

7. Versuche / Grundlagen

Schuppen und Schollen

Viele Flächen am Münster sind prinzipiell intakt, weisen aber schuppene Oberflächen auf. Zur Untersuchung möglicher Restaurierungsmethoden wurden am Masswerk und an der Leibung des Fensters der Schütz-Kapelle aussen Versuchsflächen ausgeschieden. Auf diesen wurden jeweils zwei Behandlungsmethoden ausprobiert – mit Kieselsol und mit Kieselsäureester. Beide Chemikalien weichen das Sandsteingefüge auf, machen die Schuppen elastisch und gestatten es, diese zurückzukleben, bevor sie wieder aushärten. Bei den Versuchen zeigte sich, dass das Verfahren mit Kieselsol wesentlich besser funktioniert als jenes mit Kieselsäureester, da die Schuppen elastischer werden und eine bessere Klebwirkung erzielt wird. An Stellen, wo unter der abgelösten Schale bereits Steinmaterial wegerodiert ist, lassen sich mit einer Mischung aus Sand und Kieselsol Stützkittungen anbringen (vgl. auch Kapitel 4, Schütz-Kapelle). Dank dem Zurückkleben der Schuppen können die originalen Werkzeugspuren wiederhergestellt werden. Die Reduktion der Oberfläche stoppt die Schadensprozesse, welche durch Kondens- und Regenwasser stark beschleunigt werden.

 **BERNER MÜNSTER-STIFTUNG**
 MÜNSTERBAUHÜTTE BERN / PETER VÖLCKLE, BETRIEBSVERANTWORTLICHER
 Langmauerweg 18 / Postfach / CH-3000 Bern 13 / mobile 0041 78 684 16 03
 Tel. 0041 31 311 62 95 / Fax 0041 31 311 62 91 / peter.voelkle@bernermuensterstiftung.ch
 Baustelle Feld 30 Süd



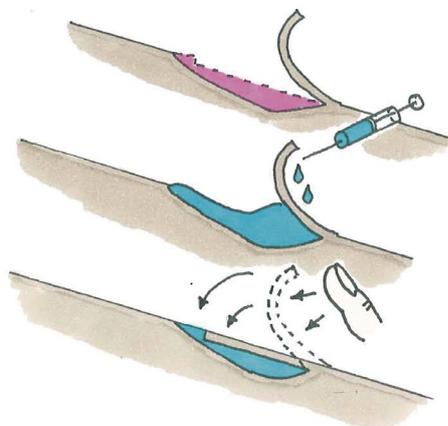
links: Schema der Vorgehensweise bei einer Stützkittung

Thema: Schuppen/Schollen festigen

Vorgehen:

Kombination Syton X30 und Vorfestiger Motema H30

Schritt 1: Zuerst werden alle grösseren aufgeworfenen Schollen, die auf der Rückseite (Untergrund) einen starken Materialverlust aufweisen, mit Syton X30 aufgeweicht, mit Syton X30 Mörtel unterkittet und wieder in ursprüngliche Form gedrückt.



-  = Aufgeworfene Scholle/Stein
-  = Fehlstelle/Materialverlust
-  = Syton X 30 Mörtel

21.11.06 *U.U.H.*

unten: typische Beispiele für schuppene Oberflächen



7. Versuche / Grundlagen

Festigungsversuche in der Werkstatt

Die Versuche wurden unter Beizug von Bruno Portmann (matt-ec+, Lenzburg) durchgeführt, der in der Anwendung von Festigern breite Erfahrung besitzt. Die wissenschaftliche Begleitung wurde durch Bénédicte Rousset und Christine Bläuer vom CSC sichergestellt. Die Versuche befassten sich mit komplexen Schadensphänomenen, die von absandenden Oberflächen über tiefe Lockerzonen bis ca. 4 cm Tiefe bis hin zu einfachen und mehrfachen Schalenbildungen reichen.

Für das bislang mit guten Erfahrungen verwendete Produkt muss wegen einer Produktmodifikation ein Nachfolger gesucht werden. Zudem neigt der bislang verwendete Vorfestiger dazu, zu stark auszuhärten. Die Versuche dienten dem Zweck, das Anwendungsspektrum des Materials auszuweiten. Ein weiteres Ziel der Versuche bestand in der Findung eines Verfahrens, mit dem die Festigung und die Sicherung von Schalen kombiniert vorangetrieben werden können. Beide Schadensphänomene treten häufig gemeinsam am gleichen Werkstück auf. An Festigern wurde praktisch das ganze marktgängige Spektrum auf Aushärtezeit, Verfärbungen, Elastizität etc. untersucht. Hierfür wurden die Festiger zum Ausreagieren in offenen Bechern stehen gelassen.

Die zweite Versuchsreihe bestand aus Materialversuchen, bei denen Sand mit unterschiedlichen Festigern angerührt, ausgestrichen und ausgetrocknet wurde. Die Proben wurden haptisch untersucht. Mit den Proben kann auf einfache Weise die Dauer des Abbindens beobachtet werden. Während dieser Phase findet die Kieselgelbildung statt, bei welcher die Proben hydrophob, das heisst wasserabweisend sind.



Ausreagierte Festiger



Festiger – Sandmischungen



Deutliche Unterschiede bei der Alterung der verschiedenen Festigerprodukte im Becher: vier gleich alte Produkte mit sehr unterschiedlichem Abbindeverhalten

7. Versuche / Grundlagen

Festigungsversuche in der Werkstatt

Weiter wurde ein Satz von Steinproben gefestigt und die Eindringtiefe gemessen. Je schneller ein Festiger abbindet, umso geringer ist seine Eindringtiefe. Wünschbar ist, dass ein Festiger die gesamte Lockerzone überbrückt, und dass gleichzeitig möglichst bald nach der Festigung weiter gearbeitet werden kann. Die gleichen Versuche wurden auch an verwitterten Steinoberflächen gemacht. Dabei wurde der Wiederherstellung der Festigkeit der Lockerzonen besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Die Resultate wurden mechanisch (Kratzproben) sowie im Labor ermittelt, wo das kapillare Saugverhalten untersucht wurde.



Aus den gefestigten Werkstücken werden Prüfkörper geschnitten



Überprüfung der Eindringtiefe am Berner Sandstein. Durch erneutes Benetzen der Oberfläche kann diese sichtbar gemacht werden.



Deutlich erkennbare Hydrophobie in der Randzone eines gefestigten Prüfstückes aus Zuger Sandstein (Foto: CSC Fribourg / 09.02.2007)

Die dritte Versuchsreihe fand an Bohrkernen ausgebauter Werkstücke statt, die mit unterschiedlichen Festigern behandelt und anschliessend aufgesägt wurden. Diese Stücke wurden auf ihre Ultraschalleitfähigkeit hin untersucht, wobei ein Spezialgerät eingesetzt wurde. Dieses Verfahren ermöglicht interessante Erkenntnisse, die Resultate müssen jedoch immer mit den Resultaten anderer Versuchsmethoden verglichen werden, da sie teilweise mit Unklarheiten behaftet sind.

Fazit: Von den zehn überprüften Festigersorten bzw. Mischungen von jeweils höchstens zwei unterschiedlichen Sorten schieben zwei aufgrund der starken Hydrophobie aus. Insgesamt drei Produkte sind noch in der Evaluation, die im Jahr 2008 weiter läuft. Idealerweise werden zwei Produkte gesucht, mit denen in reiner Anwendung oder in klar festgelegten Mischverhältnissen das ganze Spektrum an denkbaren Restaurierungsmethoden durchgeführt werden kann. Die ersten Resultate sind ermutigend.



Zwei verschiedene Festigersorten auf verwittertem Sandstein: Die Unterschiede bei der Eindringtiefe und Festigkeitsentwicklung sind enorm.

7. Versuche / Grundlagen

47

Versuche Schalensanierung in der Werkstatt

Schalensbildungen am Berner und besonders am Zuger Sandstein sind unerwünscht, da sie zum grossflächigen Verlust der originalen Oberflächen führen. Während die Schalenbildung am Berner Stein oft parallel mit anderen Verwitterungsprozessen einhergeht, scheint der Zuger Sandstein an der Oberfläche oft intakt zu sein, obwohl sich bereits ausgeprägte Schalen gelöst haben. Mit Ausnahme besonders schlanker Werkstücke sind Schalen von einigen Zentimetern Dicke statisch kein besonderes Problem. Bisher waren für die Stabilisierung starker Schalenbildungen Acrylharze, zur mechanischen Sicherung Chromstahlarmierungen verwendet worden. Sofern es gelingt, eine gute Alternative zu finden, können sachgerecht hinterfüllte Schalen auf eine lange Lebensdauer zählen.

Die Versuchsreihe bestätigte zunächst die Vermutung, dass eine durchgehende Hinterfüllung von losgelösten Schalen aufgrund des Schadensbildes der häufig sehr ungleichmässigen Lockerzonen prinzipiell nicht möglich und auch nicht wünschenswert ist. Im Vordergrund steht also die Bestrebung, bestehende Schalen zu stabilisieren und mechanisch zu sichern.

Bei der Versuchsanordnung wurden ausgebaute Werkstücke verwendet. Sie wurden angebohrt. An den Bohrlöchern wurden mit Heissleim Tropfpipetten befestigt. Danach wurden Festiger in verschiedener Beschaffenheit eingelassen, zunächst in reiner Form, später angereichert mit sehr fein gemahlener mineralischer Füllstoffen (u. a. Kalziumcarbonat).

Die Versuchsreihe führte zur Erkenntnis, dass das Verfahren nur funktioniert, wenn die Bohrlöcher mit Wasser gut ausgespült und somit vom Bohrstaub befreit werden. Da andere Versuche am Bau (siehe unten) inzwischen gute Resultate erbracht hatten, wurde die in der Werkstatt begonnene Versuchsreihe abgebrochen.



von oben nach unten: Bruno Portmann (mattec+) bei der Demonstration der von ihm seit längerem praktizierten Schalensanierung / Die Tropfpipetten werden in die Bohrlöcher eingeklebt und nach oben gebogen. Zum Befüllen mit Festiger werden sie aufgeschnitten. / Versuch der Festigung der hinter der Schale liegenden Lockerzone. Leider brachte der Versuch nicht das erhoffte Resultat.

7. Versuche / Grundlagen

Sichern von Schalen: Versuchsflächen Pfeiler 35/205/311

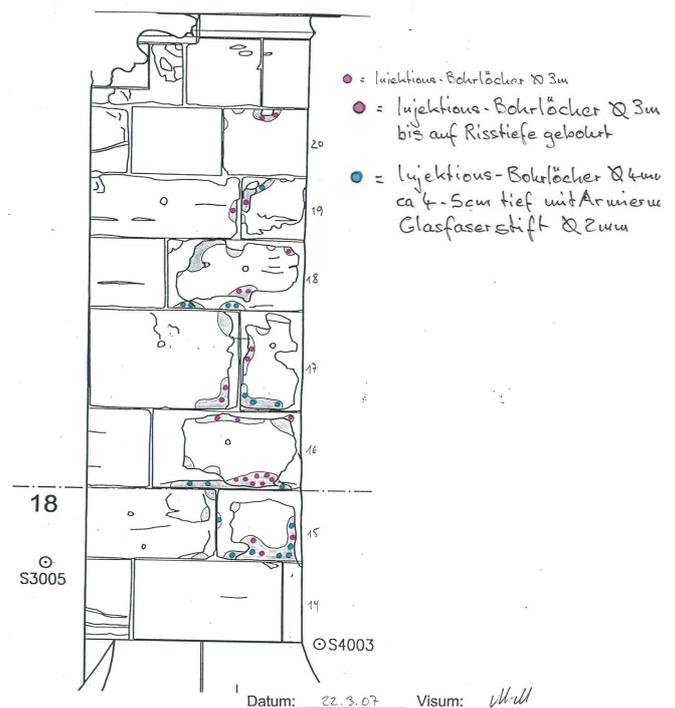
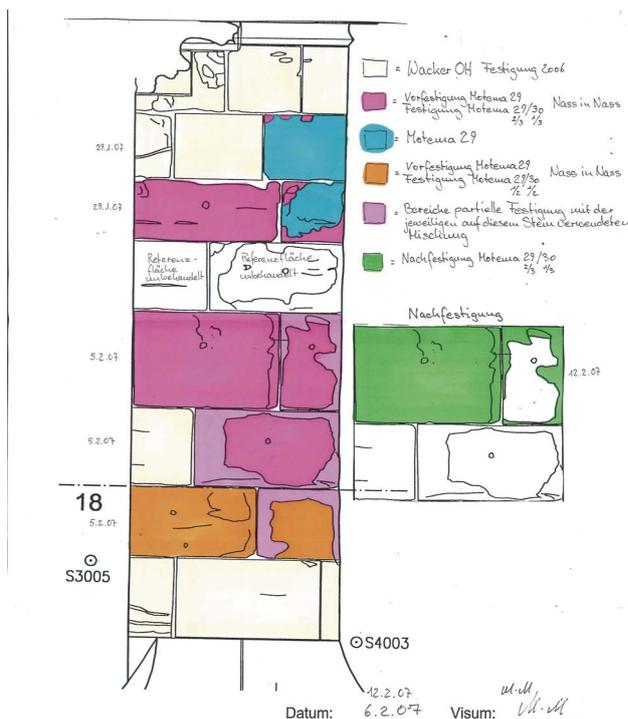


Zu jenem Zeitpunkt, an welchem die Versuche am Pfeiler 35 aufgenommen wurden, waren die grundlegenden Probleme in Werkstattversuchen geklärt. Die Versuche am Pfeiler funktionierten nach dem gleichen Prinzip, bei welchem die Bohrlöcher sehr gut gespült werden, bevor die Tropfpipetten mit Heissleim angebracht werden. Als Injektionsmittel wurden Kieselzol und Mikrozement erprobt. Dem Kieselzol kann nach Bedarf Kalkmehl beigemischt werden, welches im Feinbereich als Füllstoff dient. Bei stark aufgelockerten Zonen kann mit kleinen Acrylharzinjektionen punktuell die Haftung des Steinmaterials an der Armierung verbessert werden.

In der letzten Versuchsphase wurden die fixierten Schalen am Versuchspfeiler abgenommen und analysiert. Die Verfahren funktionieren gut, setzen jedoch für jedes individuelle Schadensbild ein massgeschneidertes Programm und eine massgeschneiderte Kombination der verwendeten Materialien voraus. Dies bedingt eine sorgfältige Analyse des Schadensbildes ebenso wie genaues Beobachten während des Arbeitsprozesses. Das Verfahren setzt bei den Personen, die es anwenden, gute Materialkenntnisse, Fingerspitzengefühl und Intuition voraus.



Aufgeklebte Tropfpipetten zum Befüllen mit den Injektionsmaterialien / Abgenommene Schale zur Überprüfung des Verfüllungsgrades und der Klebwirkung



Die Versuche wurden durch die Münsterbauhütte genau dokumentiert. links: Zur Festigung verwendete Produkte und Mischverhältnisse, rechts: Anzahl und Tiefen der Injektionsbohrungen zur Sicherung der Schalen

7. Versuche / Grundlagen

Mörtelüberprüfung

Bereits 2005 waren durch die beiden Expert Center Lausanne und Zürich zehn Restaurierungsmörtel auf ihre petrophysikalischen Eigenschaften und ihre Verträglichkeit mit den Sandsteinsorten am Münster getestet worden (vgl. Tätigkeitsbericht 2005, S. 45-46). 2006-07 wurde die Untersuchung durch CSC Fribourg nun auf Kernmörtel ausgeweitet. Dabei wurde die Verträglichkeit von Kernmörtel und Deckmörtel sowie des Systems Sandstein-Kernmörtel-Deckmörtel geprüft.

Die Untersuchungen befassten sich mit der Wasserkapazität, der Porosität, der hygrischen Dehnung (Ausdehnung bei Wasseraufnahme), dem kapillaren Saugen, dem Trocknungsverhalten und der Wasserdampfdiffusion, besonders an der Trennschicht zwischen Sandstein und Mörtel.

Für die Untersuchung wurden in der Bauhütte Prüfkörper auf verwitterten Sandsteinstücken hergestellt, welche anschliessend gesägt und im Labor unter anderem zu Dünnschliffen weiter verarbeitet wurden.

Die unter Laborbedingungen, d. h. nass in nass und horizontal liegend hergestellten Prüfkörper zeigten bei allen am Berner Münster verwendeten Mörteln sehr gute Resultate. Anschliessend wurden zusätzliche Proben unter realistischen Bedingungen hergestellt. Dabei wurden Kern- und Deckmörtel an vertikalen Stücken angebracht und versuchsweise am gleichen Tag, nach drei Tagen oder nach vier Wochen aufgetragen. Gleichzeitig wurde ein 2005 am Bau aufgemörteltes Rundstab «geopfert» und analysiert. Sämtliche Proben zeigten eine hohe Verarbeitungsqualität.

Die Tests erbrachten für alle Mörtel unter allen Bedingungen gute Resultate. Es zeigte sich wie erwartet, dass die beste Verbindung entsteht, wenn der Deckmörtel zeitnah, also möglichst nass in nass auf den Kernmörtel aufgebracht wird.

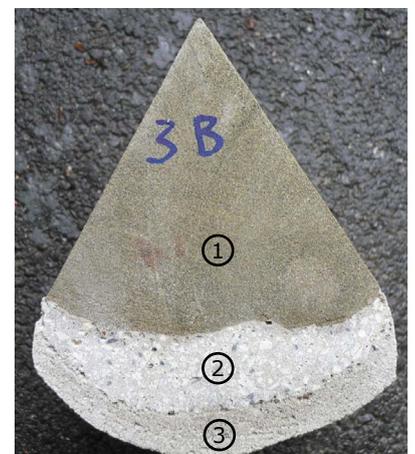
Bei allen Systemen war die Dampfdiffusion sehr gut. Die Porosität bewirkte ein zurückhaltendes Saugverhalten. Der Schlussbericht hält fest, dass der verwendete Kernmörtel als optimales Material zwischen Sandstein und Deckmörtel bezeichnet werden darf. Offen und weiter zu untersuchen bleibt die Frage, welche Konsequenzen die festgestellte hohe Wasserrückhaltekapazität des Kernmörtels auf die Dauerhaftigkeit der Werkstücke hat.



Verwitterte und gefestigte Steine als Grundlage für die Aufmörtelungen (links: Zuger Sandstein, rechts: Berner Sandstein)



Stehend aufgemörtelter Kern- und Deckmörtel



Aufgeschnittener Prüfkörper:
1 Berner Sandstein
2 Kernmörtel
3 Deckmörtel

(Fotos von oben nach unten:
18.04.2007, 20.06.2007, 26.06.2007)

7. Versuche / Grundlagen

Mörtelüberprüfung

Fazit: Zu achten ist auf eine gute Verarbeitung und Nachpflege, auf eine möglichst kurze oder genügend lange Wartezeit zwischen den beiden Arbeitsgängen sowie auf eine ausreichende Überdeckung mit dem Deckmörtel.

An dem vor zwei Jahren unter widrigen klimatischen und örtlichen Bedingungen unter dem Turmgerüst hergestellten Werkstück zeigte sich eine hohe Verarbeitungsqualität, bisher ohne jegliche Alterserscheinungen. Dieser Standard soll natürlich auch in Zukunft eingehalten werden. Dass an keinem Werkstück seit den ersten Versuchen 2001 bisher Verwitterungs- oder Frostschäden beobachtet werden konnten, stimmt weiterhin optimistisch für die weitere Entwicklung der Steinrestaurierungen.

Das Vinylacetat, welches bisher zur Verbesserung des Abbindeprozesses und der Verarbeitbarkeit an sehr filigranen Teilen verwendet wurde, hat ein sehr hohes Wasserrückhaltevermögen und soll besonders an stark dem Regen ausgesetzten Stellen und im Bereich von aufsteigender Feuchtigkeit zurückhaltend eingesetzt werden. Das Produkt wird nur in ganz wenigen Fällen angewendet, nämlich bei extrem dünnen Aufmörtelungen, bei denen ein «Verbrennen» des Mörtels droht.



Aufgeschnittene Prüfkörper

oben: Aufmörtelung in der Werkstatt an einem ausgebauten Stück aus einem Fialenschaft

unten: aus einem am Bau aufgemörtelten Rundstab herausgetrennte Stücke

(Fotos: CSC, Fribourg / 2007)



oben: fertige Prüfwüfel, welche alle den Aufbau Sandstein-Kernmörtel-Deckmörtel zeigen

links: Fingerspitzengefühl beim Heraussägen der Prüfwüfel für die Laboruntersuchungen

(Fotos: CSC, Fribourg / 2007)

7. Versuche / Grundlagen

Voruntersuchung Chorfenster



Im Sommer wurden die Chorfenster untersucht. Dabei wurden ausgewählte Fensterdetails von einem Rollgerüst aus mit Fotos der selben Bereiche von 1986/87 verglichen. Die Untersuchung wurde von Dr. Stefan Trümpler, dem Leiter des Vitrocentre Romont, durchgeführt.

An den ungeschützten Masswerkscheiben ohne Schutzverglasung war eine markante Verschlechterung des Zustandes festzustellen: geringfügige Verstärkung von Salzausblühungen, Verluste der Schwarzlotmalerei durch Kondenswasser, starke Verschmutzung der Scheiben an der Aussenseite sowie Korrosion am Glas. Aussen liegende Bemalungen sind stark gefährdet. Dies ist u. a. bei zwei schon ursprünglich seitenverkehrt bemalten und verkehrt eingebauten Engeln im Masswerk des Dreikönigsfensters der Fall.



sII, Masswerk, 1987 (links) und 2007: Vergleiche mit den Aufnahmen von 1987 zeigen eine markante Verschlechterung des Zustands der Bemalungen. Die Ablagerungen haben stellenweise zugenommen, besonders auch die Verdunkelung der flächigen Lasuren und Modellierungen sowie die Ausbrüche dieser hochempfindlichen, angegriffenen Malschichten.

(Fotos und Text aus: «Berner Münster, Chorfenster des 15. und 19. Jhs. - Bericht über die Zustandskontrolle 2007», Nov. 2007, Dr. Stefan Trümpler, Leiter des Vitrocentre Romont)

Ein alarmierendes Bild bot sich an den Fenstern des 19. Jahrhunderts. Die Schäden umfassen: Sprünge im Glas, Verschmutzungen, Schäden an den Malereien, Verlust von Emailaufträgen und Schwarzlotbemalungen. Gesamthaft wurde eine Verdunkelung der Farben festgestellt. An den für die Modellierung von Gesichtern verwendeten Lasuren waren Korrosionserscheinungen festzustellen. Auch an Verkittungen und Bleiruten wurden Schäden angetroffen, die jedoch bisher noch keine Gefährdung der Glasbilder bewirkt haben.

Eine Scheibe des Christusfensters wurde im Hinblick auf die Ausschreibung der Arbeiten ausgebaut und im Atelier Halter Reinigungsversuchen unterzogen. Die Scheibe wurde anschliessend provisorisch wieder eingebaut.

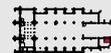
rechts: Ludwig Stantz, Christusfenster, 1868. Die Scheibe mit dem Evangelisten Lukas aus der untersten Fensterzeile wurde versuchsweise ausgebaut und im Atelier Halter für Glasmalkunst gereinigt. (Foto: Martin Halter, Atelier für Glasmalkunst, Bern / Dezember 2007)



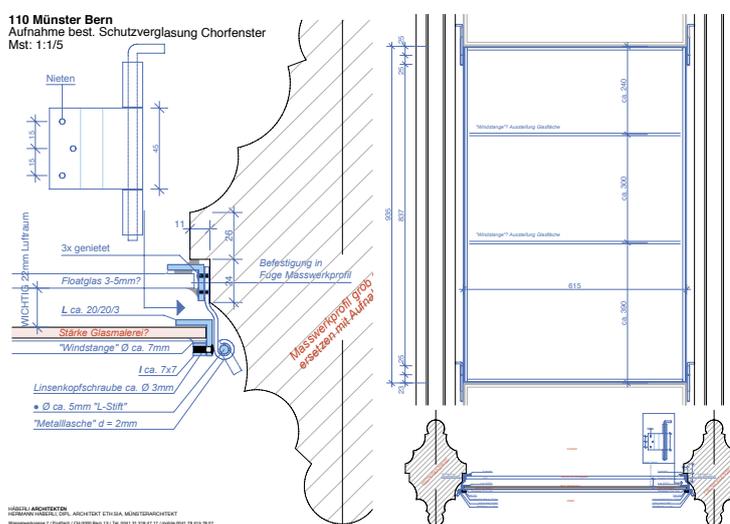
7. Versuche / Grundlagen

52

Voruntersuchung Chorfenster



Da die Schutzverglasungen an den mittelalterlichen Fenstern offensichtlich hervorragende Dienste geleistet haben, wurde beschlossen, nun auch das Christus- und Stephanusfenster mit einer Schutzverglasung auszurüsten. Dabei wird eine Scheibe aus Verbundsicherheitsglas in die ursprüngliche Fassung eingelegt und die Glasmalerei wird in einem neuen Metallrahmen an der Gebäudeinnenseite gut hinterlüftet vorgehängt. Das gleiche Verfahren soll in einer späteren Phase auch bei den mittelalterlichen Masswerkscheiben angewendet werden. Die Schutzverglasungen werden aussen analog der bereits 1947 ausgeführten Schutzverglasungen an den anderen Chorfenstern mit einem Gitter gegen mechanische Beschädigung und die Spiegelwirkung des Glases ausgeführt.



oben: Aufnahmeplan der bestehenden Schutzverglasung von 1947 (Skizze: März 2008 Münsterbauleitung Bern)
Das bisher gut funktionierende System soll für die neuen Schutzverglasungen wieder aufgenommen und minimal verbessert werden.

„Die Rahmen der Glasmalereifelder bestehen aus verzinkten L-Stahlprofilen mit eingeschraubten Glasleisten aus demselben Material. Die ebenfalls verzinkten Scharniere sind mit den Rahmen fest und sicher verschraubt. Das Kittbett in den Rahmen ist hart und satt. Die Rahmen zeigen keinerlei Korrosion. Sie sind raumseitig mit grauer Ölfarbe gestrichen. Die Gegenscharniere sind an L-Profilleisten im Steinfalz ebenfalls mit Schrauben sicher befestigt. Zwischen den gerahmten Glasmalereifeldern und den Steingewänden zeigen sich schmale Lichtschlitze. Sie sind auf die Scharniere zurückzuführen und tragen sehr wahrscheinlich zur guten bauphysikalischen Wirkung der Schutzverglasung bei (schwache Belüftung des Zwischenraums auf der ganzen Höhe). Die Lichtschlitze sind nur bei direktem Sonneneinfall am Morgen relativ stark bemerkbar. Bei den Schutzgläsern handelt es sich um gezogenes, leicht strukturiertes Glas. Nahezu alle Gläser sind intakt. Sie sind beidseitig verschmutzt, innen zeigen sie teilweise Laufspuren von Kondenswasser. Die Verkittungen im L-Randprofil sind ausgehärtet und zeigen feine Schwundrisse. Die Haftung ist im allgemeinen gut. Am Fuss der linken Lanzette des Achsenfensters finden sich viele Kittreste, die Verkittung der Schutzverglasung ist hier etwas schadhaft. Die Rahmenprofile im Falz sind in gutem Zustand.“

(Text aus: „Berner Münster, Chorfenster des 15. und 19. Jhs. - Bericht über die Zustandskontrolle 2007“, Nov. 2007 / Dr. Stefan Trümpler, Leiter des Vitrocentre Romont)