



Hermann Häberli, Münsterarchitekt, Wasserwerksgasse 7, 3000 Bern 13
 info@haeberli-architekten.ch, www.bernermuensterstiftung.ch



STEINKONSERVIERUNG UND -RESTAURIERUNG

Steinfestigung

- ZIEL:**
- Verzögerung von weiteren Schäden durch Bindemittelverlust
 - Stabilisierung des Untergrundes für die weitere Restaurierung
 - Konsolidierung von stark sandenden Steinoberflächen
 - Konsolidierung von stark entfestigten Bereichen hinter Schalen
 - Keine Hydrofobierung der Oberfläche
 - Untereinander kompatible Produktpalette
- WEG:**
- Kieselsäureester
 - Zahlreiche Versuchsreihen in der Werkstatt und am Bau
 - Beobachtungen am Bau
 - Wissenschaftliche Begleitung durch ETH Zürich, CSC Fribourg, mattec+ Lenzburg
- PARAMETER:**
- Verhältnis zwischen minimal nötigem und maximal vertretbarem Eintrag von Festigungsmitteln
 - Ermittlung der Notwendigkeit einer Festigung von Fall zu Fall
 - Kontrollierte und bewusste Anwendung
 - Lösungsmittelgehalt, Arbeitsschutz
 - Zeitfaktor: wann muss weitergearbeitet werden können?
 - Kenntnis der idealen klimatischen Bedingungen zum Zeitpunkt der Anwendung
 - Periodische Überprüfung der Resultate und Produkte

Probleme mit Steinfestiger am Bau:



Beim Festigen der Steinoberfläche soll eine Konsolidierung der verwitterten Bereiche erreicht werden. Dies können zum einen flächig absandende, zum anderen partiell stark verwitterte und tief entfestigte Bereiche sein. Zur Anwendung kommen Festigungsmittel auf Kieselsäureester-Basis, dabei werden unterschiedliche Produkte verwendet und auf die jeweilige Schadenssituation abgestimmt eingesetzt. Das Festigen von Naturstein ist ein sehr komplexer Vorgang, bei dem neben der Wahl des richtigen Produkts und der kontrollierten Anwendung auch die klimatischen Verhältnisse (Luftfeuchtigkeit, Temperatur) eine wichtige Rolle spielen.

2002: unterschiedliche Gebinde des gleichen Produktes mit unterschiedlichem Verhalten (Pfeiler 35 Nord, Übergang an Steinkante; ein Teil des Produktes bleibt lange hydrofob).

2007: keine Festigungswirkung am Turmdeckel, beim Kontakt mit Wasser wird dieses vorgängig gefestigte Stück im Inneren „weich“.

2004: Verfärbungen durch vorhydrolysierten Steinfestiger am Fenster 70 Nord.

Bereits in den Jahren 2002-2004 wurden diverse Versuchsflächen angelegt. Aufgrund unterschiedlicher am Bau aufgetauchter Probleme und sich teilweise widersprechender Fachmeinungen wurden im Rahmen eines Projektes mit dem damaligen Expert-Center für Denkmalpflege in Zürich an zirka 15 bereits gefestigten Fassadenflächen Bohrkern entnommen und analysiert. Gleichzeitig wurden Versuchsflächen am Bau im Sinne einer Nachkontrolle behandelte Werkstücke aus vergangenen Jahren genau dokumentiert. Parallel erfolgten weitere Versuche am Bau sowie wissenschaftliche Recherchen über die Praxistauglichkeit verschiedener Festigerprodukte. Ziel dieser Versuchsreihen war nicht eine theoretische Abhandlung, vielmehr sollen direkte praxisbezogene Tipps zur Ermittlung der optimal auf die Situation des Berner Münsters zugeschnittenen Anwendungen gefunden werden. Aufgrund dieser ersten Überprüfungen wurde die eingebrachte Festigermenge pro m² stark reduziert. Es wurde von Fall zu Fall genau überprüft, ob und wie eine Festigung zu erfolgen hat.



Neuer Grundsatz: weniger ist mehr!

Nachdem 2005 das bisher verwendete Produkt unverhofft vom Markt genommen wurde, mussten zur Ermittlung eines geeigneten Nachfolgeproduktes weitere Tests in Angriff genommen werden. Um das Verhalten der unterschiedlichsten Festiger zu beobachten, wurden umfangreiche Versuchsreihen durchgeführt. Diese bestanden zum einen aus der praktischen Erprobung an Prüfkörpern in der Münsterbauhütte, zum anderen in der wissenschaftlichen Begleitung, flankiert von Messungen und Laborversuchen (C. Bläuer / B. Rousset, CSC Fribourg).

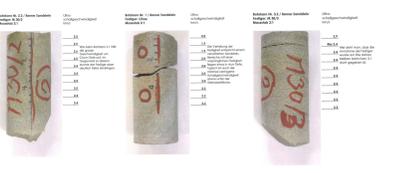
Materialeversuche 2006: Sand mit unterschiedlichen Festigern angehängt und ausgetrichen. Beobachtung der Dauer des Abbindens sowie die Festigkeitsentwicklung von verschiedenen Produkten.

2007: Beobachtung und Dokumentation von Aushärtezeit, Verfärbungen, Elastizität etc. derselben Produkte. Hierfür wurden die Festiger zum Ausreagieren in offenen Bechern stehen gelassen.

2007: Versuche an Prüfkörpern mit verwitterter Steinoberfläche. Auf den Abbildungen sind die enormen Unterschiede der Eindringtiefe und Festigkeitsentwicklung sichtbar.

Die Festiger wurden zum Ausreagieren in offenen Bechern stehen gelassen, um das Verhalten bezüglich Aushärtezeit, Verfärbungen, Elastizität zu überprüfen. Parallel dazu wurden Proben angefertigt, bei denen Sand mit unterschiedlichen Festigern angerührt und ausgetrichen wurde. So konnte auf einfache Weise die Dauer des Abbindens sowie die Festigkeitsentwicklung beobachtet werden.

Weiter wurde ein Satz von Steinproben gefestigt und die Eindringtiefe gemessen. Je schneller ein Festiger abbindet, um so geringer war seine Eindringtiefe. Dies widersprach dem Wunsch der Bauhütte, dass ein Festiger möglichst die gesamte Lockerzone überbrückt (also möglichst tief eindringt), 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. Dabei zeigten sich enorme Unterschiede der Eindringtiefe und Festigkeitsentwicklung.



Eine weitere Versuchsreihe fand an Bohrkernen ausgebauter Werkstücke statt, die mit unterschiedlichen Festigern behandelt worden waren. Diese Stücke wurden in Zusammenarbeit mit Bruno Portmann, mattec+ Lenzburg, mit einem Ultraschallgerät überprüft, wobei über einen Sender und Empfänger Ultraschallimpulse durch den Bohrkern gemessen und dabei Rückschlüsse auf die Eindringtiefe des Festigers sowie über das Festigkeitsprofil gewonnen werden sollten. Die Erkenntnisse wurden mit den Ergebnissen anderer Versuchsmethoden abgeglichen.

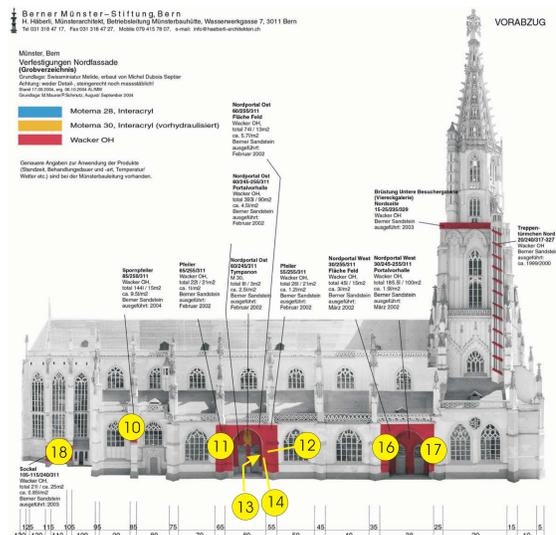
2008: Hier wurde ein Satz von Steinproben gefestigt und die Eindringtiefe gemessen. Je schneller ein Festiger abbindet, um so geringer ist seine Eindringtiefe. Wünschbar ist, dass ein Festiger die gesamte Lockerzone überbrückt, und dass gleichzeitig möglichst bald nach der Festigung weiter gearbeitet werden kann.

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

Aus einigen ausgebauten Werkstücken, die mit unterschiedlichen Festigern behandelt worden waren, wurden Bohrkern gezogen. Dann wurde versucht, mittels Ultraschall die Eindringtiefe des Festigers zu ermitteln sowie Informationen über das Festigkeitsprofil zu gewinnen. Die Resultate wurden mit den Ergebnissen aus den anderen Versuchsreihen verglichen.

Aufgrund der Resultate aus den Versuchsreihen wurde ein Steinfestiger ausgewählt, mit dem am besten auf die jeweilige Schadenssituation reagiert werden kann. Das Ersatzprodukt ist lösungsmittelfrei, die Ergebnisse am Zugsandstein vor allem hinsichtlich Vorbereitung des Untergrundes für Aufmörtelungen ist wesentlich besser als mit bisherigen Produkten. Bei extrem entfestigten Bereichen wird auf das bisher verwendete bewährte vorhydrolysierte Produkt zurückgegriffen.

Im Jahr 2007 wurde ein Kathedralen übergreifendes Projekt zusammen mit CSC Fribourg in Angriff genommen. Die gemeinsamen Fragen und Probleme der Kathedralen und Münster Basel, Bern, Fribourg, Lausanne und Genf sollen im Sinne einer standardisierten Nachkontrolle und Optimierung von Steinfestigungen in einem mehrjährigen Forschungsprojekt zusammengefasst werden.



Anwendung am Bau: Flächig absandende Bereiche werden mittels Spritzflaschen behandelt, der Verbrauch liegt bei 1 – 1,5 l/m².



In vielen Bereichen ist nur eine partielle Festigung nötig, vor allem um den Untergrund für nachfolgende Aufmörtelungen zu stabilisieren.