



Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse
und messtechnische Erfassungen

16. März 2012



Fraunhofer IRB Verlag

naturstein sanierung stuttgart 2012

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

Natursteinsanierung Stuttgart 2012

**Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen
sowie Sanierungsbeispiele**

Tagung am 16. März 2012 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

Schloss Heidelberg, Gläserner Saalbau.

Überlagerung der historischen Bauaufnahme von Julius Koch und Fritz Seitz (von 1883–1889) mit einer aktuellen Photogrammetrie (von 2004). Generallandesarchiv Karlsruhe; Landesamt für Denkmalpflege; Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung; Strebewerk.

1. Auflage

2012 Fraunhofer IRB Verlag,

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

ISBN 978-3-8167-8660-3

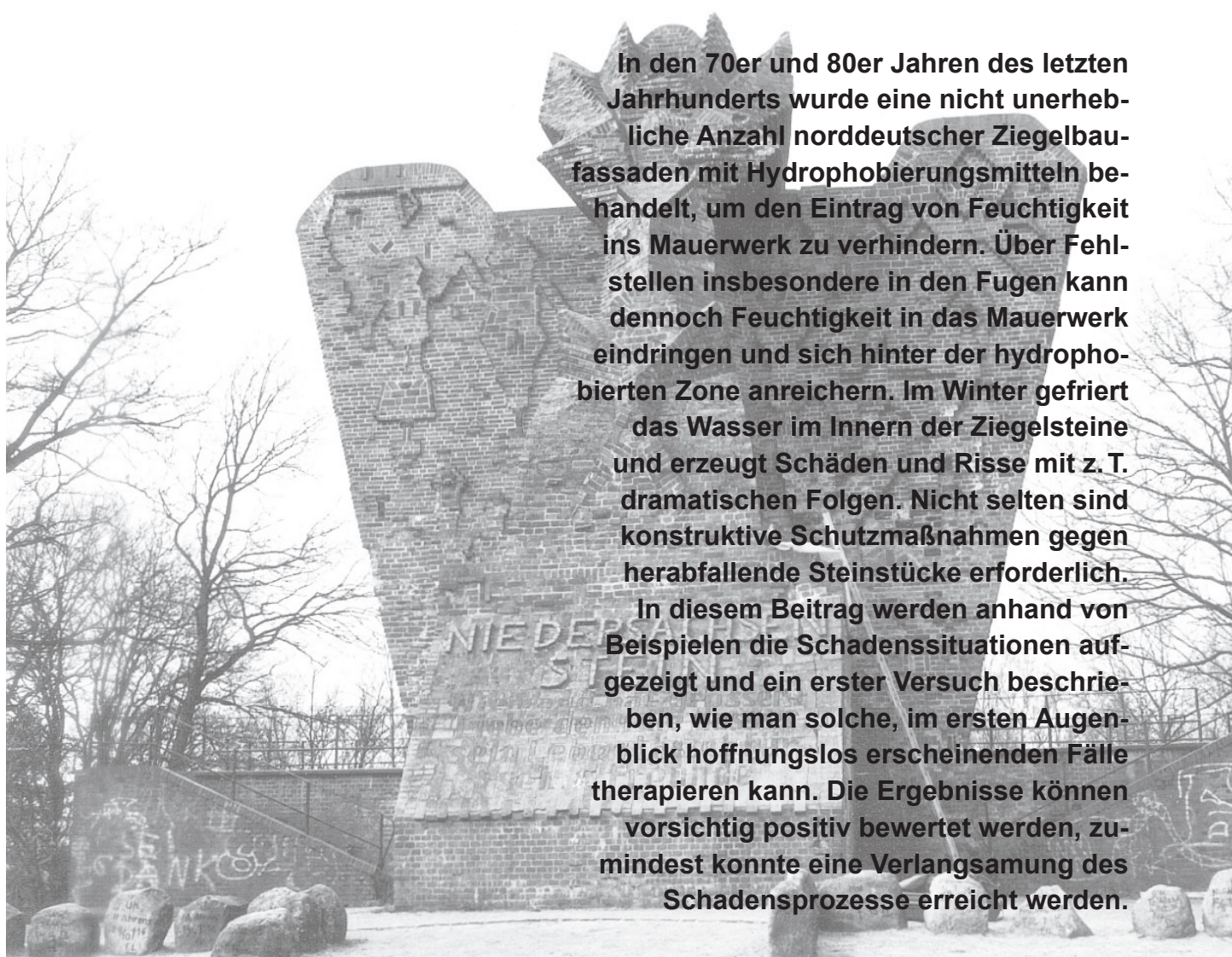
Alle Rechte vorbehalten.

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.

Schäden an hydrophobierten Ziegelmauerwerken in Norddeutschland und der Versuch einer Therapie

von Herbert Juling und Frank Schlütter



In den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts wurde eine nicht unerhebliche Anzahl norddeutscher Ziegelbaufassaden mit Hydrophobierungsmitteln behandelt, um den Eintrag von Feuchtigkeit ins Mauerwerk zu verhindern. Über Fehlstellen insbesondere in den Fugen kann dennoch Feuchtigkeit in das Mauerwerk eindringen und sich hinter der hydrophobierten Zone anreichern. Im Winter gefriert das Wasser im Innern der Ziegelsteine und erzeugt Schäden und Risse mit z. T. dramatischen Folgen. Nicht selten sind konstruktive Schutzmaßnahmen gegen herabfallende Steinstücke erforderlich. In diesem Beitrag werden anhand von Beispielen die Schadenssituationen aufgezeigt und ein erster Versuch beschrieben, wie man solche, im ersten Augenblick hoffnungslos erscheinenden Fälle therapieren kann. Die Ergebnisse können vorsichtig positiv bewertet werden, zumindest konnte eine Verlangsamung des Schadensprozesse erreicht werden.

1 Einleitung

Die Denkmallandschaft Norddeutschlands ist geprägt durch sehr viele Gebäude mit Ziegelmauerwerk. Das raue Klima mit großen Niederschlagsmengen, gepaart mit starken Luftbewegungen setzt den Fassaden stark zu. Hinzu kommt in küstennahen Gebieten der Eintrag von Salzen der Nordsee.

In den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts wurde eine nicht unerhebliche Anzahl dieser Mauerwerke mit Hydrophobierungsmitteln behandelt, um den Eintrag von Feuchtigkeit zu verhindern. Die Idee war nicht schlecht, allerdings besteht die große Gefahr, dass im Laufe der Zeit durch Fehlstellen insbesondere in den Fugen dennoch Feuchtigkeit in das Mauerwerk eindringt und sich hinter der hydrophobierten Zone verteilt und anreichert. Im Winter gefriert das Wasser bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt im Innern der Ziegelsteine und erzeugt erste Schäden und Risse, die zunächst unentdeckt bleiben. Nach vielen Frost-Tau-Wechseln zeigen sich plötzlich erhebliche Schäden, die sich im Extremfall durch Abplatzen ganzer Ziegelsteinschalen in der Dicke der hydrophobierten Zone zeigen. Das führt in nicht wenigen Fällen zu erheblichen sicherheitsrelevanten Situationen, die konstruktive Schutzmaßnahmen gegen herabfallende Steinstücke erfordern.

In diesem Beitrag werden anhand zweier Beispiele die Schadenssituationen aufgezeigt und ein erster Versuch beschrieben, wie man solche im ersten Augenblick hoffnungslos erscheinenden Fälle therapieren kann.

In einem weiteren Beispiel wird ein Schadensbild beschrieben, was ebenfalls an hydrophobierten Oberflächen auftritt, aber noch keine große Beachtung fand.

2 Beispiel 1: Bürgermeister-Smidt-Gedächtnis-Kirche in Bremerhaven

Die Bürgermeister-Smidt-Gedächtnis-Kirche (auch *Große Kirche* genannt) (Abb. 1) steht in Bremerhaven in unmittelbarer Küstennähe inmitten der heutigen Havenwelten. Das Kirchenschiff wurde 1855 vollendet, aber erst 1870 wurde der 86 Meter hohe Turm mit dem markanten ebenfalls aus Ziegelmauerwerk errichteten Pyramidenhelm fertig gestellt.

Sanierungsgeschichte

Der Turm und die Außenmauern des Kirchenschiffs überstanden den II. Weltkrieg unbeschadet, während ein Bombentreffer das Innere der Kirche völlig zer-

störte. Nach dem Wiederaufbau des Kirchenschiffes widmete man sich in mehrfachen Einzelmaßnahmen dem Turm, der bereits Verwitterungsschäden zeigte. Zur Vorbereitung umfangreicher Arbeiten wurden 1973 erste Untersuchungen durchgeführt, die die Erkenntnis brachten, dass das Mauerwerk des Turms stark durchfeuchtet ist und zudem die verwendeten Ziegelsteine als nicht frostbeständig anzusehen sind. Um weiteres Eindringen von Feuchtigkeit zu verhindern, wurde eine erste Hydrophobierung des Mauerwerks vorgenommen. Aus den Bauunterlagen geht hervor, dass ca. 2.800 m² „Rotsteinmauerwerk“ mit Funcosil AW behandelt wurden. Eine Mengenangabe ist leider nicht überliefert. Vorher wurden wohl durch die ausführende Firma Fugenausbesserungsarbeiten durchgeführt. Anfang der 1980er Jahre traten wieder größere Schäden auf, die sich durch Abplatzungen an Ziegeloberflächen zeigten. Daraufhin wurde die Fassade erneut hydrophobiert. Dabei wurden noch einmal 1.800 m² „Rotsteinmauerwerk“ behandelt, diesmal kamen 1.700 l Keim-Silex H. zum Einsatz.

Schadensanalyse

Nach weiterer dramatischer Schadenszunahme wurde bereits 1987 in einem Gutachten der Zusammenhang zwischen der hydrophobierten Oberfläche und



Abb. 1: Bürgermeister-Smidt-Gedächtniskirche in Bremerhaven



Abb. 2: Schadensbild an dem südöstlichen Ziegelpfeiler im Glockenturm der Bürgermeister-Smidt-Gedächtniskirche in Bremerhaven (2001). Bis zu einige Zentimeter dicke Ziegelschalen platzen aus dem Mauerverband.

den schalenartigen Abplatzungen hergestellt. Es wurden jedoch nur teilweise Ausbesserungen von stark geschädigten Ziegeln vorgenommen und die größten Fugenschäden geschlossen [1].

Im Jahre 2001 waren die Schäden bereits so groß, dass herabfallende Ziegelstücke Passanten und Kirchgänger zu verletzen drohten (Abb. 2). Der Kircheneingang musste durch einen Gerüstüberbau vor herabfallenden Steinteilen geschützt werden. Die Kirchengemeinde entschloss sich zu einer größeren Sanierung, die mit materialkundlichen Untersuchungen der MPA Bremen begleitet wurde. Dabei stellte sich heraus, dass die Wirksamkeit der Hydrophobierung oberhalb des am meisten geschädigten Glockenturms noch recht deutlich vorhanden war. Die bereits in früheren Gutachten beschriebene Erkenntnis der mangelnden Frostbeständigkeit der dort verbauten Ziegel bestätigte sich. [4] Es wurden Ziegelrohlichten von $1,7\text{g/cm}^3$ bei einer Wasseraufnahme von 15–17 Gew.-% ermittelt. Die bei den Probennahmen gleich-

zeitig durchgeführte Bestimmung der Materialfeuchte ergab enorm hohe Feuchtegehalte der oberflächennahen Ziegel von bis zu 13 Gew.-%, was einem Wassersättigungsgrad von bis zu 76% entsprach. Über defekte Fugen und Risse waren erhebliche Mengen an Feuchtigkeit ins Mauerwerk eingedrungen und konnten sich hinter der hydrophobierten Zone in den Ziegelsteinen anreichern. [2]

Sanierungsversuch

Leider finden sich solche dramatischen Zustände, die eine vollständige Konsolidierung zur Verhinderung weiter fortschreitender Schäden unmöglich erscheinen lassen, sehr häufig an Ziegelgebäuden in Norddeutschland. Eine Entfernung der Hydrophobierung ist nicht möglich, und eine Erneuerung der Hydrophobierung wird nach den schlechten Erfahrungen der Vergangenheit an vielen Gebäuden kontrovers diskutiert. Ein Ansatz zur Minderung des Schadpotentials besteht darin, durch Wahl geeigneter Reparaturmaterialien die im Mauerwerk befindliche Feuchtigkeit zur Abtrocknung nach außen zu transportieren bei gleichzeitiger Verhinderung von erneut eindringender witterungsbedingter Feuchtigkeit; zunächst ein offensichtlicher Widerspruch.

Es wurden Testflächen angelegt, um geeignete Mörtelmaterialien zu finden, die auch mit dem erheblichen Wasseranteil im Mauerwerk aushärten können. Nach Überlegungen und Vorversuchen im Labor wurden die Fugen der Testflächen zweischichtig aufgebaut. Als Hintermörtel wurden dabei gröbere Körnungen vorgesehen, die ein grobporigeres Mörtelgefüge ergeben, während der Deckmörtel durch ein kleineres Größtkorn der Zuschläge ein feineres Porengefüge erzeugt.

Der Vorschlag entstammt der Idee, in dem größeren Porenraum des Hintermörtels das Wasser anzusammeln und dann über die stärkeren kapillaren Kräfte des Vormörtels an die Oberfläche zu transportieren. Natürlich wird auch Regenwasser vom Vormörtel weiterhin aufgenommen, wird aber durch die weniger kapillare Wirkung des Hintermörtels nicht ungebremst weitertransportiert, so dass in Trockenphasen diese Feuchtigkeit wieder austrocknen kann.

Der umgekehrte Ansatz, in Fugenbereichen einen kapillar stärker saugenden Mörtel einzubringen und darüber ein grobporiges Material zu legen, wurde verworfen, da der Transport im äußeren Bereich dann nur verlangsamt über Wasserdampfdiffusion erfolgen kann.



Abb. 3: *Detailaufnahme des restaurierten Pfeilers im Jahre 2012 (Bürgermeister-Smidt-Gedächtniskirche in Bremerhaven)*

Soweit die Theorie! Der Erfolg dieses Vorschlags kann nur über weitere Beobachtungen und Messungen überprüft werden.

Im Jahre 2005 sind Testflächen angelegt worden. Es kamen drei Mörtelsysteme zum Einsatz: BALTUS Muschelkalk, RAJASIL Kalk-Zement-Fugenmörtel HSNA und ein SOLUBEL SP50 Luftkalkmörtel mit Hütten sandmehl als hydraulischer Anteil.

2006 wurden erste Kontrollmessungen an den Testflächen vorgenommen. Es stellte sich heraus, dass der Muschelkalk-Mörtel aufgrund des hohen Feuchte-

angebots des Untergrundes nicht genügend ausgehärtet war. Der Kalk-Zement-Mörtel wie auch der hydraulische Luftkalkmörtel hatten dagegen eine zufriedenstellende Festigkeit erreicht. Aufgrund der denkmalpflegerischen Akzeptanz wurde entschieden, für die Maßnahmen der Konsolidierung des Mauerwerks das Luftkalksystem zu verwenden. Die schadhafte Ziegel wurden mit Ziegelsteinmaterial gleicher Eigenschaften ausgetauscht und das schadhafte Fugennetz konsolidiert.

Im Jahre 2012 (nach einer mehrwöchigen Regenperiode) erfolgte eine zweite Kontrolle der Mauerfeuchtigkeit an denselben Testflächen (Abb. 3).

Das Ergebnis kann vorsichtig optimistisch betrachtet werden. Die im untersuchten Turmbereich vorliegenden (mittlerweile sechs Jahre stehenden) Fugen sahen optisch erfreulich stabil aus. Es lagen keine Fugenflankenabrisse vor, und an den Ziegelsteinen sind keine weiteren Abplatzungen aufgetreten. In Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Feuchteprofile an einer Testfläche aus den Jahren 2006 und 2012 dargestellt. Zusätzlich sind die Feuchtwerte der im gleichen Bereich erfolgten Bohrkernentnahme zur Bestimmung der Ziegeleigenschaften aus dem Jahre 2003 eingetragen. Der äußere Ziegel ist bereits nach einem Jahr deutlich trockener, während der Feuchteverlauf in die Tiefe hinein zwischen 2006

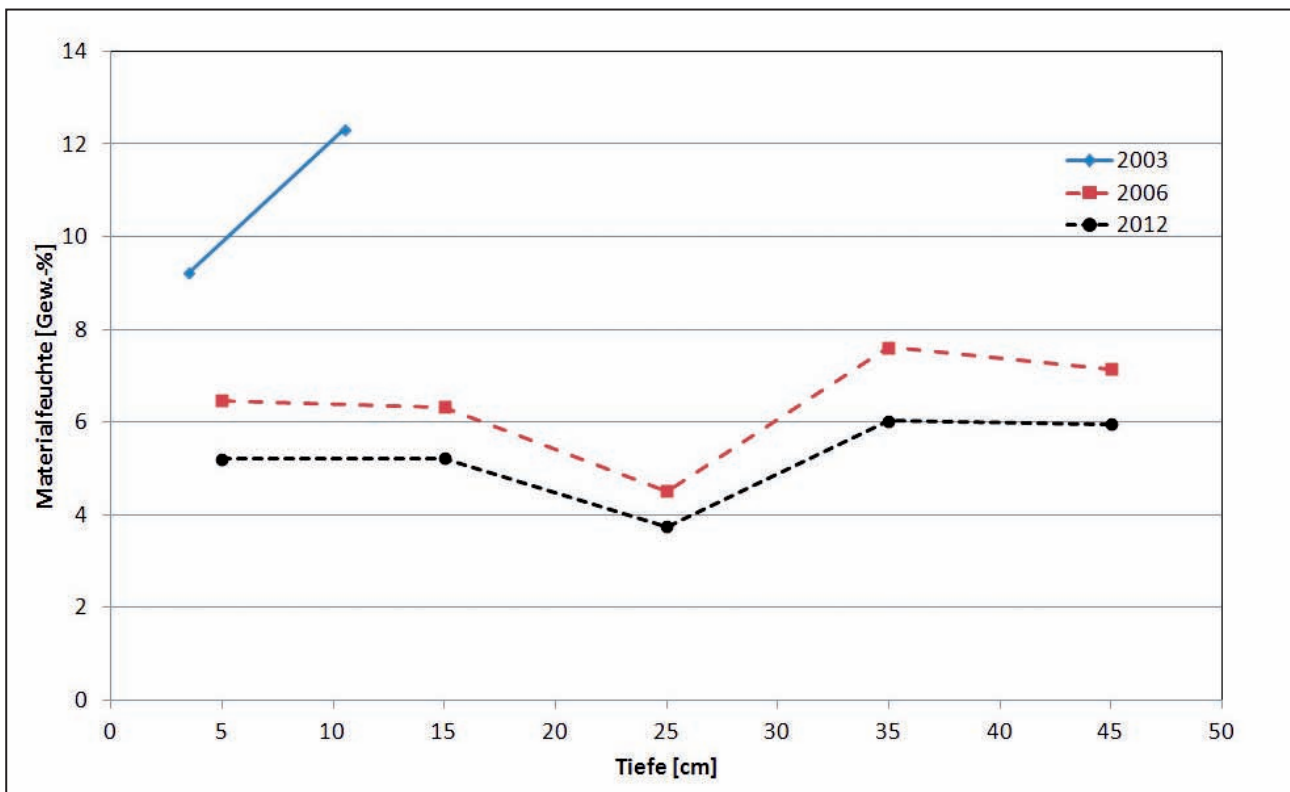


Abb. 4: *Feuchte-Tiefenprofil des Pfeilers vor der Konsolidierung 2003 und danach (2006 und 2012) (Bürgermeister-Smidt-Gedächtniskirche in Bremerhaven)*

und 2012 ähnlich geblieben ist. Die Absolutwerte der Feuchtegehalte sind zwar im Durchschnitt um 1,5–2 Gew.-% gefallen, jedoch können die zu berücksichtigenden Fehlergrenzen der angewendeten Methode der Darr-Messung am Bohrmehl durchaus in diesem Bereich liegen. Eine dramatische Verschlechterung ist trotz der anhaltenden Regenperiode aber nicht zu verzeichnen. Offensichtlich ist der Schadensprozess durch diese denkmalgerechte reversible Maßnahme gestoppt, oder zumindest stark verlangsamt worden.

3 Beispiel 2: Niedersachsenstein in Worpswede

Der Niedersachsenstein in Worpswede wurde 1916–1922 nach den Entwürfen des Architekten Bernhard Hoetger (1874–1949) erbaut. Die Planungen begannen vor dem I. Weltkrieg und sahen zunächst ein Bismarck-Denkmal (beauftragt durch den Kriegs- und Verschönerungsverein Worpswede) vor. Nach Ausbruch des Krieges wurden die Entwürfe zugunsten einer siegreichen Gestalt „Dem Licht entgegenschwebender Jüngling“ verändert. Nach dem nicht den Erwartungen entsprechenden Kriegsverlauf entstanden schwere Streitigkeiten um Form und Standort des Denkmals, die schließlich in einer Adlerfigur als Mahnmal für die Gefallenen des I. Weltkrieges endeten, das auf dem Weyerberg bei Worpswede errichtet wurde (Abb. 5).

Die enthaltenen Motive dieses aus Ziegelsteinen in Zweitverwendung errichteten Mahnmals sind im Kopf des Adlers die strahlende Sonne, Mond und Erde. Weiterhin sind ein tanzendes Paar (Abschied oder Heimkehr), das Niedersachsenpferd mit Reiter, Hammer und Sichel und die fünf Erdteile dargestellt. Das Denkmal ist umringt mit Grabsteinen von Gefallenen aus dem Kirchspiel Worpswede (Feldsteine mit Namen und Ortschaften).

Hoetger, der auch die Neugestaltung der Böttcherstraße in Bremen plante, hatte eine Vorliebe für ungewöhnliche Fassadenelemente. Er benutzte vorzugsweise Ziegelsteine in Zweitverwendung, die er dann auch noch bewusst falsch einbauen ließ (Rückseite nach vorne), um eine unruhige Fassadenoptik zu erreichen. Auch der Niedersachsenstein weist neben den Vorsprüngen aufgrund der äußeren Darstellung eines Adlerkopfes auch kleinteilige Vorsprünge durch bewusst aus dem Mauerverband herausragende Ziegelköpfe auf. Dadurch wird die Regulierung der Wasserläufe schwierig bis unmöglich, worauf Hoetger auch keinen Wert legte. Er hinterließ auch weder Entwurfs- und Konstruktionspläne noch Bauakten.

Sanierungsgeschichte

Aus ersten Untersuchungen Anfang der 1980er Jahre weiß man heute, dass der Kern des Gebäudes aus Kalksandstein besteht. 1981 traten Schäden an



Abb. 5: Der Niedersachsenstein in Worpswede



Abb. 6: Abplatzende Ziegelschalen am Niedersachsenstein in Worpswede

Ziegeln und Fugen auf, die zu einer ersten größeren „Reparatur“ nach ca. 60 Jahren führten. Es wurden schadhafte Ziegel ausgetauscht, teilweise neu verputzt und anschließend das gesamte Denkmal hydrophobiert. Angaben über die verwendeten Hydrophobierungsmittel fehlen.

1997 traten erneut starke Schäden am Bauwerk auf. Es kam zu Ablösungen von Ziegeloberflächen in Form von Schalen, Rissen im Mauerwerk mit klaffenden Fugen und Kehlen (Abb. 6). Die nun aufgetretenen Schäden waren wesentlich stärker als vor den Arbeiten 1981 (<20 Jahre), so dass dringend Baumaßnahmen erforderlich wurden. Es drohte ein zunehmender Verlust der originalen Bausubstanz, der zudem wegen der herabfallenden Ziegelschalen zu einer hohen Verkehrsgefährdung führte.

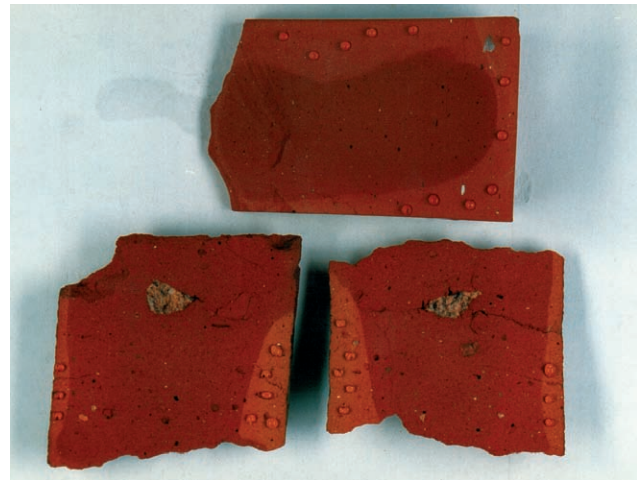


Abb. 7: Tröpfchen-Test an Sägeflächen bauzeitlicher Ziegel zur Überprüfung der Restwirkung der Hydrophobierung. Es sind die hydrophoben Zonen bis zu 20 mm erkennbar.



Abb. 8: Nach einer Spiralbohrung durch die hydrophobierte Oberflächenzone floss Wasser aus dem Bohrloch (Niedersachsenstein in Worpswede).

Schadensanalyse

Zunächst wurden durch die MPA Bremen materialkundliche Untersuchungen durchgeführt, wobei neben Feuchte- und Salzanalysen auch die Wirksamkeit der Hydrophobierung (Wassertropfenproben, w-Werte, μ -Werte) ermittelt wurde. Diese war eindeutig nachweisbar durch unterschiedliche Wassereindringtiefen. Die hoch festen Reparaturziegel von 1981 mit Druckfestigkeiten $> 70 \text{ N/mm}^2$ und Rohdichten $> 2 \text{ g/cm}^3$ zeigten eine stark wasserabweisende Oberfläche, aber keine Tiefenwirkung. Die Oberflächen von Originalziegeln aus der Bauzeit wiesen Rohdichten von $1,8 \text{ g/cm}^3$ und Festigkeiten von 20 N/mm^2 auf. Sie waren noch wasserabweisend, jedoch mit einer Tiefenwirkung, die in Fugennähe bis 20 mm betrug (Abb. 7). Die Reparaturmörtel von 1981 zeigten noch einen Hydrophobierungstiefe von 2–8 mm. [3]

Die Bestimmung der Salze war für die Auswahl eines geeigneten Reparaturmörtels wichtig. Neben vornehmlich in Ausblühungen auftretenden leicht löslichen Salzen (Na-Sulfat, Nitrate) wurden auch schwer lösliche Salze als Gips, Syngenit, Calcit und Ca-Oxalat nachgewiesen.

Bei der Messung von Feuchteprofilen durch die Entnahme von Bohrmehlproben lief in einem Fall aus dem Bohrloch nach Durchstoßen der hydrophobierten Zone flüssiges Wasser heraus (Abb. 8). Auch an anderen Stellen ergaben die Feuchtemessungen, dass im Innern des Mauerwerks ein regelrechter Wassersack vorliegt. Begünstigt wird diese Situation neben der z. T. stark klaffenden Mörtelfugen auch durch die Tatsache, dass es keine bauseitig vorgesehene Abdeckung liegender Flächen (Rollschichten) gibt, sondern lediglich eine Kappenbeschichtung, die zudem noch starke Schäden zeigte.

Sanierungsversuch

Wie im Falle der Großen Kirche in Bremerhaven erscheint auch hier die Herstellung eines Zustandes, der keine Schäden mehr verursacht, nahezu unmöglich. Auch hier ging es darum, den Schadensverlauf zu verlangsamen und zusätzliche Schäden zu verhindern.

Wegen des hohen Salzgehaltes im Mauerwerk, der bedingt durch Zweitverwendung der bauzeitlichen Ziegel zusätzlich noch unkalkulierbar ist, wurde für Mauer- und Verfugmörtel ein Kalk-Zement-Mörtel mit hochsulfatbeständigem, alkaliarmen Zement als hydraulisches Bindemittel vorgeschlagen. Reine Kalkmörtel kommen wegen des hohen Wassergehaltes des Mauerwerks hier wie auch bei der Großen Kirche in Bremerhaven nicht in Frage.

Die Austauschziegel sollten den Originalziegeln entsprechen, die der heutigen Norm DIN 105 MZ 20-1, 8-NF zugeordnet werden konnten. Von einer Wiederverwendung ausgebauter, augenscheinlich intakter Ziegel wurde abgeraten, da sowohl die Hydrophobie wie auch die darin enthaltenen Salze unkalkulierbar sind.

Eine ganz wesentliche konstruktive Maßnahme war die Herstellung einer wasserdichten Kappenbeschichtung. Eine regelrechte Dachkonstruktion kam aus denkmalpflegerischen und auch finanziellen Gründen nicht in Frage.

Im Jahre 1999 waren die Sanierungsarbeiten abgeschlossen. Im Ergebnis konnten auch in diesem Fall positive Erfahrungen gemacht werden. Gelegentliche Kontrollbesuche zeigen einen deutlich verlangsamten Schadensverlauf. Die Sicherungsmaßnahmen konnten aufgehoben werden.

4 Beispiel 3: Dorfkirche im Weserbergland

Als drittes Beispiel sei hier eine Bauwerkssituation gezeigt, die nicht sofort in ursächlichem Zusammenhang mit einer Hydrophobierung gesetzt werden konnte.

Im Jahre 2003 wurden wir zu einer Dorfkirche ins Weserbergland gerufen. Das Baujahr des Kirchenschiffes wurde mit 1860 angegeben. Der Turm wurde 1893 angebaut. Insbesondere der Turm zeigte starke Abplatzungen der Mauerziegel an der Südwestseite. Es waren in beiden Bereichen des geschädigten, aber auch des ungeschädigten Mauerwerks stark zementhaltige Reparaturmörtel vorhanden. Teilweise waren die Mörtel beständig und die Ziegel dazwischen schalenförmig verwittert. An den Stellen, an denen die Originalfugenmörtel noch vorhanden waren, waren die Schäden wenig bis gar nicht ausgeprägt.

Soweit lag eine nicht ungewöhnliche Schadenssituation vor, wenn nicht die Tatsache dazugekommen wäre, dass auch hier der Eingangsbereich im Turm mittlerweile mit einem Gerüst überbaut werden musste, weil ca. 2 cm dicke Ziegelschalen vom Turm herabfielen (Abb. 9). Die erste Vermutung wurde durch den Auftraggeber bestätigt, dass die Fassaden der Kirche in einer vergangenen Restaurierungsmaßnahme mit hydrophobierenden Substanzen behandelt worden waren. Das wurde dann später durch Vor-Ort- und Laboruntersuchungen bestätigt.

Es zeigte sich durch gezielte Untersuchungen der Fassade auch in nicht geschädigten Bereichen der klassische Zustand hydrophobierter Mauersteine. In Bauwerksbereichen, in denen der Originalmörtel nicht angetastet wurde, waren augenscheinlich keine Schäden an den Ziegeln zu beobachten. Offensichtlich funktionierte der Feuchtetransport weiterhin über die Fugen. Während die Ziegelsteine selbst unbeteiligt waren.

Anders war die Situation an solchen Stellen, an denen der Fugenmörtel durch dichte Zementfugen er-



Abb. 9: Mit einem Gerüst überbauter Eingangsbereich der Kirche. Vom Turm lösten sich Ziegelschalen.



Abb. 10: Schadensbild des hydrophobierten und mit Zementmörtel verfugten Mauerwerks

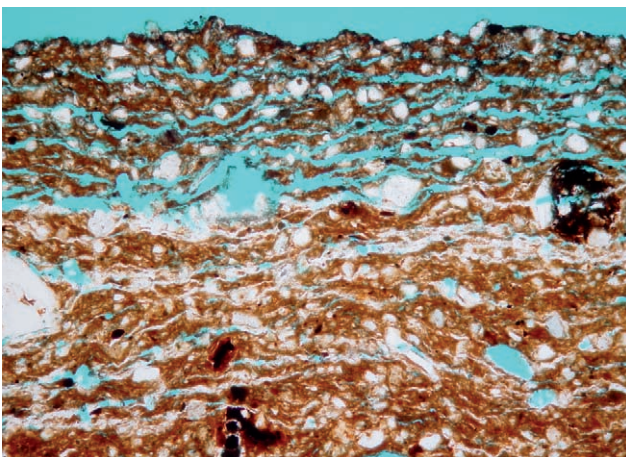


Abb. 11: Lichtmikroskopische Aufnahme am Querschliff eines abblätternes Ziegelsteins. Bis in 5mm Tiefe haben sich feine oberflächenparallele Risse gebildet, die in der Tiefe mit sekundärem Gips gefüllt sind. (Bildbreite: 1,34mm)

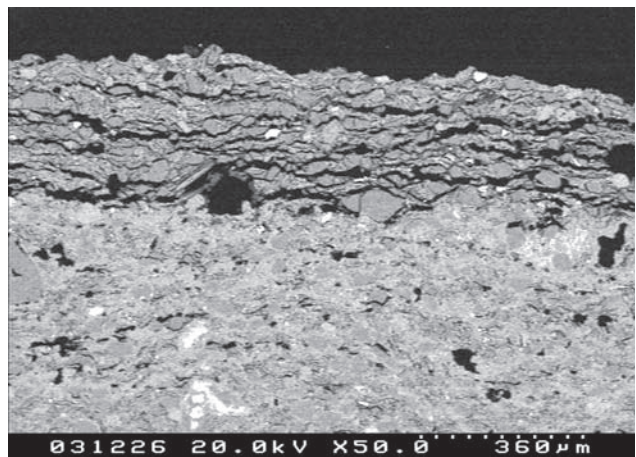


Abb. 12: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme desselben Bildausschnittes wie in Abb.11. Hier wird deutlich, dass der Gips in den unteren Mikrorissen noch stabilisierend wirkt.

setzt wurde (Abb. 10). In solchen Bereichen traten wieder Situationen auf, die in den ersten beiden Beispielen beschrieben wurden und zu starken Schäden mit Ziegelabplatzungen führten. Es bedarf also an dieser Stelle keiner weiteren Betrachtung dieses Schadensprozesses.

Interessante Erkenntnisse ergaben sich allerdings an Ziegelsteinen, die eine beginnende Schädigung der Oberfläche zeigten, die durch Abblättern feiner (<1mm) Schichten charakterisiert waren, und nicht etwa durch Schalenbildung in der Dicke der Hydrophobierungstiefe. Ein aufgesetzter Wassertropfen verteilte sich sofort an der Oberfläche. Spätere Untersuchungen ergaben, dass auch diese Ziegel hydrophobiert wurden. Die mikroskopische Untersuchung einer solchen Schadstelle brachte die Erklärung.

Auch am Dünnschliff ist die hydrophobierte Zone zu erkennen und kann auf mehrere Millimeter bestimmt werden. Direkt an der Oberfläche allerdings zeigt sich ein anderer Schadensverlauf. Bis in 1mm Tiefe haben sich feine, oberflächenparallele Mikrorisse gebildet, die in der Tiefe mit Gips gefüllt sind. Direkt an der Oberfläche fehlt der stabilisierend wirkende Gips, und die frei liegenden Schalen fallen ab (Abb. 11 und 12). Als Quelle für den auskristallisierenden Gips kommen nur zementhaltige Mörtel in Frage. Nähere Untersuchungen dazu wurden nicht durchgeführt.

Als Interpretation wird folgender Schadensverlauf angenommen:

Offenbar ist die hydrophobe Wirkung der Ziegeloberfläche im Laufe der Jahre durch das Sonnenlicht abgebaut worden. Danach konnte die Oberfläche be-

netzt, das Wasser aber nicht in den Stein aufgesogen werden. In Frostsituationen gefriert das noch nicht abgetrocknete Wasser und verursacht diese feinen oberflächenparallelen Risse. Bei wiederholten Frostereignissen entstehen dann solche Schichtpakete. Im vorliegenden Fall ist dieser entstandene Raum mit Gips gefüllt worden.

Gelegentlich werden ähnliche Situationen in Veröffentlichungen und Vorträgen beschrieben, wie etwa die plötzliche Vergrünung von hydrophobierten Statuen mit Grünalgen. Auch hier könnte der Abbau der hydrophoben Wirkung mit einer in dessen Folge besseren Benetzbarkeit der Oberfläche die Ursache sein.

5 Schlussbetrachtung

Eine ganze Reihe norddeutscher Ziegelbauwerke wurde in den 1970er bis 1980er Jahren mit Hydrophobierungsmitteln behandelt. Damit sollte das Eindringen von Feuchtigkeit ins Mauerwerk und damit einhergehende Schäden durch Salze insbesondere in küstennahen Gebieten verhindert werden. Dieses Konzept funktioniert gut, solange keine Fehlstellen in der hydrophobierten Außenhaut das Eindringen von Wasser wieder zulassen. Gerade bei Ziegelmauerwerken, bei denen der Anteil von Materialübergängen Ziegel-Mörtel sehr hoch ist, ist die Gefahr des Auftretens solcher Fehlstellen (z. B. über Flankenabrisse) sehr groß.

Die über diese Fehlstellen in der Regel kapillar ins Mauerinnere transportierte Feuchtigkeit verteilt sich hinter der hydrophobierten Zone und kann das Material nur sehr verlangsamt wieder verlassen. Bei Absinken der Temperatur wird der Porenraum direkt hinter der hydrophobierten Zone durch Kondensation gefüllt. Das bei Frostereignissen gefrierende Wasser führt dann zu oberflächenparallelen Schädigungen des Gefüges.

Solche Schäden sind zunächst von Außen über lange Zeit unsichtbar und treten plötzlich durch Abplatzen von teilweise mehrere Zentimeter dicken Schalen zu Tage. Häufig ist es dann für eine konsolidierende Maßnahme zu spät, wenngleich dringender Handlungsbedarf schon aus Sicherheitsgründen besteht. Viele Originaloberflächen aber können nicht mehr gehalten werden.

In den beschriebenen Fällen hatte sich über Jahrzehnte hinweg die Feuchtigkeit im Inneren der Mauer soweit angestaut, dass z. T. von einer Porenraumsättigung ausgegangen werden muss. In solchen Fällen ist eine Nachhydrophobierung des Mauerwerks die falsche Entscheidung, weil dann eine Austrocknung weiterhin verhindert wird.

Der an der Großen Kirche in Bremerhaven vorgenommene Versuch, eine Besserung der Mauerwerksituation durch ein (immer den gegebenen Zuständen) angepasstes Fugenmörtelsystem zu erreichen, kann vorsichtig positiv bewertet werden. Er zeigt aber deutlich, dass zumindest eine Verlangsamung des Schadensprozesse erreicht werden kann.

Aber auch ohne solche dramatischen Schadensverläufe und dauerhaft funktionierende Hydrophobierungen können Oberflächenveränderungen auftreten, die bislang nicht als damit im direkten Zusammenhang stehend betrachtet wurden. Ein Beispiel dazu ist das oberflächenparallele Abblättern von Ziegelsteinen, das durch Abbau der hydrophobierenden Wirkung an der Oberfläche hervorgerufen wird.

Literatur

- [1] Skalecki, G.: Denkmalpflege an der Bürgermeister-Smidt-Gedächtniskirche in Bremerhaven, Denkmalpflege in Bremen, Heft 4 (2003), S. 8–14
- [2] Juling, H., Schlütter, F.: Materialkundliche Untersuchung des Mauerwerks der Bürgermeister-Smidt-Gedächtniskirche Bremerhaven, 2003 (unveröffentlichter Untersuchungsbericht für das LAFD Bremen)
- [3] Schlütter, F.: Der „Niedersachsenstein“ in Worpsswede – Materialkundliche Untersuchungen, 1997 (unveröffentlichter Untersuchungsbericht)
- [4] Freyburg, S.: Qualitätsmerkmale historischer Ziegel. In: Ziegelindustrie International, 7/1997, S. 411–426

Abbildungsnachweis

Alle Abbildungen stammen von den Autoren.

