



Innovatives DBU-Projekt an den Felsenkapellen von St. Salvator in Schwäbisch Gmünd

Entwicklung eines Steinfestigers für feuchte Untergründe

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt „Modellhafte Konservierung der anthropogen umweltgeschädigten Felsenkapellen von St. Salvator in Schwäbisch Gmünd“ nahm sich im Zeitraum von 2011 bis 2014 eines großen konservatorischen Defizits an: der Festigung von Naturwerksteinen in feuchtem Zustand. Bei der Erforschung des Themas arbeitete das Konsortium aus universitärer Forschungseinrichtung, der Katholischen Kirchengemeinde Heilig-Kreuz Schwäbisch Gmünd als Eigentümer und fünf kleinen und mittleren Unternehmen unter fachlicher Begleitung durch das Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart in vorbildlicher Weise zusammen. Die Förderung erfolgte durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), die Deutsche Stiftung Denkmalschutz und das Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart. Ziel war die Erhaltung der Felsenkapellen von St. Salvator in Schwäbisch Gmünd, einer Felsenkirche mit aus dem anstehenden Sandsteinfels gehauenen Figuren wie zum Beispiel der Ölberggruppe. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden im Rahmen einer Fachtagung am 4./5. Mai 2015 in Schwäbisch Gmünd der Öffentlichkeit präsentiert. Der Beitrag gibt einen Bericht über die Tagung.

Michael Auras

1 Übersicht Vorzustand
Ölbergrelief in der
Oberen Kapelle von
St. Salvator.

Orange:
Verlust, Ausbruch;
Pink:
Ablösung, Hohlstelle;
Gelb: Oberflächenverlust;
Türkis: Ausarbeitung.

Die Felsenkirche bildet den Abschluss eines dem Jerusalemer Kreuzweg nachgebildeten, von Kapellen, Stationshäuschen und Bildstöcken gesäumten Wallfahrtsweges, der nordwestlich der Altstadt auf den Salvatorberg führt. Die Felsenkir-

che wurde im frühen 17. Jahrhundert von Caspar Vogt erschaffen; der in die Landschaft eingebettete Kreuzweg wurde im 17. und 18. Jahrhundert ausgebaut.

Typisch für die Felsenkirche wie auch für andere Objekte, die aus dem anstehenden Fels herausgearbeitet wurden, ist die permanente Bergfeuchte. Begleiterscheinungen der hohen Feuchtelast sind Salzanreicherungen und mikrobieller Bewuchs, die beide ein hohes Schädigungspotenzial für die historische Bausubstanz mit sich bringen. Dementsprechend war die Steinsubstanz, insbesondere an den Skulpturen der Ölberggruppe, stark geschädigt (Abb. 1).

Neuentwicklung Steinfestiger

Marktgängige Festigungsmittel zur Konservierung von Sandstein sind für eine Anwendung auf feuchten Untergründen nicht geeignet. Kunstharzhaltige Lösungen und Dispersionen dringen in feuchte Substrate kaum ein, und die üblicherweise



zur Steinfestigung eingesetzten Kieselsäureester reagieren bei Kontakt mit Wasser spontan aus, bevor sie hinreichend tief in den Stein eingedrungen sind. Hier wurde mit der Entwicklung eines Festigers für feuchte Untergründe durch Eberhard Wendler vom Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege, München, ein Meilenstein im Bereich der Konservierung von Naturstein erreicht. Diese Neuentwicklung zeigt Lösungsansätze für viele andere denkmalpflegerische und restauratorische Problemfälle in Felsobjekten, Krypten, Kellern, bei Grabdenkmälern, archäologischen Grabungen und anderen permanent feuchtebelasteten Bau- und Kunstdenkmälern auf. Das Festigungsmittel war im Fall der Ölberggruppe in der Lage, auch bei Sättigungsgraden von 20 bis 50 Prozent in den Porenraum einzudringen, dort auszuhärten und dabei die Gesteinskörner erneut zu verkitten. Bevor, während und nachdem diese Methode eingesetzt werden konnte, waren umfangreiche Recherchen sowie Vor- und Begleituntersuchungen notwendig. Diese erfolgten in enger Zusammenarbeit mit den kunsthistorisch/historischen, den natur- und restaurierungswissenschaftlichen sowie den technischen Disziplinen. Erst die Zusammenführung der Ergebnisse ermöglichte die verantwortungsbewusste Anwendung des neuen Festigungsmittels an der Ölberggruppe und die Durchführung der gesamten Restaurierungsmaßnahme.

Ergebnisse und Präsentation

Die Forschungsergebnisse des Projekts wurden im Rahmen einer Fachtagung am 4./5. Mai 2015 der Öffentlichkeit präsentiert. Pünktlich zur Tagung erschien die Zusammenfassung der Resultate in einem Tagungsband (Abb. 3; siehe Literatur). Verständlicherweise können die Ergebnisse an dieser Stelle nur auszugsweise wiedergegeben werden. Nach der Begrüßung (Abb. 2) und einer Einführung durch Projektkoordinator Jürgen Frick von der Materialprüfanstalt Universität Stuttgart (MPA) folgte eine kunsthistorische Vorstellung und denkmalpflegerische Würdigung der Gesamtanlage



Kreuzweg einschließlich der Felsenkirche St. Salvator durch Ulrike Schubart vom Landesamt für Denkmalpflege. Wichtige Aspekte sind dabei unter anderem die gelungene Einbettung des Kreuzwegs in die Landschaft außerhalb der Stadt sowie der historische Hintergrund, da die Anlage als Wallfahrtsort einen Ausdruck der Gegenreformation im katholischen Schwäbisch Gmünd innerhalb eines protestantischen Umlandes darstellt (Abb. 4).

Bestand und restauratorische Voruntersuchungen

Der freiberufliche Restaurator Karl Fiedler stellte den Bestand und den Zustand der steinernen Kunstwerke innerhalb der Felsenkirche sowie die restauratorischen Problemfelder dar (Abb. 5). Letztere sind wie erwähnt bedingt durch das Zusammenwirken von hoher Feuchtebelastung, bauschädlichen Salzen und intensivem Bewuchs durch Mikroorganismen. Die restauratorische Voruntersuchung bildet die Grundlage für alle anderen Untersuchungen und Maßnahmen am Objekt. Bei der Erfassung wurden sowohl der äußerst fragile Ausgangszustand der Ölberggruppe dokumentiert als auch die Spuren früherer Farbfassungen und Reparaturmaßnahmen. Die Schäden treten auf in Form von Rückwitterung, Absanden, Krustenbildung und blasenartigem Ablösen der Steinoberfläche. Im zweiten Teil des Vortrags wurde das Konzept zur Konservierung und Restaurierung beschrieben, das auf praktischen Erprobungen von Laserreinigung (Abb. 6), Steinfestigung sowie kieselsolgebundenen Schlamm- und Kittmassen beruht.

Monitoring und Untersuchungen

Permanente und tiefenaufgelöste Messungen der Feuchtegehalte im Sandstein der Felsenkirche mittels neuartiger Sensoren und die kontinuierliche Überwachung des Raumklimas wurden durch



2 Begrüßung der Tagungsteilnehmer durch Paul Bellendorf von der Deutschen Stiftung Denkmalschutz.

3 Titelseite des Tagungsbandes (siehe Literatur).

4 Ansicht der Salvatoranlage, Aquarell von Carl Christian Speitel aus dem Jahr 1855.



5 Gesicht des Häschers im Ölberg (Vorzustand): Verlust von Relieffhöhen.

Markus Krüger und Eric Price von der Technologie Transfer Initiative GmbH – TGU Smartmote (Smartmote), Stuttgart, durchgeführt (Abb. 7). Sie ermöglichten die Erkennung des für die Festigung geeigneten Zeitpunkts, zu dem die Feuchtegehalte im Stein auf ein hinreichendes Maß gesunken waren. Die Untersuchungen der Steinsubstanz, ihrer Salzbelastungen sowie der Änderungen relevanter Gesteinseigenschaften durch die Festigung wurden von einer Arbeitsgruppe unter Leitung von Judith Zöldföldi, MPA Stuttgart, durchgeführt. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen konnten belegen, dass eine der beiden erprobten Varianten des neuen Festigungsmittels bis in eine Tiefe von 2,5 cm eingedrungen ist, die Poren nicht vollständig füllt, dass das neu gebildete Kieselgel gut und gleichmäßig an den Porenrändern haftet und die Sandsteinkörner miteinander verbindet. Messungen der kapillaren Wasseraufnahme und des Wasserdampfdiffusionswiderstandes belegten, dass die Feuchtetransporteigenschaften des Stubensandsteins durch die Festigung nicht oder nur in minimalem Ausmaß verändert wurden. Es wird also durch die Steinfestigung keine absperrende Schicht aufgebaut, die Trocknung der Sandsteinoberfläche wird in gleicher Geschwindigkeit erfolgen wie bisher.

Mikrobiologie

Eine intensive und dennoch sehr pragmatische mikrobiologische Begleitung erfolgte durch Stefanie Scheerer, Labor Biophil, Stuttgart. Dabei wurden die quantitativ bedeutendsten Gruppen von Mikroorganismen bestimmt und deren Beitrag zur Steinverwitterung untersucht. Es zeigten sich Unterschiede in der Besiedlung von oberer und unterer Kapelle, die auf verschiedene Feuchtebelastungen zum Zeitpunkt der Untersuchungen zu-

6 Zwischenzustand nach Laserreinigung am Ölberg.

rückgeführt wurden (Abb. 8). Die Auswirkungen der mikrobiellen Besiedlung auf den Verwitterungsfortschritt sind gegenüber den Einflüssen der Salze geringer. Verschiedene Methoden zur Entfernung des Bewuchses wurden getestet, letztlich wurde einer Kombination aus hochprozentigem Alkohol und UV-Bestrahlung der Vorzug gegeben. Obwohl über kurz oder lang eine erneute Besiedlung stattfinden wird, war die Entfernung des Bewuchses notwendige Voraussetzung für die Applikation des Festigungsmittels.

Entwicklung eines geeigneten Steinfestigers

Eberhard Wendler aus München, der ausgewiesene Fachmann für Steinfestigung mit Kieselsäureester (KSE), erläuterte seine Strategie zur Entwicklung eines KSE-Festigers für feuchte Untergründe. Übliche Steinfestiger auf KSE-Basis sind auf feuchten Untergründen nicht anwendbar, denn sie reagieren bei Kontakt mit Wasser spontan aus, bevor sie hinreichend tief in den Porenraum eingedrungen sind. Die Folge kann eine starke Überfestigung der Steinoberfläche sein, die zu Folgeschäden führen kann. Neu ist die Anwendung des KSE in Form einer wässrigen Mikroemulsion, bei der das Festigungsmittel in eine hydrophile Hülle gepackt wird, die so lange stabil bleiben muss, bis das Mittel tief in den Stein eingedrungen ist. Durch eine Modifizierung des KSE mit funktionellen Silanen wird erreicht, dass das Festigungsmittel den Wasserfilm auf den Mineraloberflächen verdrängen kann, wodurch eine Anbindung des bei der Aushärtung entstehenden Kieselgels an die Mineraloberflächen ermöglicht wird.

Ergänzende Untersuchungen

Weitere Untersuchungen können an dieser Stelle nur stichpunktartig genannt werden, auch wenn





7 Darstellung der Sensorpositionen zur Messung der Klimadaten im Bereich der oberen Kapelle (Auszug der webbasierten Online-Visualisierung mit Sensorpositionen und aktuellen Messwerten am Objekt).

sie wesentlich zum Gelingen der Maßnahme beitragen:

- In einem Text des Tagungsbands wertete Karl Graf die schriftlich überlieferten Quellen zum Salvator aus Sicht des Historikers aus.
- Eine Erfassung der an Kreuzweg und Felsenkirche verbauten Natursteinvarietäten erfolgte durch ein erdgeschichtlich sehr bewandertes Mitglied des Salvator Freundeskreises, Werner Mayer.
- Zur Erkundung der geologischen und hydrogeologischen Situation im Umfeld des Objekts wurden durch die Firma Geotechnik Südwest, Bietigheim-Bissingen, am Berghang oberhalb der Felsenkirche zwei Bohrungen niedergebracht (Abb. 9). Eine der Bohrungen wurde zu einem Pegel ausgebaut, der die Sickerströme im Hang erfasste. Der Zeitpunkt des höchsten Pegelstandes ließ sich mit verstärktem Auftreten von Feuchtflecken in der Felsenkirche korrelieren.
- Johanna Leissner vom Fraunhofer-Institut für Silikatforschung, Würzburg/Bronnbach, präsentierte die Ergebnisse einer Glassensorstudie am Salvator, die im Rahmen des EU-Projekts „Climate for Culture“ durchgeführt wurde. Im Vergleich zu den anderen Fallstudien des EU-Projekts zeigte der Salvator eine sehr starke Glaskorrosion.

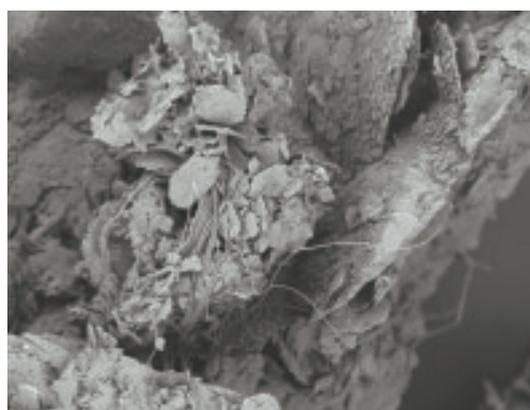
In drei weiteren Vorträgen wurden Ergebnisse an nationalen und internationalen Vergleichsobjekten vorgestellt, die ähnliche Problemstellungen aufwiesen:

- Kurt Heinrichs vom Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Hydrogeologie der RWTH Aachen stellte die DFG-geförderten Untersuchungen zur Salzverwitterung an Felsmonumenten in Petra/Jordanien vor, bei denen ein ähnliches Funksensornetzwerk zum Einsatz kam.

- Das Steinerne Album in Großjena, ein barockes Felsrelief in einem Weinberg, wurde im Rahmen eines DBU-Projekts in den 1990er Jahren konserviert. In der Zwischenzeit zeigen sich neue Schäden, die der erneuten Behandlung bedürfen, wie Jeannine Meinhardt vom Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V., Halle, darstellte.
- Die Raumklimastabilisierung zum Erhalt der Wandmalereien in der Kirche St. Georg, Teil des UNESCO-Weltkulturerbes auf der Klosterinsel Reichenau, wurde von Harald Garrecht, MPA Universität Stuttgart, thematisiert. Speziell die Krypta weist ähnlich hohe Feuchtebelastungen wie am Salvator auf. Vorgestellt wurde die Problemstellung des im Frühjahr 2015 begonnenen DBU-Projekts.

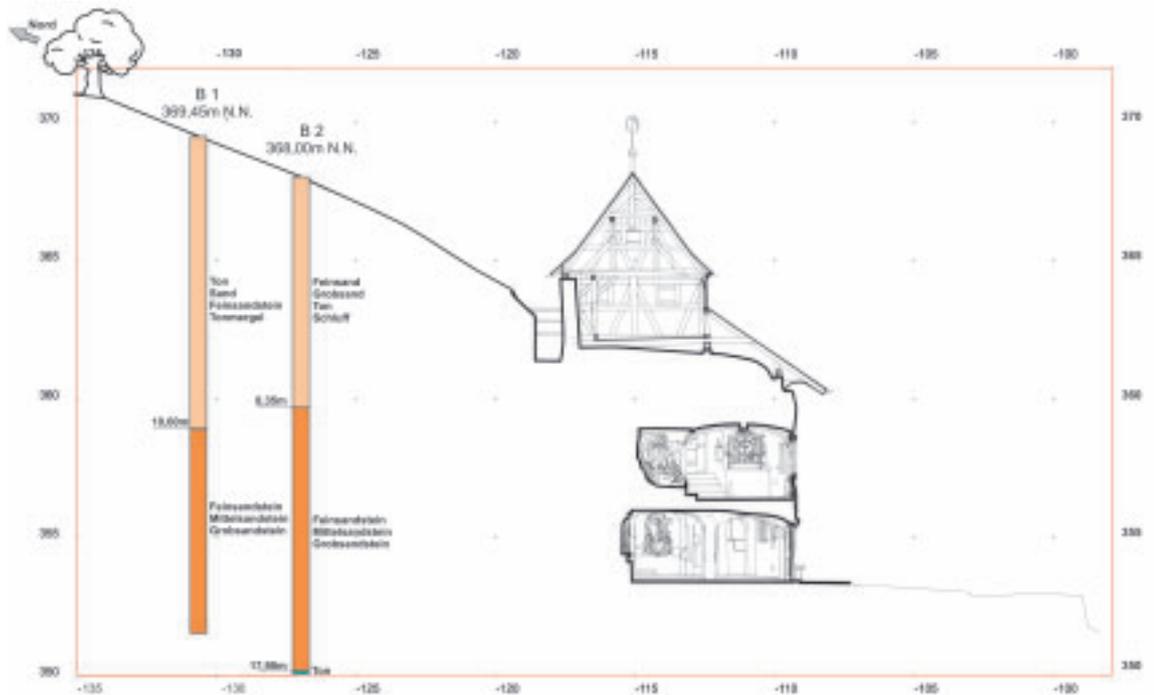
Tagung als Diskussionsforum

Lebhaftes Diskussionsforum zwischen den Vorträgen und in den Pausen zeigten das Interesse des Fachauditoriums. Am späten Nachmittag des ersten Tages gab es dann Gelegenheit zum Besuch des frisch restaurierten Denkmals mit fachkundigen Er-



8 Übersicht über ein Gesteinsfragment aus der Kreuzigungsgruppe der Unteren Kapelle mit partiellem Bewuchs eines innig mit der Gesteinsmatrix und Salzkristallen verbundenen gemischten Biofilms.

9 Lage der beiden Bohrungen in Bezug auf die Kirche mit den Kapellen im Querschnitt.



läuterungen der beteiligten Restauratoren und Wissenschaftler (Abb. 10). Zum Ausklang lud der Salvator Freundeskreis vor Ort zu einem kleinen Empfang, bevor die angeregten Gespräche der Tagungsteilnehmer beim Abendessen in der Altstadt fortgesetzt wurden.

Externe Erfahrungen und erfolgte Restaurierungsmaßnahmen

Am zweiten Tag wurde zunächst von externen Referenten über Erfahrungen an anderen Denkmälern mit vergleichbarer Problematik berichtet. Danach wurde die praktische Umsetzung der Restaurierungsmaßnahmen am Salvator detailliert durch Karl Fiedler vorgestellt (Abb. 11). Judith Zöldföldi und Stefanie Scheerer berichteten über die begleitenden Untersuchungen und mikrobiologischen Maßnahmen. Auch unerwünschte Nebeneffekte und Probleme kamen zur Sprache, so zum Beispiel die Folgen der Freisetzung von Alkohol. Dieser wurde bei den Arbeiten in erheblicher

Menge eingesetzt, sowohl in konzentrierter Form zum Abtöten der Mikroorganismen als auch in geringerer Konzentration als Inhaltsstoff und Reaktionsprodukt des KSE. Die Wirkung von Alkohol auf Mikroorganismen lässt sich in gewisser Weise mit der auf den Menschen vergleichen: In hoher Konzentration wirkt Alkohol toxisch, in geringer Konzentration jedoch durchaus anregend. Leider äußerte sich Letzteres im Fall des Salvators in starker Ausbreitung von Schimmelpilzen, die Alkohol als Nahrungsmittel verwerten konnten. Der Schimmelbefall machte wiederholte Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen notwendig. Die hohe Alkoholkonzentration erforderte darüber hinaus aus Gründen des Arbeitsschutzes umfassende Begleitmaßnahmen. Eine Entlüftungsanlage wurde installiert, kontinuierliche Messungen der Alkoholkonzentration in der Raumluft durchgeführt und die Arbeitszeit des Restaurators entsprechend limitiert.

Mit Blick auf die künftige Nutzung diskutierte Markus Krüger die bauphysikalischen Aspekte. Deut-

10 Besuch des frisch restaurierten Denkmals mit fachkundigen Erläuterungen der beteiligten Restauratoren und Wissenschaftler am Ende des ersten Tagungstages.

11 Festigung durch den Restaurator Karl Fiedler, gezielte Applikation mit Spritze und Kanüle.



lich herausgearbeitet wurde das Dilemma der problematischen bauphysikalischen Situation: Aus mikrobiologischer Sicht wäre eine Senkung der Raumluftfeuchte wünschenswert, um die Intensität des mikrobiellen Befalls zu reduzieren. Aus bauchemischer Sicht hingegen ist eine hohe Raumluftfeuchte anzustreben, um die im Porenraum des Steins angereicherten bauschädlichen Salze in Lösung zu halten, da ihr Auskristallisieren zur beschleunigten Verwitterung des Sandsteins führen würde. Unter Berücksichtigung des höheren Schadenspotenzials durch Salzkristallisation wurde abgestimmt, höhere Luftfeuchten zu akzeptieren. In der Folge werden vermutlich Wartungsarbeiten zur erneuten Reinigung und Desinfektion der Steinoberflächen notwendig werden.

Ergebnis

Die gute Projektstruktur mit umfassender Untersuchung des Salvators durch verschiedenste Fachrichtungen sowie die äußerst gründliche Bearbeitung der einzelnen Probleme und Teilaspekte auf hohem wissenschaftlichen Niveau legten die Basis nicht nur für ein – soweit bislang beurteilbar – ausgezeichnetes Restaurierungsergebnis, sondern bewirkten auch einen Meilenstein bei der Steinrestaurierung, der Festigung feuchter Substrate mit Kieselsäureester (Abb. 12).

Beispielhaft sind nicht nur die Projektergebnisse, sondern auch deren Publikation. Das Erscheinen beim Fraunhofer IRB Verlag in Stuttgart stellt sicher, dass die Projektergebnisse der Fachwelt dauerhaft zugänglich bleiben. Eine zusammenfassende Publikation in englischer Sprache wäre äußerst wünschenswert, um die Resultate auch auf internationaler Ebene verfügbar zu machen.

Hervorzuheben sind darüber hinaus das großartige bürgerschaftliche Engagement des Salvator Freundeskreises, die Unterstützung durch den Eigentümer sowie die finanzielle Förderung der Forschungsarbeiten durch die Deutsche Bundesstif-

tung Umwelt sowie der Restaurierungsarbeiten durch die Deutsche Stiftung Denkmalschutz und die Landesdenkmalpflege Baden-Württemberg. Die fachliche Begleitung durch das Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart stellte die hohe Qualität der fachlichen Arbeit sicher.

Die Materialentwicklung im Rahmen des Projekts ist abgestimmt auf den Stubensandstein, aus dem die Felsenkirche besteht. Soweit bislang absehbar, wurde eine Lösung zum Erhalt des Denkmals gefunden. Ein Langzeitmonitoring muss nun abgeschlossen werden, um frühzeitig eventuelle Probleme erkennen und Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Eine Weiterentwicklung dieses System auch für andere Natursteinarten beziehungsweise andere mineralische Baustoffe ist unbedingt wünschenswert.

Literatur

Modellhafte Konservierung der anthropogen umweltgeschädigten Felsenkapellen von St. Salvator in Schwäbisch Gmünd. Abschlussbericht, Bauforschung – Denkmalpflege, Band D 1019, hg. v. Jürgen Frick und Judith Zöldföldi, 2015.

Richard Strobel: Die Kunstdenkmäler der Stadt Schwäbisch Gmünd IV – Kirchen und Profanbauten außerhalb der Altstadt/Ortsteile, München, 2003.

Praktischer Hinweis

Hinter dem Bahnhof von Schwäbisch Gmünd führt der Kreuzweg mit Bildstöcken sowie Kapellenhäuschen samt lebensgroßen Figuren hinauf zur Wallfahrtsstätte St. Salvator.

www.schwaebisch-gmuend.de/2698-St_Salvator.html

Dr. Michael Auras

Institut für Steinkonservierung e.V.

Große Langgasse 29

55116 Mainz

Glossar

Silane

Chemische Verbindungen aus Silicium und Wasserstoff.



12 Gesamtansicht des Ölbergs nach der Konservierung.