des heiligen Bonifatius besonders hervorzuheben (Bild 4). Ausgebaut und in den Kavaten eingelagert überstanden die gotischen Bildfenster auch den Zweiten Weltkrieg unversehrt.

Quelle: Stadtarchiv Erfurt

Bild 4 Bonifatiusfenster – Weihe des Erfurter Doms durch den heiligen Bonifatius
Boniface window – Consecration of the Erfurt Cathedral by St. Boniface



Quelle: Stadtarchiv Erfurt

Bild 5 Lithografie – Domberg mit bebautem Platz „Vor den Graden" um 1598
Lithography – Cathedral Hill with the square "Vor den Graden" built on, around 1598

Im Jahre 1861 erhielt die Plattform über den Kavaten, welche sich um den Fuß des Doms zieht, einen Belag aus Granitplatten. Nach Norden und Osten wird die Plattform durch eine filigrane Maßwerkbrüstung begrenzt.

Der Hohe Chor des Erfurter Doms ist ein Höhepunkt hochgotischer Baukunst in Deutschland, wobei die ingenieurtechnische Leistung, die mit der Idee, der Planung und der Errichtung der Kavaten verbunden war, nicht minder hoch einzuschätzen ist. Eine solch gewaltige Substruktion findet man außer in Erfurt an kaum einem anderen mittelalterlichen Kirchenbauwerk in Europa.

Der Domstift gebrauchte die Kavaten aber auch zur Erlangung von Einnahmen und vermarktete sie als Wohnstätten. So standen unter den Kavaten bis ca. 1820 Häuser (Bild 5). Eine Nutzung für Kaufläden und Lagerräume erscheint aufgrund des Handels, der schon zu damaliger Zeit rege auf dem Platz „Vor den Graden" betrieben wurde, wahrscheinlich.

Insgesamt handelt es sich um neun Kavaten, wobei die fünf nördlichen Kavaten (Kavaten 1–5) eine Stützweite von ca. 3,5–5 m und die vier östlichen Kavaten (Kavaten 6–9) eine Stützweite von ca. 6,5 m besitzen, welche sich zum Dom hin auf ca. 3 m verjüngt (Bild 6).

Wie an anderen Dombauwerken sind auch am Erfurter Dom und insbesondere an den Kavaten im Laufe der Jh. ständig Instandsetzungsarbeiten notwendig gewesen. So findet sich in den Chroniken ein Brief des Kanonikus Joh. Lambert Winter an den Erzbischof und Kurfürsten von Mainz aus dem Jahre 1645, in dem er den Bauzustand wie folgt beschreibt: „Das abgenommene Stück der Kavaten ist nicht wiederumb erbauet. Der Steinbelag fehlt und die Gewölbe werden vollends zerstört, eine Glocke hat einen Riß." Auch aus den Jahren 1833 und 1860 sind Erneuerungsmaßnahmen dokumentiert. Hier wurden Kavatengewölbe abgetragen und neu ausgeführt.

Der Erhalt der Kavaten war und ist eine ständige Aufgabe im Kontext sich verändernder infrastruktureller Rahmenbedingungen (z. B. Verkehrsbelastungen). Hierbei besteht die Herausforderung in der Findung ingenieurtechnischer Lösungen, die sich im Einklang mit den Anforderungen des Denkmalschutzes befinden. Nachfolgender Beitrag zur aktuell abgeschlossenen Instandsetzung und Ertüchtigung der Kavaten des Doms zu Erfurt St. Marien dokumentiert dies anschaulich.

2 Bauwerkszustand der Kavaten

Zur Erfassung des Bauwerkszustands der Kavaten erfolgte eine Untersuchung der nördlichen und östlichen Kavaten. Im Rahmen dieser wurden an allen Gewölbeinnenflächen die statisch-konstruktiv relevanten Mauerwerksschäden erfasst, dokumentiert und kartiert (Bild 7). Durch ergänzende Sondierungen und endoskopische Erkundungen war es möglich, die Gewölbedicken im Scheitel- und in den Kämpferbereichen der Kavaten zu ermitteln. Auf Basis der durchgeführten Analysen konnte der Bauwerkszustand wie folgt beschrieben werden [3].

Das äußere sichtbare Mauerwerksgefüge ist bereichsweise unterschiedlich ausgebildet. Das Mauerwerk kann zumeist als unregelmäßiges Schichtenmauerwerk eingestuft werden. Die Größe der verbauten Steine und damit der Fugenanteil variieren stark. Verbaut sind hauptsächlich dichte Kalksteine (Muschelkalk) mit den bekannt hohen Druckfestigkeiten > 50 N/mm^2 und Travertine mit den in Abhängigkeit vom Gehalt an Makroporen schwankenden

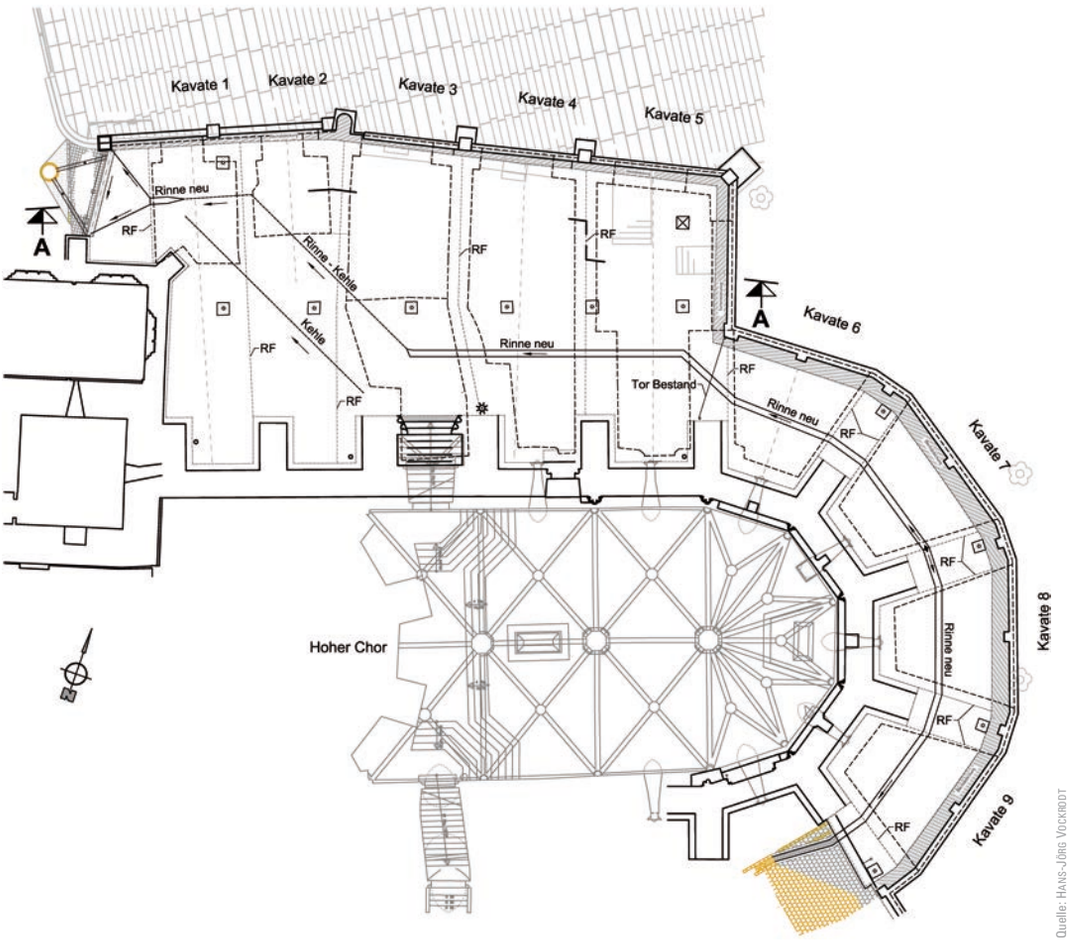


Bild 6 Kavaten – Grundriss – Zustand nach der Instandsetzung und Ertüchtigung
Vaulted arches – outline – condition after repair and restoration

Festigkeiten von 20–40 N/mm^2. In geringem Umfang sind Sandsteine mit einem vergleichbar hohen Porenvolumen verbaut. Aus Voruntersuchungen war bekannt, dass der Mauermörtel gering fest ist und seine Bindemittelzusammensetzung schwankt. Im Wesentlichen handelt es sich um Kalkmörtel mit einem teilweise hohen Ton-Lehm-Anteil. Infolge lang anhaltender Durchfeuchtung und Bindemittelaussinterungen wird der bereits festgestellte deutliche Festigkeitsverlust des Mauermörtels bestätigt. Die Mauerwerkskörper sind stark feuchtebelastet. Besonders hohe Feuchtegehalte sind erwartungsgemäß im Mauermörtel und Sandstein vorhanden. Der dichte Kalkstein kann aufgrund seiner Porosität deutlich weniger Wasser aufnehmen. Die Mauerwerkskörper sind zu-

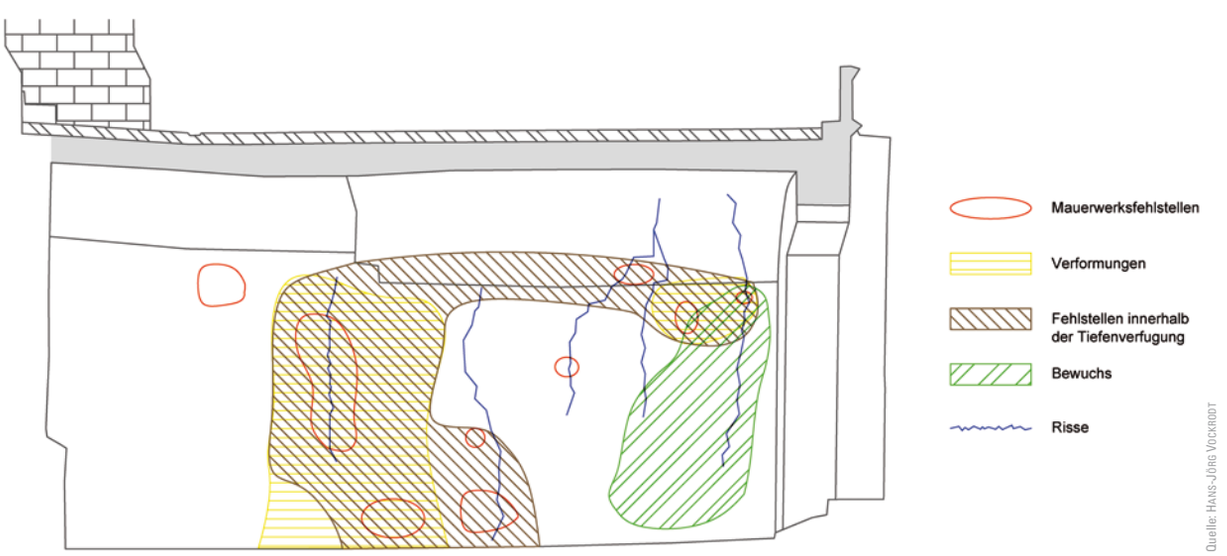


Bild 7 Kavate 4 – Schadenskatasterplan
Vaulted arch 4 – damage survey plan

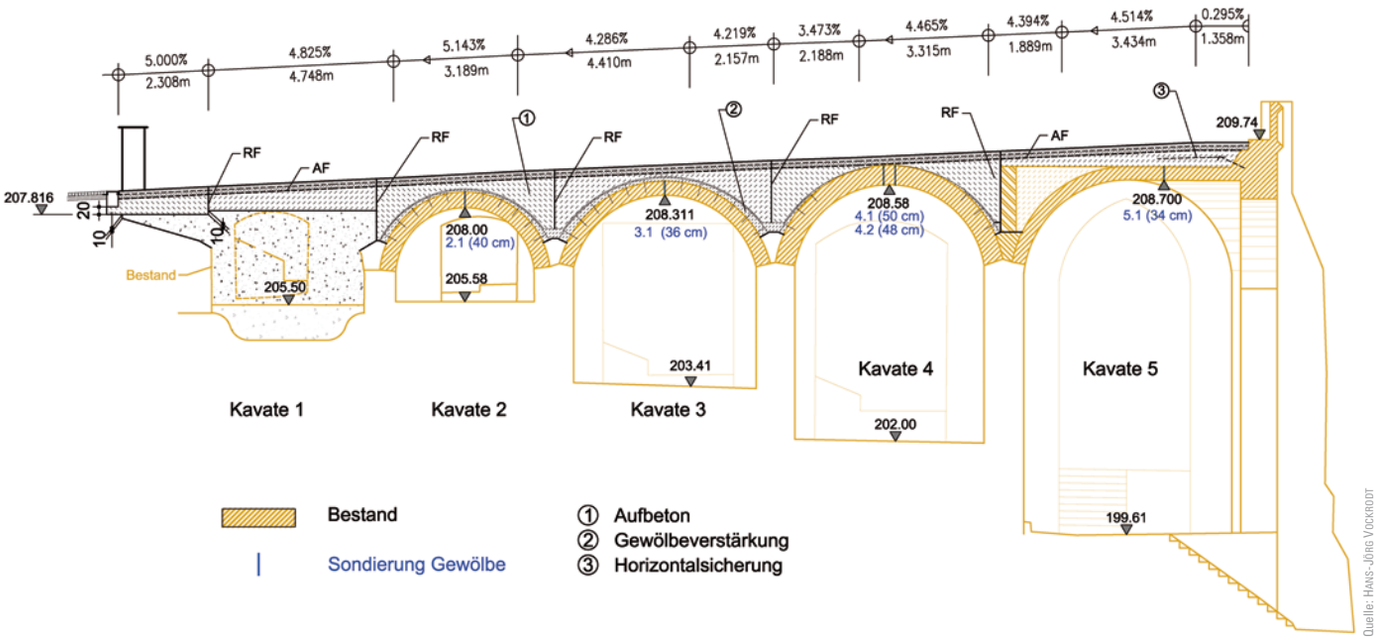


Bild 8 Kavaten – Längsschnitt A–A – Zustand nach der Instandsetzung und Ertüchtigung
Vaulted arches – longitudinal section A–A – condition after repair and restoration

sätzlich mit bauschädlichen Salzen belastet. Nachgewiesen wurden geringe Konzentrationen bauschädlich wirkender Salzverbindungen der Chloride und Nitrate sowie mittlere Konzentrationen an Sulfaten. Durch die vorhandene Durchfeuchtung des Mauerwerks liegen die Salze in gelöster Form vor. Bei einer allmählichen Austrocknung kommt es deshalb an den Oberflächen zur Aufkonzentration von Salzen.

Das vorhandene statisch-konstruktiv relevante Schadensbild zeigte Mauerwerksfehlstellen (fehlende Steine, Ausbrüche im Mauerwerksverband, stark geschädigte Steinsubstanz, Gefügeschäden, Bröckelzerfall), Verformungen (lokal begrenzte Mauerwerksverformungen, Ausbauchungen, Versätze), Risse (Risse über mehrere Steinlagen hinweg, Abrisse zwischen Gewölbe und Wänden), Fehlstellen innerhalb der Tiefenverfugung (fehlende Fugen mit mehr als 5 cm Tiefe, Fugen mit Bewuchs) und Aussinterungen (großflächige Kalkaussinterungen, Bindemittelverluste). Zudem war eine massive Durchfeuchtung des gesamten Mauerwerks festzustellen (Bild 7).

Gemäß den Kriterien einer Bauwerksprüfung nach DIN 1076 war die Stand- und Verkehrssicherheit der Kavaten 1, 2 nicht mehr gegeben, der Kavaten 3, 4, 9 gefährdet und der Kavaten 5–8 nur noch eingeschränkt vorhanden. Die Dauerhaftigkeit musste an allen Gewölben der Kavaten als nicht mehr gegeben beurteilt werden. Eine Beseitigung der statisch-konstruktiv relevanten Schäden war daher zwingend zeitnah geboten.

Bereits im Jahre 2002 erfolgte eine Erneuerung des Oberbaus über den Kavaten. Im Rahmen dieser wurde als Dichtung eine 1 cm dicke Bentonitmatte eingebaut. Ein Jahrzehnt später musste eingeschätzt werden, dass diese Instandsetzungsmaßnahme nicht zielführend war. Durch Belastungen aus Baustellenverkehr sowie dem spezifischen Materialverhalten des Bentonits (Schrumpf- und Quellverhalten innerhalb von Austrocknungs- und Befeuchtungsperioden) trat eine Beschädigung der Dichtung ein, sodass diese nicht mehr funktionstüchtig war. Infolge der schadhaften Bentonitdichtung kam es zu einer weiter voranschreitenden massiven Durchfeuchtung des Mauerwerks der Kavaten, wobei das anfallende Wasser aus der Oberflächenberegnung und der Dachentwässerung des Hohen Chors über Fallrohre resultierte. Die Durchfeuchtung führte in Verbindung mit Frost-Tauwechseln und infolge des schon bestehenden bereichsweise fehlenden Verbunds zwischen Mörtel und Stein zu Gefügelockerungen innerhalb der Gewölbe, die als primäre Ursache der oben beschriebenen statisch-konstruktiv relevanten Schäden anzusehen sind.

3 Instandsetzungsziele und Projektbeteiligte

Die erste Zielstellung im Rahmen der erforderlichen Gesamtinstandsetzung der Kavaten war die Realisierung einer nachhaltigen Bauwerksabdichtung im Zusammenhang mit der Erneuerung des Oberbaus auf den Gewölben einschließlich der Herstellung eines nahezu wasserdichten Oberflächenbelags in Korrespondenz mit einer neu zu konzipierenden Oberflächenentwässerung (Bilder 6, 8).

Eine zweite Zielstellung bestand in der gesteinsrestauratorischen Instandsetzung der statisch-konstruktiv relevanten Mauerwerksschäden an den Gewölben der Kavaten 2–9. Kavate 1 war hiervon ausgenommen. Das Gewölbe von Kavate 1 wurde hinter einer zurückgesetzten Schildmauer aus Sandstein denkmalgerecht reversibel mit grobkörnigem Material verfüllt.

Als dritte Zielstellung war ein statischer Nachweis für die nördlichen Kavaten 2–5 zu führen. Hinsichtlich des Besucherverkehrs musste hier die Bergung aus einer Gefahrensituation betrachtet werden, infolgedessen die Plattform über den genannten Kavaten mit einem Feuerwehrleiterwagen zu befahren ist. Da eine rechnerische Nachweisführung nicht zielführend erreicht werden konnte, kam nur eine experimentelle Tragfähigkeitsbewertung in Betracht.

Die Bauzustandsanalyse, Planung, Ausschreibung und Bauüberwachung zur Instandsetzung der Kavaten oblagen der INVER – Ingenieurbüro für Verkehrsanlagen GmbH in Erfurt. Die Erstellung des Instandsetzungskonzepts für das Natursteinmauerwerk einschließlich der damit verbundenen Materialauswahl erfolgte in Kooperation mit der MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG. Für die Bauwerksuntersuchung zeichnete die IBW – Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung GmbH verantwortlich. Die experimentelle Tragfähigkeitsuntersuchung realisierte Trabert+Partner – Ingenieurbüro für Statik und Konstruktion. Ausführende Baufirmen waren die Bennert Ingenieurbau GmbH sowie die Nüthen Restaurierungen GmbH. Auftraggeber war das Dombauamt Erfurt in Person des Dombaumeisters.

Da die gesamte Bausubstanz am Dom unter Denkmalschutz steht, hatten in enger Abstimmung mit dem Landesamt für Denkmalpflege die Kriterien einer denkmalschutzgerechten Instandsetzung und Ertüchtigung oberste Priorität.

4 Gesteinsrestauratorische Instandsetzung der Kavaten

Im Rahmen der durchgeführten gesteinsrestauratorischen Instandsetzung der Gewölbe der Kavaten 2–9 wurden Mauerwerksfehlstellen, Fehlstellen innerhalb der Tiefenverfugung und Risse als statisch-konstruktiv relevante Schäden am und im Mauerwerk beseitigt (Bild 7). Dies war notwendig, um die Standsicherheit, die Verkehrssicherheit und die Dauerhaftigkeit der Gewölbe wiederherzustellen.

Zu einem späteren Zeitpunkt, nach fortgeschrittener Austrocknung des Mauerwerks, können dann die Innenleibungen der Gewölbe, aber auch die Außenseiten der Pfeiler überarbeitet werden. Hierzu zählt neben einer flächenhaften Reinigung einschließlich der Entfernung von Aussinterungen und der Ausbesserung kleiner Abplatzungen auch eine Deckverfugung im oberflächennahen Bereich.

4.1 Ergänzung von Fehlstellen im Mauerwerk

Ziel der Arbeiten war es, fehlende ganzformatige Werksteinblöcke, fehlende Steine, Ausbrüche im Mauerwerksverband sowie bestehende Steine mit starken Schäden in der Steinsubstanz zu ergänzen bzw. auszutauschen. Dabei wurden die zuvor definierten Fehlstellen bearbeitet, aber auch die umliegenden Steine auf Schäden in der Steinsubstanz geprüft und gegebenenfalls ausgearbeitet. Als Ergänzungen kamen ganze Werksteine oder auch Vierungen aus Kalkstein zum Einsatz. Teilweise wurden aufbereitete Werksteine aus dem Rückbau verwendet. Die Oberflächenstruktur und Steinansichten lehnten sich an den umgebenden Bestand an (Bild 9).

Quelle: HANS-JÖRG VOCKRODT

Bild 9 Ergänzung von Mauerwerksfehlstellen mit statischer Sicherung durch Holzschalung
Completion of masonry defects with timber formwork for structural safety

4.2 Ergänzung von Fehlstellen innerhalb der Tiefenverfugung

Als Fehlstellen innerhalb der Tiefenverfugung waren fehlende Fugen mit mehr als 5 cm Tiefe sowie Fugen mit tief verwurzeltem Bewuchs definiert. Nach dem mechanischen Ausräumen und der Reinigung der Fugen erfolgte die Tiefenverfugung bis ca. 3 cm hinter die Steinvorderkante zur Gewährleistung gleicher Tiefen für den späteren Eintrag einer Deckverfugung und zur Stabilisierung des Mauerwerks. Der Verfugungsmörtel wurde mittels Injektionslanzen im Niederdruckverfahren vollvolumig eingebracht (Bild 10). Sowohl für den Verfugungsmörtel als auch für den Maurermörtel kam ein sulfatbeständiger, alkali- und schwindarmer mineralischer Mörtel zur Anwendung.

4.3 Risssanierung

Bei vorhandenen Versätzen sowie Abrissen zwischen Gewölbe und Pfeilern war vor der eigentlichen Risssanierung bereichsweise eine Vernadelung erforderlich. Nach Herstellung von entsprechenden Bohrungen und dem Einbringen eines Ankermörtels mittels Injektionsdüsen erfolgte hierfür der Einbau von Nadeln aus V4A-Gewindestahl ∅ 12 mm.

Nach dem Ausräumen und der Reinigung der Risse wurden diese mit einem sulfatbeständigen schwindarmen mi-

Quelle: HANS-JÖRG VOCKRODT

Bild 10 Fertiggestellte Tiefenverfugung
Completed in-depth pointing

Quelle: HANS-JÖRG VOCKRODT

Bild 11 Einbau der bewehrten Gewölbeverstärkung
Installation of reinforced vaulting support

neralischen Mörtel über Injektionslanzen geschlossen. Die Risstiefen betrugen im Durchschnitt 45 cm, die Rissbreiten > 2–5 cm. Die betreffenden Risse wurden analog zur Tiefenverfugung bis ca. 3 cm hinter die Steinvorderkante verfüllt.

5 Erneuerung Oberbau – Bauwerksabdichtung

Die Erneuerung des Oberbaus über den Gewölben der Kavaten umfasste nach der Beräumung des vorhandenen Oberbaus sowie der Verfüllung von Kavate 1 die Ausführung einer Gewölbeverstärkung über den Kavaten 2–4, den Einbau eines Aufbetons, der Dichtung und des Oberflächenbelags. Der Einbau des Oberflächenbelags stand dabei in Korrespondenz mit der Oberflächengestaltung sowie der Oberflächenentwässerung (Bilder 6, 8).

5.1 Beräumung, Säuberung und Reprofilierung

Zu Beginn der Arbeiten fand eine Beräumung der aus dem Jahre 1861 stammenden, ca. 20 cm dicken Granitplatten des Oberflächenbelags der um den Chor führenden Plattform statt. Im Anschluss daran konnte die vorhandene Verfüllung auf den Gewölben, die aus Splitt, Bentonit sowie einem Lehm-Mineralgemisch bestand, entfernt werden. Die Gewölbeoberflächen wurden mit einem geeigneten, wasserarmen Strahlverfahren gesäubert, sodass ein einwandfreier Verbund zwischen Mauerwerk und dem späteren Beton der Gewölbeverstärkung bzw. Aufbeton hergestellt werden konnte. In Bereichen sichtbarer Gewölbeschwächungen (z. B. Fallen, Ausbrüche, Einarbeitungen usw.) erfolgte eine Mauerwerks-Reprofilierung.

5.2 Gewölbeverstärkung

Die Gewölbe der Kavaten 2–4 mussten zur Sicherung ihrer Tragfähigkeit ertüchtigt werden. Dies war aufgrund sondierter zu geringer Gewölbedicken erforderlich. Die genannten Gewölbe wurden mit einer Gewölbeverstärkung aus bewehrtem Beton C 30/37 versehen. Die gewählte Betonklasse korrespondiert dabei mit der vorhandenen Mauerwerksfestigkeit. Die Gewölbeverstärkung war mit dem Bestandsgewölbe zu verdübeln (Dübel ∅ 10 mm, Edelstahl). Die Dicke der Gewölbeverstärkung variiert von 8 cm im Scheitelbereich bis 27 cm in den Kämpferbereichen (Bild 11).

5.3 Aufbeton

Über der Verfüllung von Kavate 1 sowie auf den Gewölben der Kavaten 2–9 erfolgte der Einbau eines bewehrten Aufbetons C 30/37 mithilfe einer im Severihof aufgestellten Autobetonpumpe.

Durch den Aufbeton wird eine mögliche Horizontalbelastung auf die vorderen Stirnmauern ausgeschlossen, die Ursache von oft festzustellenden, nach außen gerichteten Verformungen ist und meistens aus ungebundenen Gewölbeüberschüttungen in Verbindung mit Pumpbewegungen aus den jährlichen Frost-Tauperioden resultiert. Zur Sicherung der Stirnmauern wurde zusätzlich eine Horizontalsicherung (Dübel ∅ 10 mm, Edelstahl) und im Bereich des Kreuzgewölbes von Kavate 5 ein Ringanker eingebaut. Horizontalsicherung und Ringanker binden in die Oberflächenbewehrung des Aufbetons ein.

Des Weiteren wird durch den Aufbeton ein standfester Unterbau zur Aufnahme der Bauwerksdichtung geschaffen. Da sich die Bauwerksdichtung auf dem Aufbeton somit unmittelbar unter der Oberfläche befindet, wird gleichzeitig die Funktion der Abdichtung der Stirnmauerrückseiten realisiert.

Zur Aufrechterhaltung des Tragverhaltens der Gewölbe werden die Gewölbe und der Aufbeton auf den Gewölben durch einen bituminösen Anstrich konstruktiv voneinander getrennt. Im Bereich der Gewölbe-Kämpferpunkte sind Raumfugen RF angeordnet, die bis in den Oberbau führen. Auch diese sind für ein korrektes Tragverhalten

Quelle: Hans-Jörg Vockrodt

Bild 12 Herstellung der Bauwerksabdichtung
Production of structure waterproofing

Quelle: Hans-Jörg Vockrodt

Bild 14 Blick auf die Oberfläche der instand gesetzten Kavaten
View across the surface of the repaired vaulted arches

der Gewölbe notwendig. Die an der Oberfläche sichtbaren Fugen nehmen optisch die Achsen der Chorpfeiler auf.

5.4 Abdichtung

Nach Behandlung der Oberfläche des Aufbetons mit einer Kratzspachtelung wurde als Dichtung eine Bitumenschweißbahn nach ZTV-Ing, Teil 7, Abschn. 1 eingebaut (Bild 12). Als Dichtungsschutz fungiert eine 4,5 cm starke Gussasphalt-Schutzschicht. Aufgrund der herzustellenden schwierigen Oberflächengeometrie erfolgte ein händischer Einbau.

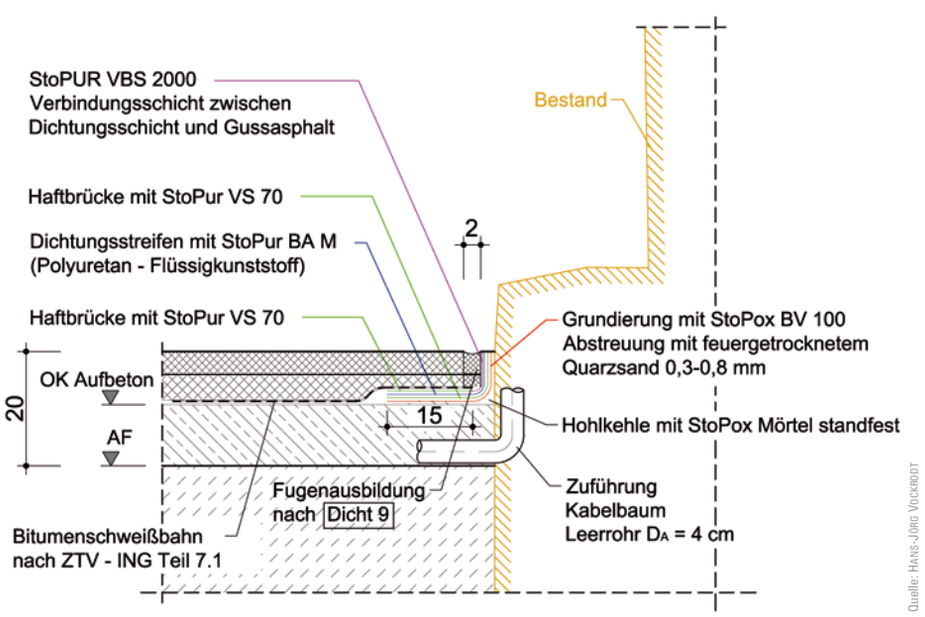
In den seitlichen Anschlussbereichen geht die Dichtung in eine Flüssigkunststoffdichtung über, um so den geometrisch stark variierenden Anschluss zur Domfassade und zur Rückseite der Brüstungssteine der Stirnmauern zu ermöglichen (Bild 13).

5.5 Oberbau

Den oberen Abschluss des Oberbaus bildet eine Gussasphalt-Deckschicht, die analog der Gussasphalt-Schutzschicht händisch einzubauen war. Zur optischen Gestaltung erhielt die Gussasphalt-Deckschicht eine Einstreuung aus gelblichem Splitt in farblicher Anpassung an den Sandstein des Hohen Chors (Bild 14).

5.6 Entwässerung

Die Ableitung des Oberflächenwassers in der neu konzipierten Oberflächenentwässerung wird über eine flache Rinne in Trapezform mit einer 30 cm breiten Sohle bzw. einen Rinnenbereich im Oberflächenbelag realisiert. Der Hochpunkt des Rinnenlängsgefälles liegt zwischen den Kavaten 7 und 8. Das über Fallrohre an der Domfassade abgeführte Wasser vom Dach des Hohen Chors wird offen über die Oberfläche abgeleitet und in einer



Quelle: Hans-Jörg Vockrodt

Bild 13 Anschluss der Dichtung an Domfassade und Brüstung
Connection of waterproofing to cathedral facade and spandrel

Quelle: JOSEF TRABERT

Bild 15 26-t-Lkw in höchster Laststufe auf Kavate 5
26 t truck with maximum load level on vaulted arch 5

sich am westlichen Ende befindenden Kastenrinne gefasst (Bild 6).

6 Experimentelle Tragfähigkeitsbewertung

Für das Kreuzgewölbe von Kavate 5 wurde aus Gründen vorliegender unterschiedlicher Materialien sowie unterschiedlich vorhandener äußerer und innerer Mauerwerksstrukturen, die eine regelkonforme rechnerische Nachweisführung mit vertretbarem Aufwand nicht zuließen, eine experimentelle Tragfähigkeitsbewertung durchgeführt [4]. Kavate 5 gilt dabei aus geometrischer Sicht als repräsentativ für alle nördlichen Kavaten 2–5.

Nachzuweisen war die Befahrbarkeit der Plattform über Kavate 5 mit einem Feuerwehrfahrzeug. Real handelt es sich um das Befahren durch einen Feuerwehrleiterwagen mit einer Gesamtlast von 165 kN. Als Versuchsziellast wurde daher unter Einbeziehung eines globalen Sicherheitsfaktors die Befahrung durch einen 26-t-Lkw festgelegt.

Das Versuchskonzept bestand aus einer schrittweisen Lasteinleitung in Stufen mit jeweils nachfolgender Entlastung bei gleichzeitiger Beobachtung und Bewertung entsprechender Tragwerksreaktionen, wobei die Lasteinleitung in Form der Befahrung mit dem ausgewählten 26-t-Lkw in fünf Beladungsstufen erfolgte (Bild 15).

Als Tragwerksreaktionen wurden als Messgrößen Bauwerksverformungen betrachtet. Die der nächsten Laststufe entsprechende Belastung sollte dabei erst nach positiver Beurteilung der Reaktionen zur vorangegangenen Stufe eingeleitet werden. Kriterien für eine ggf. vorzeitige Beendigung des Belastungsvorgangs sind erste Anzeichen überproportional zunehmender Verformungen im Vergleich zur jeweils vorangegangenen Laststufe. Der Versuch galt als erfolgreich beendet, wenn die vorgesehene Versuchsziellast bei gleichzeitiger Einhaltung der vorgenannten Kriterien eingeleitet werden konnte [5].

Quelle: JOSEF TRABERT

Bild 16 Laserscan während der Belastungsstufen
Laser scan during loading tests

Der Messplan sah neben Wegaufnehmern zur Beobachtung der Gewölbedurchsenkung und Inklinometer zur Messung der Pfeilerneigung auch eine 3-D-Verformungserfassung mit einem Laserscanner (Bild 16) vor. Der Laserscanner ermöglicht dabei die unmittelbare flächenhafte Erfassung von Oberflächen in Form einer 3-D-Punktwolke.

In Auswertung der experimentellen Tragfähigkeitsuntersuchung lagen auch in der höchsten Belastungsstufe die Gewölbeverformungen unterhalb der Messgenauigkeit des Laserscans von 1 mm. Die Durchsenkung des Gewölbes betrug in der höchsten Belastungsstufe 0,1 mm.

Im Ergebnis der durchgeführten Belastungsversuche konnte die angestrebte Zielstellung, die Tragfähigkeit des Gewölbes von Kavate 5 für die Belastung durch einen 16,5-t-Feuerwehrleiterwagen unter Einbeziehung eines globalen Sicherheitsfaktors nachzuweisen, als vollständig erreicht angesehen werden. Da Kavate 5 repräsentativ für alle nördlichen Kavaten 2–5 untersucht wurde, gilt die Aussage für den gesamten Bereich der Plattform über den genannten Kavaten.

7 Würdigung mittelalterlicher Baukultur

Während der Dom das bedeutendste sakrale Bauwerk der Stadt ist, gilt die mit Fachwerkhäusern bebaute Krämerbrücke als das bedeutsamste profane Bauwerk. Beide Bauwerke – ein Doppelklang von einzigartiger Schönheit im Weichbild der Stadt (Bild 17). Verallgemeinert sind die Kavaten des Doms zu Erfurt St. Marien eine Gewöl-

Quelle: Gabi Müller

Bild 17 Domberg und Krämerbrücke – Symbiose mittelalterlicher Baukunst
Cathedral Hill and Krämer Bridge – a symbiosis of medieval architecture

bereihe analog der Tragkonstruktion der Erfurter Krämerbrücke. Die Kavaten des Doms und die Tragkonstruktion der Krämerbrücke wurden prinzipiell gleichartig instand gesetzt und ertüchtigt [6], wodurch der Bestand der Gesamtbauwerke auf lange Zeit und für viele nachfolgende Generationen gesichert werden konnte. Der Dom zu Erfurt St. Marien und die Krämerbrücke – beides Ausdruck und Wahrzeichen des mittelalterlichen Erfurts – gehören als Einheit unabdingbar in den Stand eines Weltkulturerbes.

„Ich möchte nicht in einer Welt ohne Kathedralen leben. Ich brauche den Glanz ihrer Fenster, ihre kühle Stille, ihr gebieterisches Schweigen. Ich brauche die Fluten der Orgel und die heilige Andacht betender Menschen. Ich brauche die Heiligkeit von Worten, die Erhabenheit großer Poesie. All das brauche ich."
Pascal Mercier

Literatur

[1] Becker, K.; Brückner, M.; Haetge, E.; Schürenberg, L. (1929) *Die Stadt Erfurt. Dom – Severikirche – Peterskloster – Zitadelle.* Burg: August Hopfer.

[2] Friedrich, V. (2001) *Der Domberg zu Erfurt.* Passau: Kunstverlag Peda Gregor.

[3] IBW – Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung GmbH (2013) *Untersuchungsbericht – Dom zu Erfurt St. Marien – Bauwerksuntersuchungen nördliche und östliche Kavaten.* Weimar.

[4] Trabert, J. (2018) *Domkavaten – Experimentelle Tragfähigkeitsbewertung.* Steckbrief. 1. Juni 2018.

[5] Vockrodt, H.-J.; Feistel, D.; Stubbe, J. (2003) *Handbuch Instandsetzung von Massivbrücken, Untersuchungsmethoden und Instandsetzungsverfahren.* Basel-Boston-Berlin: Birkhäuser Verlag.

[6] Vockrodt, H.-J. (2010) *Krämerbrücke in Erfurt – Bauwerksgeschichte und Instandsetzung der Gewölbetragkonstruktion in den Jahren 1985/86* in: Bautechnik 87, H. 4, S. 212–219.

Autor
Dr.-Ing. Hans-Jörg Vockrodt
INVER – Ingenieurbüro für Verkehrsanlagen GmbH Erfurt
Fachbereichsleiter Instandsetzung Massivbrücken
Ehrenvorsitzender des Vereins „Historische Brücken Erfurt e.V."
Walter-Gropius-Str. 9, 99085 Erfurt

Quelle: EREMEEV / WIKIPEDIA.ORG

Dom zu Erfurt St. Marien

Der Hohe Chor des Doms,
eine Kathedrale, die zum Himmel strebt,
ein Mysterium des Übergangs,
eine lichtdurchflutete Kirche
mit filigranen Buntglasfenstern,
eine Symphonie von Farben,
eine Architektur des Lichts.

„Solange ich in der Welt bin, bin ich das Licht der Welt."
Joh 9,5

Quelle: Stadtarchiv Erfurt