



Abb.: Sandner Architekten

Abb. 1: Das Plateau der ehemaligen Eckbastion, deren eigentlicher Name Dreikönigenbastion ist, markiert den südöstlichen Abschluss der Stadtbefestigung. Der Name „Alter Zoll“ bürgerte sich wegen der hier früher betriebenen Zollstation für die Rheinschifffahrt ein. Das Foto zeigt den Zustand vor der Sanierung.

Steht wieder wie eine Eins

Mauerwerk beurteilen, prüfen, sanieren, Teil 2: Instandsetzung des „Alten Zoll“ in Bonn ■ Der „Alte Zoll“ in Bonn, eine 1644 in direkter Lage zum Rhein errichtete Bastion der Bonner Stadtbefestigung, wurde zur statischen Sicherung umfangreich saniert. Um das imposante Bauwerk aus Naturstein- und Ziegelmauerwerk instand zu setzen und zu sanieren, war eine Reihe von Voruntersuchungen notwendig. Die Analyseergebnisse bildeten die Grundlage für das Sanierungskonzept und die 2017 abgeschlossenen Sanierungsmaßnahmen. **Ulf Schmidt, Markus Sandner, Holger Neugebauer, Dirk Blume und Petra Arens**

Die Bonner Stadtbefestigung schützte die Stadt Bonn über einen längeren Zeitraum ihrer Geschichte. Ein mittelalterlicher Mauerring aus dem 13. Jahrhundert wurde im 17. Jahrhundert durch Bastionen und Festungsanlagen ergänzt. Die bekanntesten Überreste sind der Alte Zoll und das Sterntor. Der Alte Zoll bildete den linksrheinischen Uferabschluss im Süden der ehemaligen Haupt- und Landesfestung Kurkölns.

Die Dreikönigenbastion ist eine ehemalige Eckbastion der Bonner Stadtbefestigung. Der Name „Alter Zoll“ hat sich

wegen der hier früher befindlichen Zollstation für die Rheinschifffahrt eingebürgert.

Das Bauwerk liegt am Hang des Rheinufer und wird zu drei Seiten – nach Norden, Osten und Süden – von massiven bis zu 15 Meter hohen Stützmauern begrenzt. Nach Westen hin läuft das Gelände in den etwas tiefer liegenden Stadtgarten aus. Die Bastion verfügt über eine Grundfläche von circa 1.000 Quadratmetern.

In der Südflanke der Bastion ist auf Rheinuferniveau das feindseitige Festungstor aus massiven Natursteinquadern zu

sehen. Heute ist es zugemauert und bildet den Rahmen für das Husaren-Ehrenmal.

Im Inneren wird das Bauwerk von einem in nordsüdlicher Richtung verlaufenden Gang durchzogen. Dessen Ausgang in das Festungsvorland war ursprünglich dieses Tor. Der stadtseitige Zugang ist durch Umbauten im 19. Jahrhundert verändert worden.

Im 18. Jahrhundert erfolgte die Entfestigung der Stadt und ihr Ausbau zur Barockresidenz. Als einziges Bauwerk überstand der Alte Zoll die Schleifung der Befestigungsanlagen 1717/18.

BAUTAFEL

Eigentümerin:

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Bauherr:

Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW

Projektleiter:

Architektin Dipl.-Ing. Christiane Feger, Dipl.-Ing. Thomas Bölsch

Beteiligte Gutachter und Planer:

MPVA Neuwied GmbH, Neuwied (Dr.-Ing. Ulf Schmidt, Dr. Petra Arens); Kühn Geoconsulting GmbH, Bonn (Dipl.-Geol. Dirk Blume); Hempel Ingenieure GmbH, Köln (Dipl.-Ing. Holger Neugebauer, Dipl.-Ing. Michael Persé); Sandner Architekten, Königswinter (Architekt Dipl.-Ing. Markus Sandner, Architektin Barbara Schmitz M. Sc., Dipl.-Geol. Thorsten Behrendt)

Beteiligte Firmen:

Pressbau Erfurt GmbH, Erfurt (Mauerwerksinstandsetzung)

Spezialtiefbauarbeiten:

SPESA Spezialbau und Sanierung GmbH, Roßwein

Die barocke Achse, die sich vom Kreuzberg über das Poppelsdorfer Sommerschloss bis zur Residenz zog, erhielt hier ihren östlichen Abschluss. Als „Schlosserrasse“ im barocken Gesamtkonzept des 18. Jahrhunderts war der „Alte Zoll“ als friedlicher Aussichtspunkt Gegenstand von Reiseliteratur und romantisch-gefühlbetonter Malerei.

Bei Begehung wurden umfangreiche Schäden festgestellt

Im Rahmen der jährlichen Verkehrssicherungsbegehungen wurden im Jahr 2012 Schäden am Mauerwerk und im Brüstungsbereich der Bastion „Alter Zoll“ festgestellt [1]. Das Schadensausmaß am Mauerwerk konnte aufgrund des starken Bewuchses mit Efeu und anderen Pflanzenarten nur begrenzt ermittelt werden (Abb. 1/2). Deshalb wurden in zwei Etappen unter Einsatz eines Hubfahrzeugs alle Seiten des Bauwerks vom Pflanzenbewuchs befreit. Durch das Freilegen und anschließende Untersuchen des Mauerwerks wurden diverse Schäden an der Baukonstruktion sichtbar (Abb. 3/4). Es bestand die Gefahr, dass Mauersteine und Fugenmaterial herabfallen.



Abb.: Sandner Architekten

Abb. 2: Über die Jahre war das Bauwerk mit Efeu zugewachsen. Die zunehmend desolate Substanz mit Rissen und Verformungen wurden erst nach dem Entfernen des Bewuchses in vollem Ausmaß ersichtlich.



Abb.: Sandner Architekten

Abb. 3: Die Südostecke drohte aufgrund von Durchwurzlung und ausgewaschenem Fugenmörtel abzugehen. Ein weiterer Grund für die massiven Schäden besteht in den nur notdürftig ausgeführten Reparaturen der Nachkriegszeit.



Abb.: Sandner Architekten

Abb. 4: Die festgestellten breiten Risse machten offensichtlich, dass das Mauerwerk gesichert und statisch ertüchtigt werden musste.



Abb.: Sandner Architekten

Abb. 5: Ende 2012 wurde das Bauwerk nach Abnahme des Bewuchses mit Strahlschutznetzen provisorisch gesichert, damit keine losen Teile in die Verkehrsflächen fallen können.





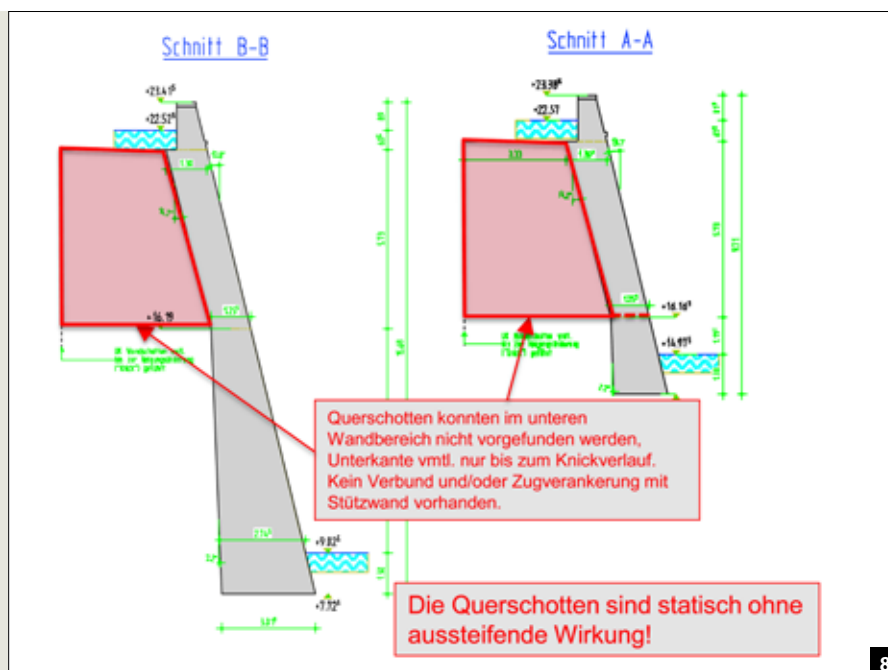
Abb.: Sandner Architekten

6



Abb.: Sandner Architekten

7



8

Abb.: Hempel Ingenieure

Abb. 6: Nach Abnahme des Bewuchses zeigten sich bei der Befahrung mit dem Hubsteiger zum Teil nur noch lose aufliegende Mauersteine, die zur Sicherung geborgen wurden.

Abb. 7: Außerdem wurden große Schalen festgestellt, die sich durch Hinterwanderung des Mauerwerksverbands durch Frost abgelöst hatten.

Abb. 8: Die Querschotten konnten für den statischen Nachweis nicht herangezogen werden.

In enger Abstimmung mit der Stadt Bonn und den Denkmalbehörden entschloss sich der Bau- und Liegenschaftsbetrieb BLB NRW Köln im November 2012 dazu, das Mauerwerk umgehend zu sichern. Hierfür wurden feinmaschige Stoffbahnen – ein sogenanntes Strahlnetz, wie es zum Abdichten bei Sandstrahlarbeiten genutzt wird – über das Mauerwerk gespannt (Abb. 5). Die eingeleiteten Sicherungsmaßnahmen dienten ausschließlich zum Schutz vor Herabfallen dem Material. Sie stabilisierten das Mauerwerk nicht.

Bestands- und Schadensaufnahme zeigt Schwächen des „Alten Zoll“

Eine erste Befahrung mit einem Hubsteiger verdeutlichte die umfangreichen Schäden am Bauwerk (Abb. 6/7). Um den überkommenen Bestand zu analysieren, wurden

- die Risse kartiert,
- ein geotechnisches Gutachten erstellt,
- die statischen Erfordernisse der Schwerkheitsmauer ermittelt,
- die verwendeten Steine erfasst und dokumentiert sowie

■ ein Gutachten zu den verwendeten Mörteln erstellt.

Die Stützwände des Alten Zolls, deren freie Wandhöhen zwischen circa 9,0 und 15,5 Meter betragen, gliedern sich in drei Bereiche: Ostseite (Rheinseite), Südseite (Bonner Stadtgarten) und Nordseite (Konviktstraße). Nach den Ergebnissen aus den Kernbohrungen weist die Mauer am Wandkopf Breiten von durchschnittlich circa 1,4 Metern und am Wandfuß von durchschnittlich rund 3,5 Metern auf. Die Wandneigungen betragen durch die verschiedenen Bauphasen zwischen etwa 3,0 und 6,0 Grad. Durch Schürfungen konnte festgestellt werden, dass die Wände am Mauerfuß im Mittel circa 0,8 bis 1,3 Meter ins Erdreich einbinden. Ebenfalls durch Schürfungen wurden erdseitig angeordnete gemauerte Wandschotten freigelegt. Diese hatten keinen Verbund und keinen Zuganschluss an das Mauerwerk der Stützwand. Ebenfalls waren die Schotten nicht bis in die Gründungstiefe geführt worden (Abb. 8).

Im Übergang der Wandschotten zum Stützwandmauerwerk war durch oberseitiges Schürfen der Abriss zu erkennen (Abb. 9). Statisch konnten die Schotten

nicht herangezogen werden. Wegen des Erddrucks versucht die Stützwand gleichzeitig, sich der Last zu entziehen, indem sie nach vorne abkippt.

Außerdem wurden zahlreiche Rissbilder, Ausbauchungen und strukturelle Schäden am Mauerwerksverband festgestellt, die auf Verwitterung und den Bewuchs zurückzuführen waren.

Der Baugrund ist für die statischen Erfordernisse maßgebend

Auf Grundlage der Geländeuntersuchungen wurde ein differenziertes Baugrundmodell entwickelt. Es diente als Grundlage für die Erddruckberechnungen, um die auf die Stützwände einwirkenden und rückhaltenen Kräfte zu ermitteln. Dabei musste berücksichtigt werden, dass bei Extremhochwasser des Rheines (BHW 100 und 200) die rheinseitige Straße geflutet wird und deshalb entsprechend hohe Grundwasserstände im Hinterfüllbereich der Stützwände zu berücksichtigen sind.

Die Trag- beziehungsweise Standsicherheitsnachweise wurden in enger Zusammenarbeit zwischen Tragwerksplanern und geo-



Abb.: Hempel Ingenieure

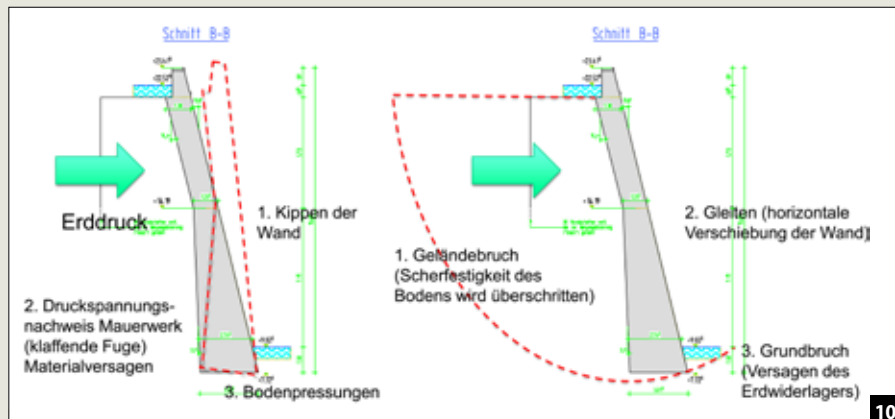


Abb.: Hempel Ingenieure

Abb. 9: Die Schürfe zeigen, dass die Wandschotten oberseitig von der Stützwand abgerissen sind.

Abb. 10: Das Versagen der Stützwände kann innerhalb der Tragstruktur (innere Versagensmechanismen) oder innerhalb des Bodenkörpers (äußere Versagensmechanismen) auftreten.

technischen Sachverständigen erbracht. Hierbei wurde neben den statischen Berechnungen eine Vielzahl von geotechnischen Ermittlungen vorgenommen:

- Erddruckberechnungen unter verschiedenen Bemessungssituationen,
- Stützwandberechnungen, um die Ausnutzungsgrade der Gleit- und Grundbruchsicherheit zu ermitteln,
- Standsicherheitsberechnungen nach DIN 4084 [2], um die kritischen Gleitkreise und polygonalen Gleitlinien mit den höchsten Ausnutzungsgraden zu ermitteln.

An Stützwänden können spezifische innere und äußere Versagensmechanismen aufgrund der besonderen Beanspruchung aus dem einseitigen Erddruck auftreten (Abb. 10). Die inneren Versagensmechanismen führen zum Versagen innerhalb der Tragstruktur und können unterschieden werden in

- Kippversagen (keilförmiger Mauerwerkstumpf),
- Druckspannungsnachweis oder Nachweis der Klaffung,
- Überschreitung der zulässigen Bodenpressungen (inklusive Klaffung Fundament),

- Gleitversagen im Mauerwerk (Schub),
- Strukturelle Schäden (Durchwurzelung, Hohllagen, Ausbauchungen),
- mangelhafte Materialität (Fugen, Steine, Ausführungsqualität).

Die äußeren Versagensmechanismen führen zum Versagen innerhalb des Bodenkörpers. Hier sind vor allem drei Mechanismen wirksam:

- Geländebruch (Scherversagen des Bodens),
- Gleiten (horizontale Verschiebung der Wand),
- Grundbruch (Versagen des Erdwiderlagers vor der Wand).

Für den Nachweis von Stützwänden, die durch einseitigen Erddruck beansprucht werden, ist es von größter Wichtigkeit, die realen Bodenverhältnisse möglichst genau zu ermitteln. Denn mit diesen Kennwerten werden die Beanspruchungen aus dem Boden auf die Wand berechnet. Im statischen Modell, das die realen Bedingungen möglichst genau erfassen und abbilden soll, werden die festgestellten Beanspruchungen aufgebracht. Unter Ansatz sämtlicher Befunde wer-

den anschließend die statischen Nachweise erstellt.

Standsicherheit wurde durch eine Bodenvernagelung wieder hergestellt

Die Ergebnisse der Bestands- und Schadensaufnahme zu den verwendeten Baumaterialien, die Baugrunduntersuchungen und die Berechnungen der statischen Anforderungen bildeten schließlich die Grundlage, um ein Konzept für die statische Ertüchtigung und Instandsetzung des Mauerwerks zu entwickeln. Da eine genügende Standsicherheit der Stützwände nicht nachgewiesen werden konnte, erarbeiteten Tragwerksplaner und geotechnischer Sachverständiger gemeinsam ein Konzept, um die Stützwände mit einer „Rückverankerung“ in Form einer Bodenvernagelung zu ertüchtigen. Dabei wird ein ungespanntes Stahltragglied – in der Regel ein „GEWI“- oder „Ischebeck“-Stabstahltragglied – komplett mit Zementsuspension im Baugrund verpresst. Die Nägel mit einem Durchmesser von etwa 90 bis 120 Millimetern binden in der Hinterfüllung und in den unteren Lagen in die Kiessande ein. Dabei musste beim Ausbilden der Ankertaschen auf die Belange des Denkmalschutzes Rücksicht genommen werden.

Beim Planen der Vernagelung waren der begrenzte Arbeitsraum, die Baustelleneinrichtung über ein Arbeitsgerüst, die Stützwand-Querschotte und der Tunnel zu berücksichtigen. Deshalb war ein rasterartiges Vernageln mit einer regelmäßigen vertikalen Anordnung der Nagelansatzpunkte im Abstand von 1,5 bis 2,5 Meter nicht möglich. Der vertikale Abstand der Nägel wurde daher zum Teil bis auf 5,5 Meter aufgeweitet.

Erdstatisch gesehen wurde die Abstützung der Stützwand mit Mikropfählen nach DIN EN 14199 [3] betrachtet. Dieser Sanierungsansatz ist ausführungstechnisch mit einer Vernagelung identisch. Jedoch mussten auch Nachweise der „tiefen Gleitfuge“ geführt werden, was in Teilbereichen zu einer erheblichen Verlängerung der Mikropfähle führte. Während der Tragwerksplaner die Anordnung und anzusetzenden Kräfte auf die Mikropfähle ermittelte, errechnete der geotechnische Sachverständige die Pfahllängen und führte die Nachweise zur Aufnahme der Pfahlzugkräfte in den Baugrund (Abb. 11–13).

Das Bohren der Mikropfähle und die Mauerwerkssanierungen machten Arbeiten »

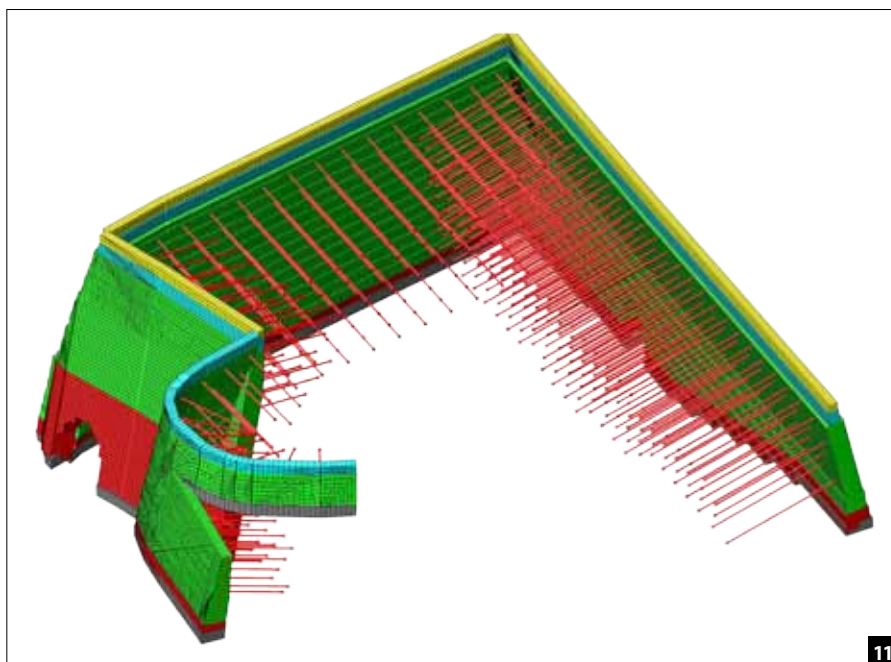


Abb.: Hempel Ingenieure

Abb. 11: Das 3D-Modell visualisiert die Ankeranordnung.

Längen zwischen rund 7,5 und 19,0 Meter ausgeführt (Abb. 14). Die Nägel sollten Bemessungs-Zuglasten von etwa 100,0 bis 230,0 Kilonewton aufnehmen. Durch eine Reihe von Zugversuchen wurde die Aufnahme dieser Zuglasten bestätigt (Abb. 15).

Insgesamt mussten lediglich fünf Nägel wegen Bohrhindernissen mit reduzierter Länge ausgeführt werden. Mit verschiedenen Verfahren konnte verhindert werden, dass Zementschlamm unkontrolliert aus den Bohrlöchern austrat. Verschmutzungen der Wand konnten so minimiert werden. Während die unteren beiden Nagelagen mit einer Selbstfahrlafette relativ problemlos gebohrt werden konnten (Abb. 16), war das Bohren „im Gerüst“ durch das Umsetzen und Einrichten des Bohrgeräts aufwendiger (Abb. 17).

Das Mauerwerk wurde nach historischem Vorbild instand gesetzt

Die handwerklichen Instandsetzungsarbeiten der Maurer und Steinmetze hatten folgenden Ablauf:

- Reinigungsarbeiten und Entfernen des biogenen Bewuchses und Wurzelwerks,
- Instandsetzen der schadhaften Fugen,
- Austauschen verwitterter, gebrochener Ziegel und Natursteine,
- Prüfen und Abarbeiten von Schalen an den verwitterten Natursteinen,
- Wiederherstellen des Verbands im Bereich von Rissen,

von einem Gerüst aus notwendig. Dementsprechend musste ein möglichst kleines Bohrgerät eingesetzt werden. Daher wurde das System „Ischebeck“ mit selbstbohrenden „Titan“-Mikropfählen ausgewählt. Im Unterschied zu üblichen Stahlstab-Systemen ist hier keine Außenverrohrung notwendig, da eine Stützflüssigkeit über den inneren Hohlraum und die Stahlspitze in das Bohrloch gepresst wird. Sie stützt

zugleich während des Bohrens das Bohrloch ab. Nachteilig gegenüber den Systemen mit Außenverrohrung ist, dass die Bohrung abgebrochen und versetzt werden muss, wenn Hindernisse auftauchen. Denn das Bohrgerät weist nur ein geringeres Drehmoment auf.

Im März/April 2015 wurde mit den Sanierungsarbeiten begonnen. Bis zum Herbst 2015 wurden insgesamt über 250 Nägel mit

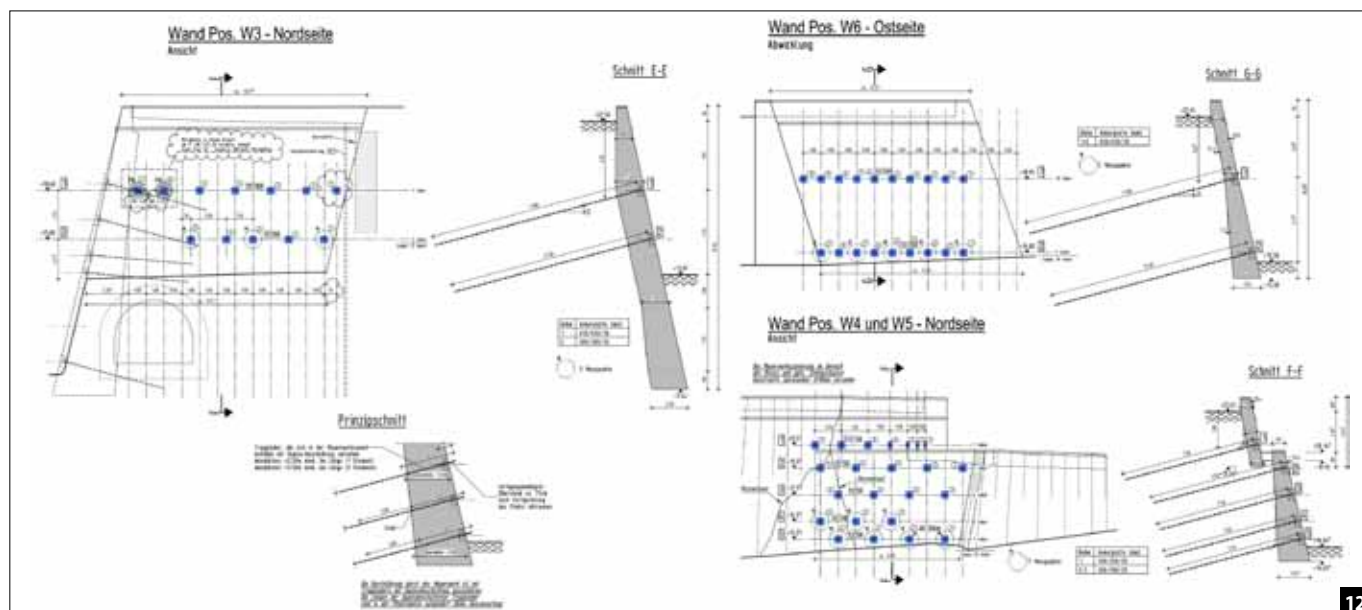


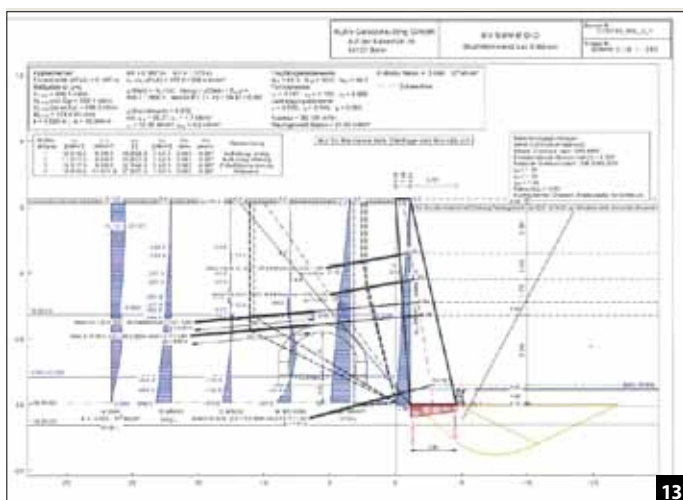
Abb.: Hempel Ingenieure

Abb. 12: Die Rückverankerung der Stützwand des Alten Zolls mittels Mikropfählen wird auch für die Ausführung detailliert geplant.

- Rück- und Wiederaufbau von durch Wurzeln zerstörter Bereiche,
- Vernadeln und Verklammern von gebrochenen Bauteilen,
- Herstellen und Verblenden der Ankeraschen nach Vorbild des Bestands,

- Dokumentieren der Instandsetzungsarbeiten.
- Besonderes Augenmerk wurde auf der bestandsgetreuen Wiederherstellung des Mauerwerksverbands gelegt. Auf Grundlage der fotografischen Doku-

mentation wurden alle desolaten Bereiche nach Vorbild des Bestands wiederhergestellt (Abb. 18). Jede der über 250 Ankeraschen wurde analog des vorhandenen Bestands nachgebildet (Abb. 19).



13

Abb. 13: Der im Bauwerk vorhandene Tunnel musste bei der Anordnung der Mikropfähle berücksichtigt werden.

Abb.: Hempel Ingenieure



14

Abb. 14: Ein massiver Einbau von Erdnägeln war besonders am Fuß der über 15 Meter hohen Stützmauer auf der Ostseite notwendig, um einen Grundbruch zu verhindern. Eine zusätzliche Anforderung war, den im Bauwerk von Süd nach Nord laufenden Tunnel bei der Vernagelung zu umgehen.

Abb.: Sandner Architekten



15

Abb. 15: Die Bemessungszuglasten der Nägel wurden mit Zugprüfungen nachgewiesen.

Abb.: Kühn Geoconsulting



16

Abb. 16: Das Bohren mit Selbstfahrlafette im Bereich der beiden unteren Lagen ermöglichte eine problemlose Ausführung.

Abb.: Kühn Geoconsulting



17

Abb. 17: Die Bohrungen vom Gerüst aus waren wegen des erforderlichen Umsetzens und neu Einrichtens deutlich aufwendiger.

Abb.: Kühn Geoconsulting



18

Abb. 18: Dank der Erfahrung der Steinmetze und Maurer konnten auch an komplizierten Stellen wie der Nordost-Ecke die massiven Eckquader ausgebaut und durch neue ersetzt werden.

Abb.: Sandner Architekten



Abb.: Sandner Architekten

19

Abb. 19: Die über 250 Ankertaschen wurden exakt nach dem fotografisch dokumentierten Vorbild des Bestands mit den entsprechenden Steinen verblendet. Je nach Einbaulage wurden die Durchmesser und Längen der Anker sowie die Ankerplatten ressourcen- und materialschonend bemessen.

Abb. 20: Die Anker sind auf dieser Seite fast vollflächig eingebaut. Nur in den Ziegelflächen lässt sich der Austausch des Materials für die verblendeten Ankertaschen noch erkennen. In den gemischten Bereichen des Mauerwerks ist der Austausch fast nicht zu erkennen.



Abb.: Sandner Architekten

20

Vielfältige Materialien bestimmen das Bild des „Alten Zoll“

Über 20 verschiedene Natursteinarten, Ziegel und Mörtel bilden heute das Mauerwerk des Alten Zolls (Abb. 20–22). Die Natursteine wurden bei der Errichtung teilweise direkt als Bruchsteine verwendet und teils als Werksteine verarbeitet eingebaut. In den Bereichen, die der Erbauungszeit um 1644 zugeordnet werden können, überwiegen Natursteine aus dem nahen Siebengebirge und einfache Feldbrandziegel.

Die in einer späteren Bauzeit ergänzten Bereiche erweitern das Spektrum der Natursteine vor allem um Materialien aus der Eifel. Außerdem finden sich wiederverwendete Werksteine, wahrscheinlich von Gebäuden, die im zweiten Weltkrieg zerstört wurden und beim Wiederaufbau sowie der Erweiterung in den 1950er-Jahren verbaut wurden. An den Materialien und Mauerwerksverbänden lassen sich die Reparaturen und Instandsetzungen aus unterschiedlichen Zeiten ablesen und die einzelnen Maßnahmen rekonstruieren.

Der Anspruch der Instandsetzung war, dass der Austausch desolater Steine erst bei differenzierter Betrachtung zu erkennen sein sollte. Hierfür wurden in einem intensiven Prozess mit der Denkmalpflege die Ersatzmaterialien festgelegt. Zum einen wurden Steine für den Ersatz verwitterter, gerissener und nicht wiederverwendbarer Steine benötigt, zum anderen für die Verblendung der ausgestemmten Ankertaschen.

Größere wiederverwendbare Fragmente der Mauerwerksquader und Naturwerksteine wurden geborgen und zu kleineren zuge richtet. Besonders sorgfältig wurden die

Reste von Werksteinen aus Drachenfels-Trachyt und von Teilen der Basaltsäulen geborgen und für eine Wiederverwendung gelagert. Beide Natursteine wurden noch bis vor 100 Jahren im nahen Siebengebirge gebrochen. Jedoch gibt es weder regional noch überregional ein äquivalentes Ersatzmaterial.

Der sorgfältige Umgang mit den vorhandenen Ressourcen bewährte sich auch beim Restaurieren des ehemaligen Festungstors auf der Südseite der Bastion, dem heutigen Husaren-Ehrenmal. Notwendige Vierungen konnten aus Bestandsmaterial gewonnen werden, das für den Wiedereinbau im Mauerwerksverband zu klein war.

Um die desolaten Eckquader der Bastion auszutauschen, musste ein neues Ersatzmaterial ausgewählt werden. Steinhöhen von 25 bis 40 Zentimetern und -längen bis zu 80 Zentimetern machten eine solche Entscheidung notwendig. Fränkischer Muschelkalk wird seit mehr als 100 Jahren im Rheinland als Ersatz für den nicht mehr verfügbaren Drachenfels-Trachyt verwendet. Er kam auch hier zum Einsatz, da sich der Muschelkalk nach einiger Zeit der Bewitterung dem ursprünglichen graubläulichen Erscheinungsbild des Trachyts annähert.

Außerdem wurden im Mauerwerksverband noch rote Eifelsandsteine und Grauwacke von der Mosel verwendet. Damit sollte dem partiell heterogenen Bild der verwendeten Naturwerksteine des Bestands Rechnung getragen werden. Dieses ist vorangegangenen Reparaturen und dem teilweisen Wiederaufbau nach dem zweiten Weltkrieg geschuldet. Um gerissene Teile der Brüs-

tungsabdeckung zu reparieren, war Basaltlava aus der Eifel verfügbar.

Für den Austausch der vielfach geschädigten Feldbrandziegel wurden umfangreich neue Ziegel bemustert. Die Wahl fiel auf einen industriell gefertigten Handformziegel. Sein Rohling wird traditionell in einer Holzform gefertigt, was für die fertigen Steine ein lebhaftes Bild ergibt. Der Brennprozess unterliegt jedoch industriellen Bedingungen. So kann günstiger gefertigt werden und die technischen Werte bleiben bei allen Steinen annähernd gleich.

Instandsetzungsmaterialien nach Materialuntersuchungen ausgewählt

Am Objekt wurden zwölf repräsentative Bereiche für die Probenahme festgelegt und Bohrkernentnahmen. Ergänzend wurden oberflächennah händisch Proben aus dem Fug- und Mauermörtel entnommen und dokumentiert.

An insgesamt 30 Proben wurde die Druckfestigkeit bestimmt. In Abhängigkeit der augenscheinlichen Beschaffenheit und unter Berücksichtigung der Lage im Bauwerk wurde der Mörtel Kategorien zugeordnet, einschließlich einer Druckfestigkeitsklasse. Die Festigkeiten des Mörtels entsprachen in großen Teilen den Festigkeitsklassen IIa bis III.

An insgesamt 20 Proben wurde der Gehalt an mauerschädlichen Salzen bestimmt. Die Belastung des Mauerwerks war als gering einzustufen. Der Gesamtsulfatgehalt war ebenfalls nicht signifikant erhöht. Lediglich lokal konnte ein erhöhter Sulfatgehalt am Brüstungsmauerwerk nachgewiesen werden sowie an drei Stellen erhöhte Nitratgehalte.



21

Abb.: Sandner Architekten

Abb. 21: Für die Wiederherstellung der Südost-Ecke wurde fränkischer Muschelkalk als Ersatz für den ursprünglichen Drachenfels-Trachyt aus dem Siebengebirge verwendet.



22

Abb.: Sandner Architekten

Abb. 22: In der sanierten südlichen Bastionsmauer mit dem restaurierten Husarenkmal liegt das ehemalige Festungstor der Bastion.

die Gefahr, dass sich Pflanzensamen und biogener Bewuchs auflagern und intakte Fugen schwächen oder in entstehenden Rissen zerstörende Frostsprengungen auftreten. Im Turnus von fünf Jahren sollte das Bauwerk daher befahren werden, um Mauerwerksverband und Fugen zu kontrollieren. Beginnende Besiedlungen mit wurzelbildenden Pflanzen sind zu entfernen sowie Bereiche mit gerissenen Fugen zu reparieren. ■

WEITERE INFORMATIONEN

Teil 1 des Artikels ist unter dem Titel „Nur wer das Mauerwerk kennt, wird erfolgreich sanieren“ in B+B BAUEN IM BESTAND 7/2018 erschienen. In ihm werden labortechnische Materialuntersuchungen für Mauerwerk erläutert sowie Hinweise für die Interpretation der Ergebnisse gegeben, um Mauerwerksinstandsetzung planen zu können.

LITERATUR

- [1] Bau- und Liegenschaftsbetrieb BLB NRW (Hrsg.): Informationsflyer zur Sanierung des Mauerwerks und Wiederherstellung des statischen Tragsystems am „Alten Zoll“ der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Köln, 2014
- [2] DIN 4084:2009-01 Baugrund – Geländebruchberechnungen
- [3] DIN EN 14199:2015-07 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Mikropfähle
- [4] DIN 52252-1:1986-12 Prüfung der Frostwiderstandsfähigkeit von Vormauerziegeln und Klinkern – Allseitige Befrostung von Einzelziegeln

AUTOREN

Dr.- Ing. Ulf Schmidt, Dr. Petra Arens
MPVA Neuwied GmbH
Neuwied

Dipl.-Geol. Dirk Blume
Kühn Geoconsulting GmbH
Bonn

Dipl.-Ing. Holger Neugebauer
Hempel Ingenieure GmbH
Köln

Architekt Dipl.-Ing. Markus Sandner
Sandner Architekten
Königswinter

B+B Bauen im Bestand24.de

SERVICE – ARCHIV

Schlagworte:
**Bauwerksdiagnostik,
Mauerwerk,
Mauerwerksinstandsetzung,
Statik, Tragwerk**



Ein erhöhtes Risikopotenzial, das einen Mörtel mit hoher Sulfatbeständigkeit notwendig gemacht hätte, konnte dagegen nicht festgestellt werden. Die Unterstopf- und Vergussmörtel der Ankerköpfe, die Injektionsmörtel für die Ankerstäbe sowie die Mauer- und Fugenmörtel wurden daher im Wesentlichen auf Grundlage ihrer Festigkeitseigenschaften ausgewählt.

Geprüft wurden auch die Eigenschaften von Bestandsziegeln sowie der neu gefertigten Ziegel, und zwar deren Wasseraufnahme, Rohdichte, Druckfestigkeit und die Frost-Tau-Wechselbeständigkeit nach DIN 52252-1 [4]. Die Ziegel wiesen eine ausreichende Frostbeständigkeit auf und konnten für die Verwendung freigegeben werden.

Es wird jährlich gemessen, ob Verformungen auftreten

Um die Stützwandverformungen zu kontrollieren, wurden auf dem Plateau drei Inklinometer-Messstellen eingerichtet. Dabei handelt es sich um Alu-Inklinometerrohre, die in verrohrten Kernbohrun-

gen bis zu einer Tiefe von 20,0 Metern eingebaut wurden.

Durch das Herunter- und Hochfahren der Inklinometer-Sonde in den Rohren wurde eine Nullmessung der Rohrlage durchgeführt. Alle weiteren Messungen ermitteln in zwei Achsen die Abweichungen der Rohrlage zur Nullmessung, sodass potenzielle Bewegungen im Hinterfüllbereich der Stützwand erkannt werden können. So traten im Juli/August 2016 im Zuge der Verdichtungs- und Landschaftsbauarbeiten geringe Verformungen < 1,0 cm auf. In den letzten vier Messungen nach Abschluss der Bautätigkeit 2017 wurden dagegen keine merkbaren Verformungen mehr festgestellt. Die Inklinometer-Messungen werden als jährliche Kontrollmessungen weitergeführt.

Damit die ausgeführten Instandsetzungsmaßnahmen am Alten Zoll dauerhaft und nachhaltig bleiben, wurden dem Bauherrn, der Universität als Eigentümerin sowie der Stadt Bonn als Nutzer ein Pflegehandbuch für die regelmäßige Inspektion und Wartung übergeben. Besonders durch die schrägen Wände der ehemaligen Bastion besteht