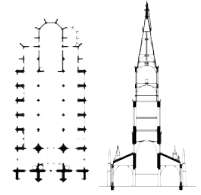


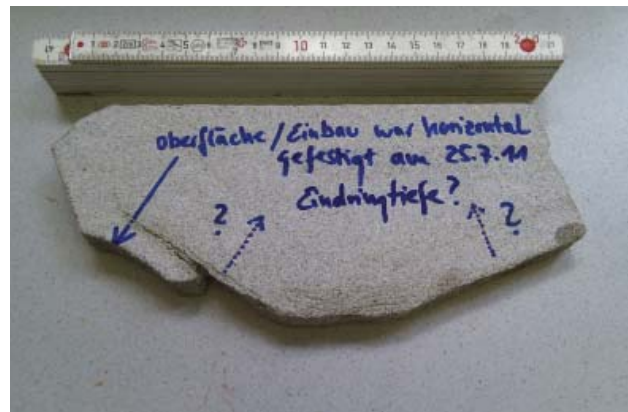
# Wissenschaftliche Begleitung und Versuche



## Eindringtiefe Festiger

Vor der laufenden Restaurierung zeigte der Turmhelm in vielen Bereichen ein ausgeprägteres Verwitterungsbild als alle bislang ange-troffenen Bauteile. Besonders im Zuger Sand-stein wurden eine hohe Porosität der oberflächennahen Zonen und ausgeprägte Schuppenbildung festgestellt. Aufgrund dieser Befunde stellte sich grundsätzlich die Frage nach den Anwendungsmöglichkeiten und dem Verhalten des Festigers in dieser speziellen Situation.

Zur Beantwortung dieser Frage wurde ein repräsentatives Versuchsfeld im Bereich des ersten Gerüstbodens am Helm gefestigt. Ein Werkstück wurde anschliessend ausgebaut und in Scheiben gesägt. Schon beim Ausbau fiel auf, dass der Stein entgegen bisheriger Erfahrungen nicht wasserabweisend war. Dieses Phänomen der Hydrophobie zeigen ansonsten alle gefestigten Werkstücke in den ersten Tagen nach der Behandlung. Auch aufgrund dieser Beobachtung wurde das Werkstück zur Analyse an Conservation Science Consulting Sàrl (CSC, Fribourg) übergeben.



(o.) Festigungsversuch am Turmhelm: das zum Ausbau bestimmte Stück wurde vorgängig gefestigt und nach dem Ausbauen in horizontale Scheiben geschnitten.

(m.) Die Prüfstücke wurden anschliessend in der Bauteile und im Labor von CSC hinsichtlich Eindringtiefe des Festigers untersucht.

(u.) Weitere Referenzstellen und spezielle Situationen wurden vor Beginn der Massnahmen in Situ mit Christine Bläuer (CSC) begutachtet und dokumentiert.



Die Proben wurden zuerst unter dem Mikroskop, danach mittels Einfärben untersucht. Die zweite Methode ermöglicht es normalerweise, das Eindringen des Festigers mit Hilfe eines Farbstoffes nachzuweisen, welcher den im Kieselsäureester vorhandenen Katalysator, eine Zinnverbindung, markiert.

Da der Festiger mit beiden Methoden nicht nachgewiesen werden konnte, wurden die Proben einer Röntgenfluoreszenzanalyse (XRF) unterzogen. Die Methode war erfolgreich. Es konnte eine Eindringtiefe von 3 bis 4.5 cm nachgewiesen werden. Dieser Wert entsprach ungefähr den Erwartungen, reichte aber nicht aus, um die bestehende tiefe Lockerzone zu überbrücken.

Dieses Verfahren ist zwar weder hoch präzise noch zerstörungsfrei, liefert aber zuverlässige Aufschlüsse zur Lokalisierung der gefestigten Bereiche. Die Untersuchungsergebnisse boten die wissenschaftliche Grundlage zum Entscheid, gewisse ausgeprägte Lockerzonen im Zuger Sandstein vor der Restaurierung durch Abkratzen zu entfernen (vgl. auch Kapitel «Restaurierung Turmhelm»).

### *Feuchtigkeitsmessung*

Entscheidend für den Erfolg einer Festigung ist der Anteil des im Porenvolumen des Steins gebundenen Wassers. Ist der Wassergehalt zu tief, bleibt die Reaktion des Festigers aus. Ist der Wassergehalt zu hoch, bindet der Festiger nicht auf den Mineraloberflächen im Stein, sondern als isolierte Inseln innerhalb der Porenräume ab, wodurch die Festigkeit des Steins kaum erhöht wird.

Es ist relativ schwierig, festzustellen, wie viel Feuchtigkeit im Stein vorhanden ist. Deshalb wird für das Festigen jeweils günstiges Wetter abgewartet. Wenn das Wetter während einer Periode von zwei bis drei Wochen stabil ist und die Oberfläche weder beregnet noch ausgetrocknet ist, führt die Festigung erfahrungsgemäss zu einem guten Resultat. Die für die Reaktion benötigte Feuchtigkeit muss in Form von so genanntem adsorbiertem Wasser vorliegen, welches sich bei mittlerer Luftfeuchtigkeit im Stein anlagert (ideale Luftfeuchtigkeit während

der Dauer der Massnahme: RLF 40-60 %, Temperatur 10-20°C). In den letzten Jahren wurde zur Dokumentation jeweils die Feuchtigkeit der Steinoberfläche gemessen, bevor gefestigt wurde. Diese Messung erfolgte mit einem Gerät, welches den elektrischen Widerstand misst. Ungenauigkeiten entstehen aufgrund des Drucks, welcher bei der Messung ausgeübt wird und über allfällig an der Oberfläche vorhandene Salze, welche ebenfalls leitfähig sind. Zur Klärung des Feuchtigkeitsgehalts wurde nun eine Laboranalyse durchgeführt. Hierfür wurde ein Stück Stein, dessen Feuchtigkeit am Bau bereits gemessen worden war, im Labor von CSC analysiert. Wie zu vermuten war, wurde festgestellt, dass die Messung am Bau nicht mit dem tatsächlichen Wassergehalt übereinstimmt. Die Werte für die absolute Feuchtigkeit des Steins, die das Messgerät angibt, sind viel zu hoch. Im Vergleich verschiedener Proben untereinander stimmen die relativen Werte hingegen einigermaßen.



(o.) Versuche zur Überprüfung der Feuchtemessung mit dem HMP2000 am 3.11.2011 in der Münsterbauhütte.

Fazit: Messgeräte spiegeln bei der Bestimmung der Feuchtigkeit eine Präzision vor, die nur bedingt den tatsächlichen Verhältnissen entspricht. Die Messwerte werden durch den Anwender und die vorherrschenden Bedingungen stark beeinflusst. Die Hoffnung, dass der ideale Zeitpunkt für die Festigung mittels Feuchtigkeitsmessungen am Stein festgestellt werden kann, hat sich leider zerschlagen. Somit wird der für eine Festigung günstige Zeitpunkt nach wie vor aufgrund der mittelfristigen Wetterlage bestimmt werden müssen.

### Salzanalysen

Bereits im letzten Jahr war ein pelzartiges Mineral namens „Mübernit“ entdeckt worden, dessen chemische Zusammensetzung bis heute nicht eindeutig bestimmt werden konnte<sup>13</sup>. In diesem Jahr wurde an einer anderen Stelle eine ähnliche Ausblühung festgestellt. Aufgrund der Analyse stellte diese sich als Thenardit he-

raus. Bei diesem Mineral, einem Natriumsulfat mit der chemischen Zusammensetzung  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , handelt es sich um ein bekanntes Salz. Die Analyse erfolgte mittels einer Infrarotspektroskopie unter Verwendung eines so genannten FTIR-Spektrometers.

Im Analysebericht wurde darauf hingewiesen, dass das Natriumsulfat auch aus dem lokal verwendeten Mörtel stammen könnte. Tatsächlich mussten an der Westseite des unteren Achtecks mehrere Ausblühungen festgestellt werden. Bislang war mit dem durch die Bauhütte selber hergestellten Mörtel nie ein Salzproblem aufgetreten. Die Abklärungen für die Ursachen der Ausblühungen in den nun betroffenen Bereichen am Turm laufen. Da die Beobachtungen hauptsächlich auf Höhe der Gerüstbasis gemacht wurden, kann eine Langzeitbeobachtung mindestens bis zum Abbau des Achteckgerüsts, also bis 2014, durchgeführt werden.

### Historische Konservierungsmittel

Eine mögliche Ursache für Salzausblühungen oder Probleme beim Festigen und Aufmörteln von Stein könnte auch in unbekanntem historischen Behandlungsmitteln liegen. Verschiedene alte Quellen weisen auf eine Verwendung von Testalin als Konservierungsmittel im 19. Jahrhundert auch am Berner Münster hin. Zusammen mit Christine Bläuer hoffen wir, dem Phänomen vor allem im Hinblick auf die Restaurierung am Turmhelm bald auf die Spur zu kommen.

13 Tätigkeitsbericht der Berner Münster-Stiftung 2010, S. 47.



(1.) Probenentnahmen am Turmhelm. Die Proben wurden zur Laboranalyse an CSC Fribourg geschickt und könnten unter anderem Aufschluss über bislang undefinierte historische Behandlungsmittel bringen.