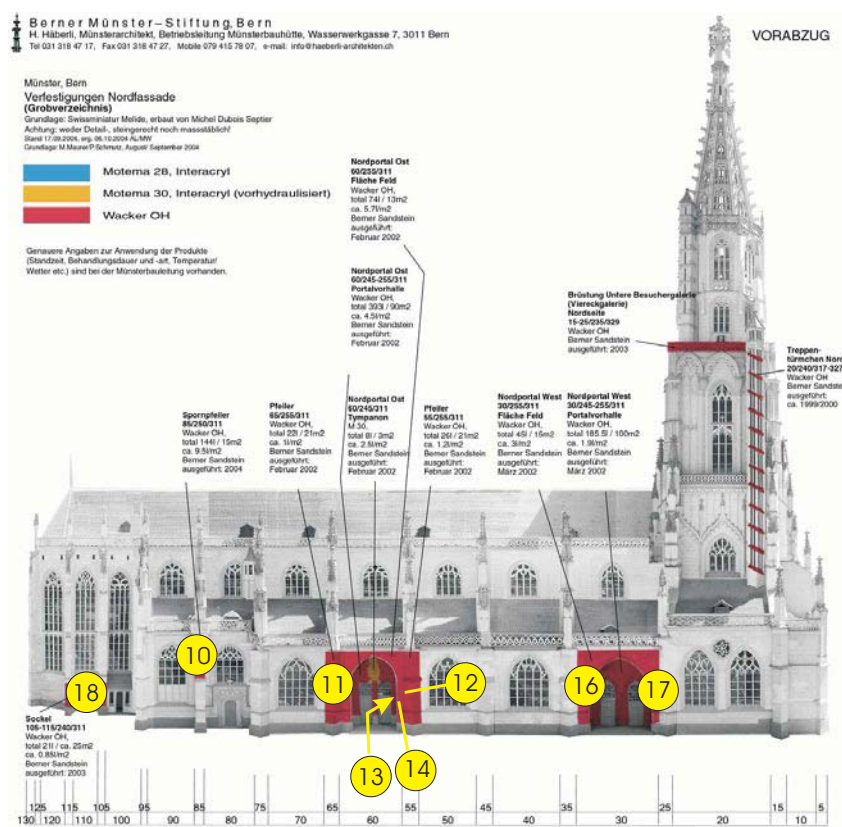


5 Versuche / Experimente / Prävention

Steinfestigung und Reinigung



Im Tätigkeitsbericht 2004 ist ausführlich auf die mehrjährigen Versuchsreihen hingewiesen worden, mit denen Erkenntnisse über das Verhalten von Festigungen, Mörtelflickern und Oberflächenschutzmassnahmen gewonnen werden sollen. Die erste Auswertung der Versuchsreihen durch die Expert-Center Zürich und Lausanne konnte im Berichtsjahr abgeschlossen werden. Die Versuchsreihen werden 2006 weiter geführt und die anlässlich der Auswertung formulierten Fragestellungen vertieft. Insbesondere sollen Langzeiterfahrungen gesammelt werden.



Übersicht über die an der Nordfassade untersuchten Bereiche (Bohrkerne 11-18)

Steinfestigung

Insgesamt 22 Kernbohrungen wurden an Fassadenabschnitten durchgeführt, welche mit KSE (Kieselsäureethylester) in Mengen zwischen 1.5 l/m² und 9 l/m² gefestigt worden waren. Die Bohrungen sollen Erkenntnisse für die zukünftige Festigung der am Münster vorkommenden Steinsorten erbringen. Für jede untersuchte Fläche bzw. Bohrung wurde durch das Expert-Center Zürich eine detaillierte Dokumentation angelegt, welcher eine mehrtägige Archivstudie bei der Münsterbauleitung vorausging. Die Bohrkerne wurden mit Datenblättern dokumentiert, welche ausführliche Informationen über Material, Vorgeschichte, Exposition, Zustand, bereits getroffene Massnahmen etc. enthalten.

ZUSTANDSAUFNAHME	
ALLGEMEINE INFORMATIONEN	
Fassadenabschnitt Nr.	Westwerk Eckfalte Süd, 65205/311-317 Schicht ZTNE der Bohrkerne wurde in der Sockelzone genommen
Stein	Zuger Sandstein
Geschichte	Zuger Sandstein 100% total emulsiert (in Österreichischer Sandstein, Zuger). Bei Restaurierung 2000 wurde Zustand als sehr schlecht beobachtet (starke Schalen, Risse, bis ist abgefallene Teile). Oberflächlich waren unterschiedlich stark verschmutzt und hatten teilweise mikrobiol. Bewuchs. Zuger Sandstein war angetupft, abgewasene Oberfläche im Sockelbereich.
Zustand vor Rest.	Bei Restaurierung 2000 wurde Zustand als sehr schlecht beobachtet (starke Schalen, Risse, bis ist abgefallene Teile). Oberflächlich waren unterschiedlich stark verschmutzt und hatten teilweise mikrobiol. Bewuchs. Zuger Sandstein war angetupft, abgewasene Oberfläche im Sockelbereich.
Restaurierung	Die Behandlungen waren auf den Zustand der einzelnen Bereiche abgestimmt: Reinigung mit Sandstrahl, Hochdruck wasser durch Bürsten. Festigungen (Art und Menge des Festigers variiert; lokale Mörtelfestigkeiten, teilweise mit Keim Farben nachstrich; lokale Injektionen mit PMMA.
Bohrkernnummer	3
Festigung der Bohrkerne	Sockelprofil, 13.-17. Sept. 2001. Sockel wurde mit Hochdruck gereinigt. 8l / m ² Moterna M2800 Spritzflaschen drucklos Nass in Nass, bis zur Sättigung (am Sockel 2 bis 3.200)
Klima während der Festigung	15 °C und 64-72% fF
Bis:	Beschreibung
Bohrkernaufnahme	

Für jeden Bohrkern wurde durch Susanne Mühlhaus, Expert-Center für Denkmalpflege Zürich, ein Datensatz angelegt, welcher möglichst sämtliche der Münsterbauleitung und der Münsterbauhütte bis anhin bekannten Informationen zusammenfasst. Diese Datenblätter können bei Bedarf ergänzt werden.
 Grundlagen: Susanne Mühlhaus, Expert-Center für Denkmalpflege in Zürich

Steinfestigung und Reinigung

Die Laboranalyse der Bohrkernproben wurde im Expert-Center Lausanne durchgeführt und in einem Bericht von Bénédicte Rousset, Susanne Mühlhaus und Christine Bläuer ausgewertet. Untersucht wurde das kapillare Saugen am horizontal liegenden Bohrkern, die Abriebfestigkeit der Oberfläche, die Schallgeschwindigkeit zur Bestimmung der Dichte, sowie die Kapillarität. Weiter wurden Röntgen- und Rasterelektronenmikroskopaufnahmen gemacht. Die Resultate lassen sich folgendermassen zusammenfassen: Tendenziell ist das Unterfestigen weniger problematisch als das Überfestigen, weil letzteres der Bildung von Schalen Vorschub leisten könnte. Dieses Problem kann sich bei Werkstücken, welche bereits Schalen besitzen, verschärfen. Die Eindringtiefe hängt von der Porosität und der eingelassenen Festigermenge ab. So ist beim grobkörnigeren Zuger Sandstein die Eindringtiefe allgemein geringer als beim Berner Sandstein. Auch geringe Mengen an Festiger dringen gut ein, sofern nicht bereits Ansätze zur Schalenbildung vorhanden sind. In diesem Fall hindert eine Lockerzone unter der Oberfläche den Festiger daran, tiefer in das Werkstück einzudringen. Künftig soll bei Festigungen die Menge leicht reduziert werden. Der Zustand einiger stark gefestigter bzw. überfestigter Werkstücke am Berner Münster ist freilich aufgrund Ihrer Exposition am Bau nicht alarmierend.

Weiter wurde die von verschiedenen Experten praktizierte Methode überprüft, bei welcher die Oberfläche nach der Festigung mit Aceton nachgewaschen wird. Gemäss den Untersuchungsergebnissen bewirkt dieses Verfahren, dass die Werkstücke bei freier Bewitterung mehr unerwünschte Feuchtigkeit, aufnehmen können, welche in den obersten Millimetern gestaut wird. Ein ähnlicher Effekt kann beim langsamen Abbau von alten Hydrophobierungen beobachtet werden.

Reinigen: Praxisorientierte Forschung

An den bereits erwähnten Oberflächen der Erlach-Ligerz-Kapelle, welche ausgedehnte Farbfassungen besitzen, wurden unter Einbezug des Expert-Centers Zürich Reinigungsversuche durchgeführt. Zuerst wurden verschiedene Proben mikroskopisch untersucht. Dabei zeigte sich, dass mehrere Farb- und Schmutzschichten aufeinander folgen, die Oberfläche also in regelmässigen Intervallen gestrichen worden ist.

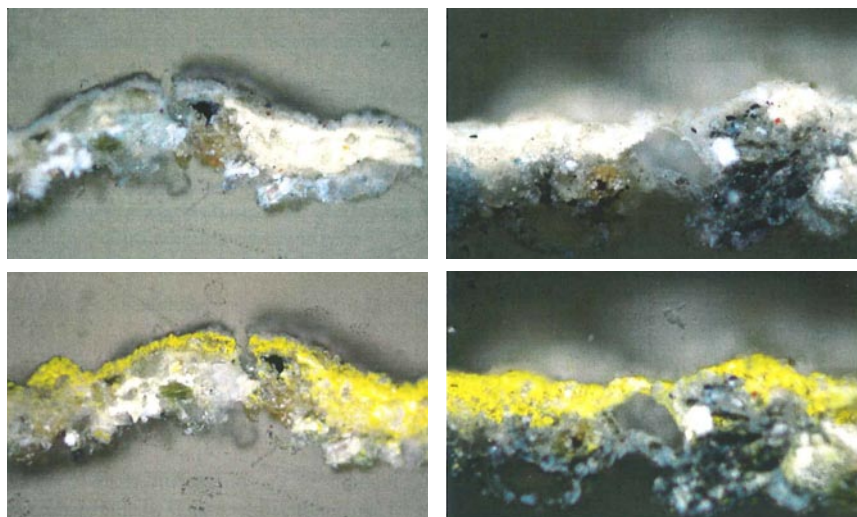


oben:
Bohrkernentnahme am Objekt

unten:
Eine der Testreihen (horizontales Saugen) im Labor in Lausanne. Die äusseren Oberflächen befinden sich rechts im Bild. Deutlich sichtbar ist das unterschiedliche Saugverhalten der Kerne.
Fotos: Susanne Mühlhaus, Expert-Center Zürich und Bénédicte Rousset, Expert-Center Lausanne



Unkonventionelle Untersuchungsmethoden



Ergänzend zu den vorangehend erwähnten Langzeituntersuchungen und Grundlagenforschungen erbrachte das kleine Projekt zum Thema Reinigung insofern ermutigende Resultate, als die Zusammenarbeit mit dem Expert-Center einen unmittelbaren praktischen Nutzen mit direkten Verbesserungen am Bau nach sich zog.

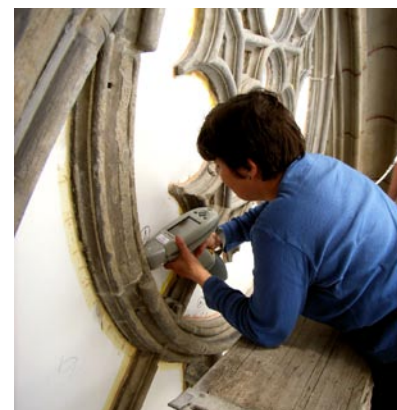
Unkonventionelle Untersuchungsmethoden: Bleinachweis mit Röntgen

Ein spontaner Feldversuch von Dr. Christine Bläuer-Böhm mit einem mobilen Röntgengerät, mit dem gewöhnlich Schwermetallrückstände in der Umweltforschung untersucht werden, brachte unerwartete und sehr interessante Aufschlüsse. So konnte an verschiedenen Probestellen das Vorhandensein von Bleiweiß nachgewiesen werden. Da Bleiweiß traditionell als Pigment verwendet wird, um das Nachdunkeln des Steins bei einem Ölstrich zu kompensieren, kann mit Hilfe der Bleirückstände indirekt auf Ölstriche geschlossen werden. Das Verfahren steckt noch in den Kinderschuhen. Rückschlüsse auf die Untersuchungsergebnisse von Susanne Mühlhaus geben jedoch Anlass zu Hoffnungen und Spekulationen: Sollte es möglich sein, genauere Informationen über alte Ölaufträge zu gewinnen, könnten Erkenntnisse von unschätzbarem Wert betreffend die Langzeitwirkung von Ölstrichen die Folge sein.

Ein erster Sandstrahlversuch bewirkte, dass die oberste Farbschicht der Versuchsfläche teilweise abgetragen wurde. Aufgrund dieses Befundes wurde ein neues Strahlmittel getestet, das nicht auf Basis von Quarzsand und Aluminiumoxyd, sondern von Kalziumkarbonat zusammengesetzt ist. Der zweite Reinigungsversuch erbrachte dann zufrieden stellende Resultate: das neue Strahlmittel schont die Farbschicht, aber entfernt den Staub gründlich und wesentlich schneller als andere Methoden.

links: Vorzustand, rechts: nach dem 1. Sandstrahlversuch (Färbung mit Kaliumoxidlösung zum Nachweis von bleihaltigen Schichten). Fotos: aus Bericht „Münster Bern, Untersuchung der Oberflächen der Masswerke auf Anstriche“ vom 21.02.2005, Susanne Mühlhaus, Expert-Center Zürich

unten: Nachweis von Schwermetallen auf der Steinoberfläche

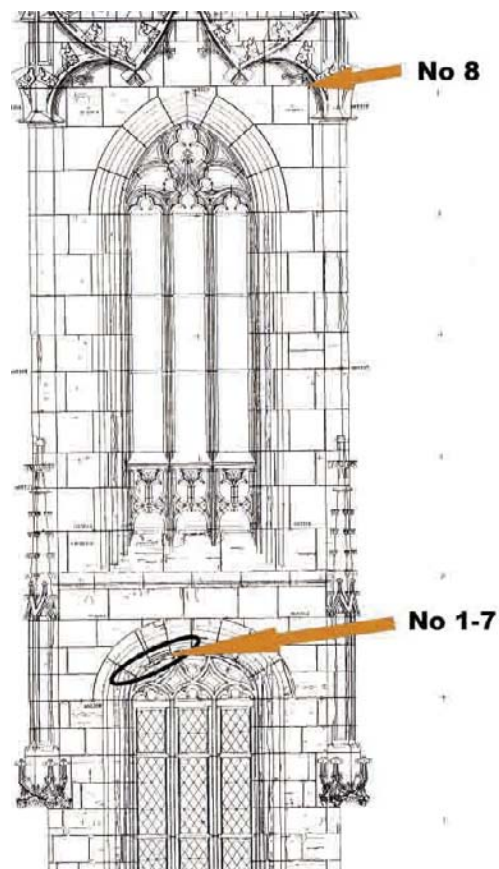
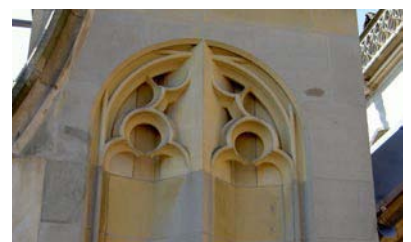


Oberflächenbehandlungen und Präventive Anstriche

Farbfassungen am Turmachteck

Im Rahmen seiner Diplomarbeit an der Hochschule der Künste in Bern (HKB) über die Anwendung von Öl als historisches Fassadenschutzmittel untersuchte Tobias Hotz auch Oberflächen am unteren Achteck. In den Fensterlaibungen des unteren Turmachtecks konnten rote, schwarze und weisse Fassungen nachgewiesen werden, welche auch gut von Auge sichtbar sind. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse ist anzunehmen, dass diese Anstriche mit Öl gebunden waren.

Auf den Werkstücken aus Zuger Sandstein am oberen Achteck beobachtete Tobias Hotz einzelne kleine ockergelbe Farbspuren. Es ist zu vermuten, dass ganze Bauteile mit diesem Gelbanstrich auf die Farbe des Obernkirchener Sandsteins eingetönt wurden. Mit dieser Beobachtung hat Hotz eine plausible Erklärung für die seit einiger Zeit beobachteten gelben Oberflächen an Werkstücken aus Zuger Sandstein am Strebewerk liefern können. Die Zusammensetzung der Farbe wird im Rahmen der Arbeit weiter untersucht.



1-3: Probenentnahme am Turmachteck durch Tobias Hotz (Proben Nr. 1-7)
 4-5: Vergleich zu Farbanstrichen an einer Pfeilerfiale auf der Südseite (ähnliche Spuren wurden am Turmachteck gefunden, Probe Nr. 8)

Oberflächenbehandlungen und Präventive Anstriche

Bereits in früheren Tätigkeitsberichten ist über Graffitiprävention berichtet worden. Im Berichtsjahr war der Sockelbereich des Chors an der Reihe. Nach der Restaurierung dieses Bauteils, bei welcher gefestigt, aufgemörtelt sowie Risse und Fugen geschlossen wurden, instruierte die Firma Willy Arn AG die Münsterbauhütte im sachgerechten Auftragen der Kalkkaseinschlämme auf dem Sandstein. Die Rezepturen und Methoden waren die gleichen wie im Jahr 2004 an der Südfassade. Neu hatte die Belegschaft der Münsterbauhütte Gelegenheit, die entsprechenden Techniken selber zu erlernen.



Oberflächenschutz: Versuchsreihe 2002-2005

Der Schlussbericht des Zürcher Expert-Centers von 2002 betreffend die Prüfkörper auf dem Hochhausdach Fenaco an der Erlachstrasse 5 ist eingetroffen. Mit diesen Prüfkörpern wurde die Praxistauglichkeit verschiedener Farbanstriche (Remmers Schlämme, Ölanstriche mit und ohne Bleiweiss) abgeklärt. Auf abschliessende Aussagen wurde verzichtet, da die Messmethoden nochmals verfeinert und die laufenden Prozesse weiter beobachtet werden sollen. Insgesamt konnte festgehalten werden, dass auf den mit Bleiweiss behandelten Oberflächen weniger biogener Bewuchs und weniger Ausblühungen vorhanden sind.



Das Expert-Center kam im September 2005 zu einer Annahme von grosser Tragweite: „Die theoretischen Überlegungen, dass sich an stark wetterexponierten Lagen der Fassade ein Einlassen der Berner Sandsteine mit Öl als Schutzschicht eignen könnte, scheinen sich bisher zu bestätigen.“

Da Beobachtungen, welche im Dezember 2005 an den Prüfkörpern gemacht wurden, nochmals neue Erkenntnisse nahe legen, sollen die Versuche so lange wie möglich weiter geführt werden.



Schlämmkurs im Sockelbereich - bis die Münsterbauhütte die Sockelpartien jedoch so virtuos wie Restaurator Jürg Feusi (Willy Arn AG) einretuschieren kann, braucht es viel Übung...

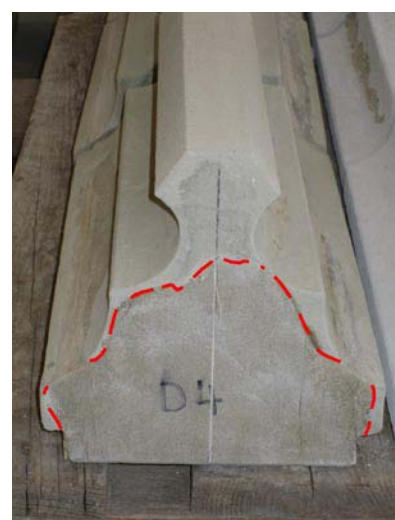
Mörtelgeschichten

Überprüfung von Restauriermörteln

Im Rahmen des Projekts „Beurteilung von Modelliermörteln“ wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. Die eine fand nach wissenschaftlichen Massgaben an den Expert-Centern Lausanne und Zürich statt. Eine zweite, empirische Versuchsreihe der Bauhütte wurde von den Expert-Centern nur am Rand begleitet. Bereits 2004 waren auf Abbaustücken der alten Obergadenfenster Mörtelproben aufmodelliert und 2005 an allen vier Seiten des Turms für Bewitterungsversuche montiert worden. Andere Prüfstücke erhielten verschiedene Schutzanstriche. Weiter werden Fugenmörtel getestet. Die Herstellung der Prüfkörper für Mörtelmuster wurde auf Anregung der Münsterbauleitung durch die Expert-Center minutiös dokumentiert, damit die prinzipiell empirisch konzipierte Versuchsanordnung nach dem Langzeitversuch auch mit der erforderlichen wissenschaftlichen Präzision untersucht werden kann. Nebst dieser Dokumentation sind Belegstücke fachgerecht eingelagert worden.

Ergänzend wurden mit den gleichen Rezepturen Versuche mit Antragsmörteln auf alten, ebenfalls vorgängig gefestigten Werkstücken vorbereitet. Dabei kamen vier Fertigmörtel sowie eigene Rezepturen der Münsterbauhütte für Zuger, Gurten und Oberkirchener Sandstein zur Anwendung. Ausserdem wurden eigene, mit 1Gewichtsprozent Mowilith vergütete Mörtel, welche in Feinbereichen zur Anwendung kommen, in die Versuchsanordnung einbezogen.

Gemessen wurden insbesondere die Gesamtporosität, die hygri-sche Dehnung (Volumenzunahme im nassen Zustand), die Transporteigenschaften für Wasser in flüssiger und dampfförmiger Form (kapillares Saugen und Trocknen / Trocknen und Dampfdurchlässigkeit). Schon beim Zuschneiden der Prüfstücke zeigte sich, dass Haftungsfähigkeit, Dichte und Homogenität der Sytonmörtel ungenügend sind. Syton wurde daher aus dem Versuch ausgeschlossen. Alle anderen Mörtel wiesen gute Haftungseigenschaften auf. Zwei der Fertigmörtel konnten freilich die Erwartungen an die Witterungsbeständigkeit nicht vollauf erfüllen und können bei Bewitterung oder an wasserexponierten Situationen nur mit Vorbehalten angewendet werden. Die eigenen mineralischen Mörtel wiesen sehr gute Eigenschaften bezüglich Haftung, Wasser- und Dampftransport auf. Wasserrückhaltezusatz (Mowilith) beeinflusst den Wasseraustausch und eignet sich daher nicht für die grossflächige Anwendung an wetterexponierten Stellen.



Oben: Prüfkörper mit verschiedenen Mörtelmischungen sowie Oberflächenbehandlungen und Fugenmuster werden auf allen vier Turmseiten in der Zwischengalerie der freien Witterung ausgesetzt. Die minimalen Grundlagen für eine allfällige wissenschaftliche Auswertung des ursprünglich rein empirisch gedachten Versuchsreihe wurden durch das Expert-Center in letzter Minute sichergestellt.

Foto Mitte: Bénédicte Rousset, Expert-Center Lausanne

Mörtelgeschichten



Parallel zu den Bewitterungsversuchen am Bau wurden unter gleichen Bedingungen in der Münsterbauhütte Probekörper für die Laboruntersuchungen hergestellt. Dabei wuchs Alfred Buri an der Fräse über sich hinaus - selbst im Mikrobereich und unter kritischer Beobachtung durch das Expert-Center übertraf er alle Erwartungen!

Fotos mit Ausnahme oben rechts: Bénédicte Rousset, Expert-Center Lausanne

Die Resultate haben nachträglich bestätigt, dass der von der Münsterbauhütte in den letzten Jahren beschrittene Weg richtig war. Insbesondere hält Restaurator Andreas Walser nun erstmals einen wissenschaftlichen Nachweis für die gute Qualität seiner Mörtelrezepturen für Zuger Sandstein in der Hand. Obwohl Walsers Methoden und Rezepte inzwischen zum Standardrepertoire der Münsterbauhütte gehören, kommt es immer wieder zu Situationen, in denen seine Hilfe unentbehrlich ist. Dies war auch im Berichtsjahr der Fall, wo er unter anderem für die Beurteilung einer Änderung an einer Mörtelrezeptur nach Bern gerufen wurde. Andreas Walser, der die Münsterbauhütte in den vergangenen Jahren immer wieder mit entscheidenden Hinweisen versorgt hat, gebührt unser wärmster Dank.



Streitkultur in der Münsterbauhütte. Offensichtlich gibt es keinen plausiblen Grund, das bewährte Mörtelrezept von Andreas Walser abzuändern.

Vorbereitung der Arbeiten am Turmachteck



Nebst den erwähnten Versuchen wurden Mörtelversuche bei grossen Fehlstellen an exponierten Stellen des unteren Turmachtecks durchgeführt. Ulrich Aeschbacher modellierte unter widrigsten Bedingungen an Werkstücken aus dem 16. Jahrhundert am unteren Achteck mehrere Rundstäbe auf, welche technisch so gut gelungen sind, dass sie auch von Spezialisten auf den ersten Blick nicht von originalen, patinierten Berner Sandstein unterschieden werden können. Eines dieser wirklich sehr bemerkenswerten Stücke wird leider zu Versuchszwecken zersägt werden müssen.

Hinterfüllung von Schalen

Tobias Hotz führte am Turmachteck weitere Versuche zur Sanierung von Rissen und Hinterfüllungen von Schalen durch. Bekanntlich treten sowohl beim Berner wie auch beim Zuger Sandstein unter gewissen Bedingungen grossflächige oberflächenparallele Schalen auf, die aus Gründen des Wasserhaushalts nicht grossflächig mit Acrylharzinjektionen vergossen werden sollen. Als Alternativmaterial wurde ein Silikatkleber untersucht – ein Material, welches gemäss Hersteller Stefan Busch komplett wasser- und dampfdurchlässig ist, und eine gute Klebewirkung erbringt.

Dieser Stein-Silikatkleber wies in den Versuchsreihen eine sehr gute Haftzugfestigkeit auf. Die Versuche erbrachten bisher bezüglich der Eindringtiefe in Klüften eher unbefriedigende Resultate, wobei die Anwendung des Produkts in weiteren Versuchen optimiert werden soll. Dabei soll insbesondere die erforderliche Abbindezeit genauer beachtet werden. Als weitere Hinterfüllmittel sollen im Frühjahr 2006 Mikrozement, dispergiertes Weisskalkhydrat, sowie andere kieselsäuregebundene Materialien an Prüfkörpern getestet werden.



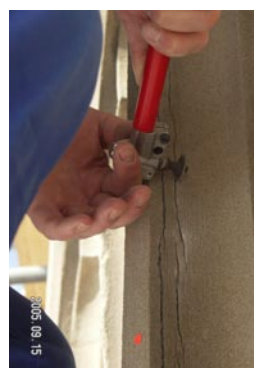
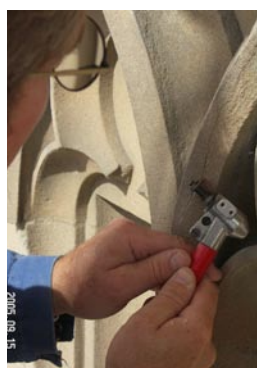
Erste Versuche zur Schalenhinterfüllung am Turmachteck (Steinsilikatkleber Stefan Busch). Weitere Tests folgen 2006.

Fotos links / Text rechts oben nach: Tobias Hotz «Der Stein-Silikat-Kleber für Steinhinterfüllungen am Berner Münster» vom September 2005

Vorbereitung der Arbeiten am Turmachteck

Risse am Turmachteck

Ein typisches Schadensbild am oberen Achteck sind feine Risse und oberflächliche Haarrisse. Risse sind bislang mit Acrylharz vergossen worden. Da das Harz dazu neigt, Flecken an der Steinoberfläche zu hinterlassen, eignet sich diese Technik nur schlecht für die Reparatur kleiner oberflächlicher Risse. Grundsätzlich ist noch unklar, ob die Verfüllung von kleinen Rissen wirklich notwendig ist, ob mit dem oberflächlichen Auffräsen von Rissen die Anwendbarkeit des Acrylharzes verbesserungsfähig ist und ob feine Haarrisse durch Auftrag von Öl wasserundurchlässig geschlossen werden können.



- 1 Vergiessen von Rissen mit Acrylharz
- 2 Verbesserung der Technik mittels vorgängigem Auffräsen
- 3 Das Schliessen von Haarrissen durch Auftragen von Öl zeigte bisher leider nicht die gewünschte Wirkung



Bild 3: «Die Rissbehandlung am Turmachteck Öl-Harz Versuche», Tobias Hotz 07.09.2005