

## 2. Hauptbaustelle Turmachteck

### Spezifische Schadensbilder

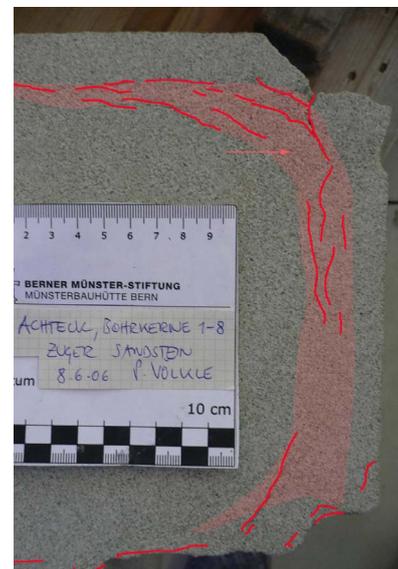


Bei der Restaurierung des Oktogons trafen die Bauleute auf spezifische Schadensbilder und Probleme, welche eine Erweiterung des bereits zuvor ansehnlichen Repertoires der Steinrestaurierungsmassnahmen erforderten. Parallel zu den baulichen Massnahmen werden daher ständig Versuche im Hinblick auf unmittelbare Restaurierungsmassnahmen durchgeführt. In den letzten Jahren hat die Bauhütte beachtliche Fortschritte bei der Verwendung mineralischer Mörtel gemacht. Der Beginn der Arbeiten am Turmachteck bot den Anlass, das bisher für die Verfüllung von kleinen Rissen und das Fixieren von Schalen in Kombination mit Edelmörtel verwendete Acrylharz mit einem neuen Füllmaterial auf mineralischer Basis zu ergänzen.

Feine Risse waren bisher mit Acrylharzen vergossen, Dübellöcher und Fugen an der Oberfläche zum Schutz gegen das UV-Licht mit Mörtel abgedeckt worden. Bei kleineren Fehlstellen und speziellen Schadensbildern wird dieses Verfahren weiterhin angewendet. Angesichts der verbreiteten und verhältnismässig grossflächigen Schalenbildungen war am nur schwer zugänglichen Achteck ein Verfahren gefragt, welches u. a. eine gute Dampfdiffusion zulässt. Im Verlauf des Jahres konnte mit ausgedehnten Versuchen nachgewiesen werden, dass Injektionen mit auf Mikrozement basierenden Füllmitteln in mehrfacher Hinsicht ein optimales Resultat erbringen. Diese neue Technologie weckt berechtigte Hoffnungen und findet nun bei der Restaurierung des Achtecks breite Anwendung. (Details zu den Versuchsreihen im Kapitel 8)

#### Oberflächenparallele Lockerzonen und Risse

Die Bauteile des oberen Oktogons sind inzwischen rund hundert Jahre alt. Sie sind in Mischbauweise mit Obernkirchner und Zuger Sandstein ausgeführt worden und zeigen aufgrund der exponierten Lage und der verwendeten Materialien spezifische Schadensbilder. Seit längerem ist bekannt, dass Zuger Sandstein dazu neigt, einige Zentimeter unter der intakten Oberfläche Lockerzonen zu bilden, die sich im Verlauf der Jahre zu offenen Rissen ausweiten und zur Abplatzung grossflächiger Schalen führen können. In Zusammenarbeit mit Christine Bläuer und Bénédicte Rousset (ehemals Expert-Center Zürich respektive Lausanne) wurde eine Versuchsreihe gestartet, die neue Erkenntnisse über Verfüllungen von Schalen speziell auch am Berner Sandstein bringen soll. Untersucht wird, wie weit eine Verfüllung überhaupt sinnvoll ist und mit welchen Materialien ein optimales Resultat erzielt werden kann.



oben: Lockerzone (rot eingefärbt) unter der intakten Oberfläche beim Zuger Sandstein

unten: fortgeschrittenes Schadensbild mit starker Rissbildung vor allem in exponierten Bereichen

## 2. Hauptbaustelle Turmachteck

### Spezifische Schadensbilder



#### Diagnose

Zur Erkennung früher Schadensbildungsprozesse und von Lockerzonen wurden verschiedene Verfahren ausprobiert. Begonnen wurde mit schonenden Methoden, die keine befriedigenden Ergebnisse erbrachten. So führte weder das Abklopfen der Oberflächen, die Erzeugung von Resonanzen mittels Stimmgabeln etc., noch der Einsatz von Stethoskopen zu den gewünschten Erkenntnissen. Für einen weiteren Anlauf stellte die Fachhochschule ein Bohrwiderstandsmessgerät zur Verfügung und begleitete diesen Versuch. Auch hier stellten sich die erhofften Resultate nicht ein, u. a. weil die Härte des Steins die verwendeten Bohrer überforderte. Aufgrund dieser Erfahrung wurde schliesslich auf die Entnahme von Bohrkernen zurückgegriffen, welche die gewünschten Resultate liefern konnten. Insgesamt wurden acht Stichproben entnommen.



Zur Lokalisierung der Lockerzonen wird das Wasseraufnahmeverhalten der Bohrkernproben beobachtet: Je schneller die Wasseraufnahme, desto poröser ist die Steinstruktur. Erhöhte Wasseraufnahme in Teilbereichen einer Gesteinsprobe weist somit auf die Bildung einer Lockerzone hin.



Zur Kontrolle wurden auch an von aussen intakt wirkenden Teilen Proben entnommen. Dank dieser zusätzlichen Proben konnte die Annahme bestätigt werden, dass sich die Bildung von Lockerzonen am oberen Turmachteck in der Regel auf freistehende Bauteile bzw. feingliedrige Profiltile beschränkt. Flächiges Mauerwerk bzw. der Mauergrund ist nur selten betroffen.

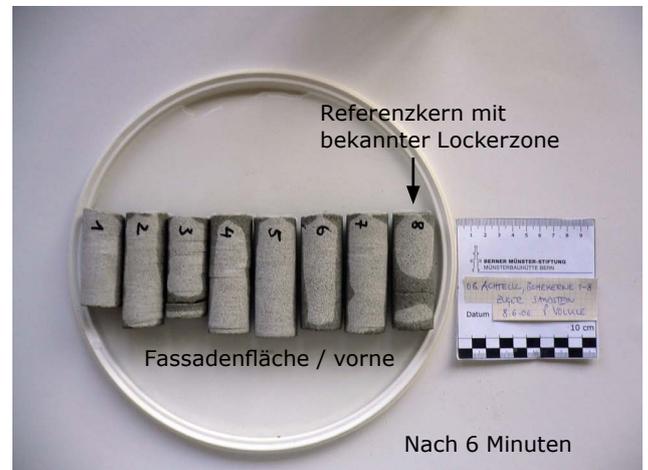
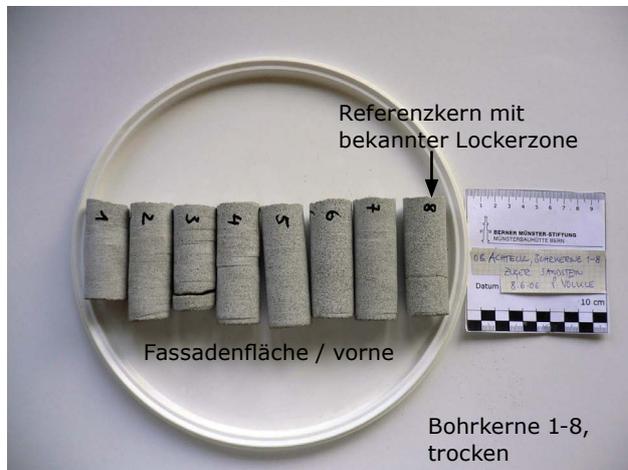
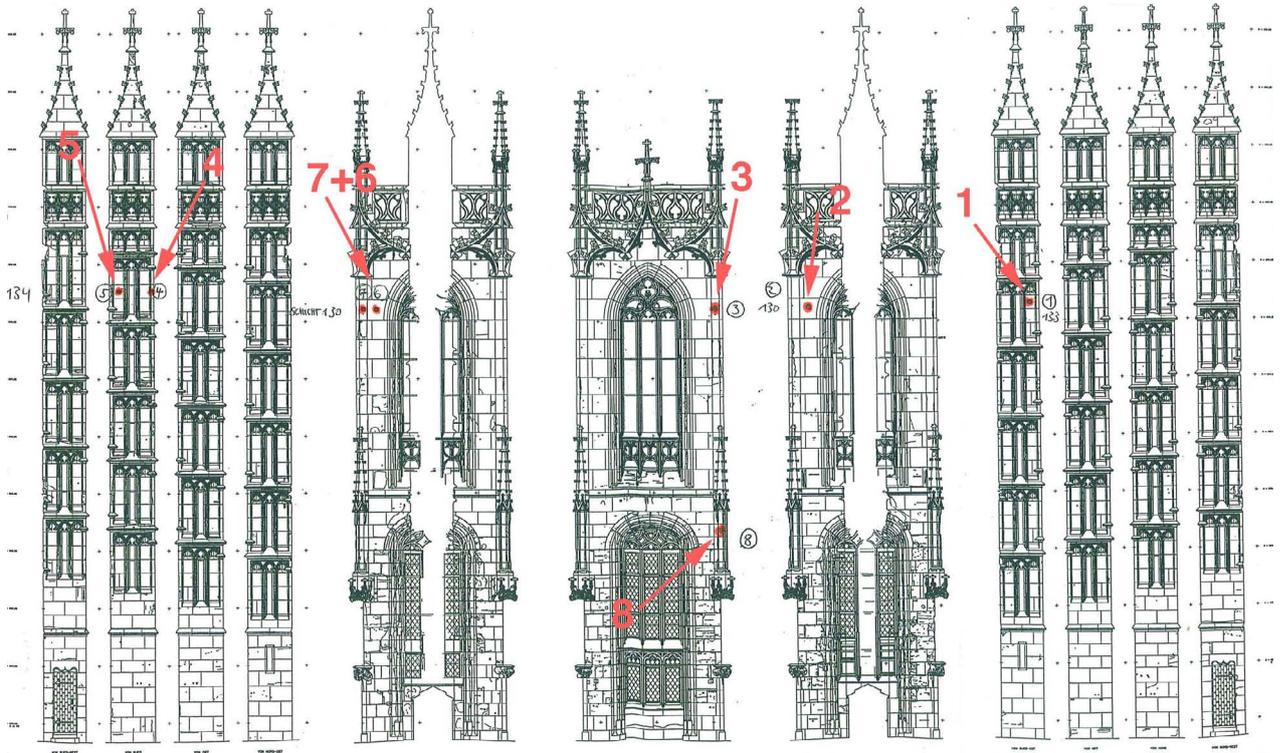


von oben nach unten:

Versuch mit dem Bohrwiderstandsmessgerät / Entnahme eines Bohrkerns an von aussen intakt scheinender Oberfläche / Entnahme eines Referenz-Bohrkerns an einem ausgebauten Werkstück mit erkennbarer Lockerzone

## 2. Hauptbaustelle Turmachteck

### Spezifische Schadensbilder



oben: Lokalisierung der Bohrkerne am Bau

unten: Die Bohrkerne wurden horizontal liegend in wenig Wasser gelegt, um das kapillare Saugen zu beobachten.

Schon nach 6 Minuten zeigte sich in den geschwächten Bereichen ein starkes Saugverhalten. Die Bohrkerne Nr. 3 und 8 bestätigten durch ihr Saugverhalten deutlich sichtbare Rissbildungen. Bohrkern Nr. 7 zeigt eine beginnende Lockerzone. Alle anderen Bohrkerne saugten gleichmässig, was auf intaktes Steinmaterial hindeutet.

## 2. Hauptbaustelle Turmachteck

### Spezifische Schadensbilder



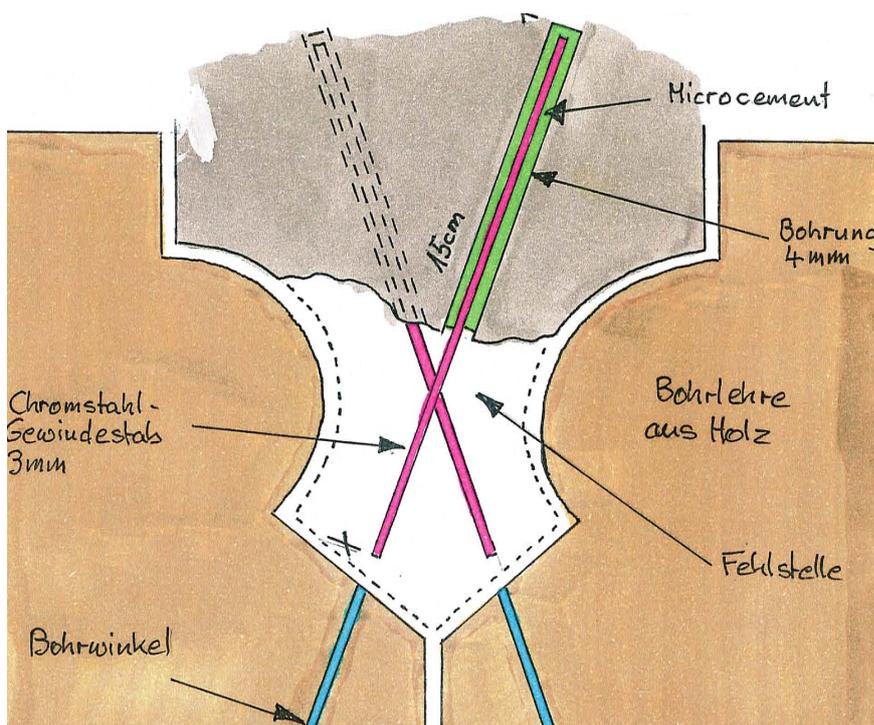
#### Sicherung von Bauteilen

Die Bildung von Lockerzonen hat besonders an den abstehenden Profilen, Rippen und Blendmasswerken an den Treppentürmchen des Oktogons begonnen. An vielen Stellen ist es zwar noch nicht bis zur Bildung von Rissen oder Schalen gekommen, angesichts der gemachten Erfahrung besteht aber Anlass zur Annahme, dass der entsprechende Schadensprozess mittelbar auch hier einsetzen kann. Für das spezifische frühe Schadensbild an den grundsätzlich exponierten und schwierig zugänglichen Stellen wurde ein mechanisches Sicherungsverfahren entwickelt. Bei diesem werden zum Mauerwerk hin leicht abfallende Bohrungen von 4 mm Durchmesser mit bis zu 18 cm Tiefe gemacht. Diese ermöglichen das Einbringen dünner Gewindestangen, mit denen die Werkstücke auch dann noch dauerhaft vor Absturz gesichert sind, wenn der Schadensprozess zu einem späteren Zeitpunkt einsetzen und die statische Festigkeit nicht mehr im gewünschten Mass gewährleistet sein sollte.

Zum Bohren von Löchern dieser Feinheit und Tiefe mussten handelsübliche hartmetallbeschichtete Bohrer von einem Schlosser auf die erforderliche Länge gebracht werden. An den von der Bildung von Lockerzonen betroffenen Bauteilen, besonders den Treppentürmchen, wurden zahlreiche solche Sicherungsarmierungen erstellt.



Setzen von Armierungen an stark gerissenen Bauteilen



Schematische Darstellung der Armierungen von auskragenden Bauteilen an den Treppentürmchen Süd und Nord:

Wo immer möglich werden die Armierungen entweder nur gesteckt oder mit einem weichen Material (hier mit Calciumcarbonat modifizierter Mikrozeement) vergossen.

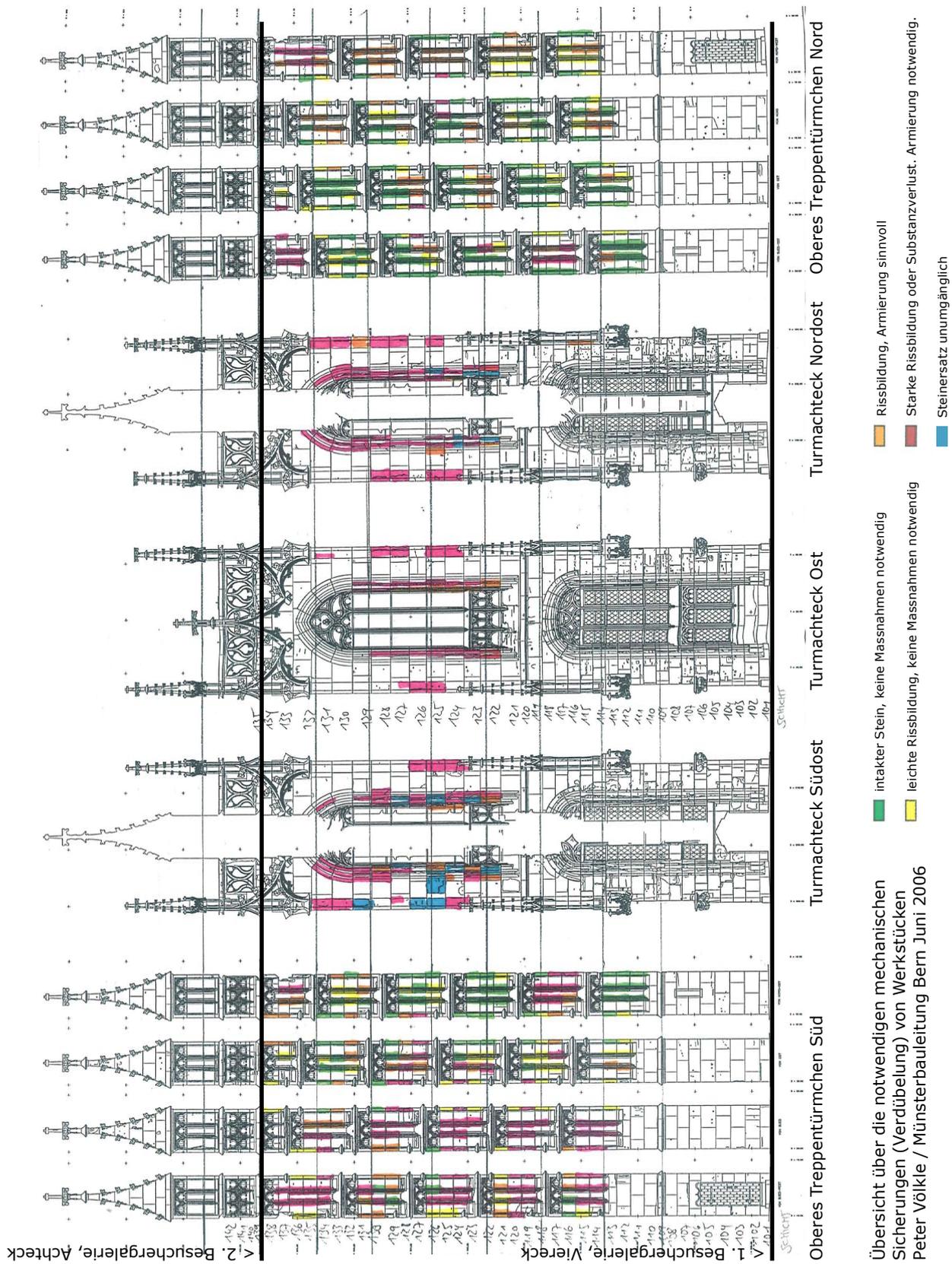
(Skizze: Marcel Maurer, Baustellenverantwortlicher Münsterbauhütte)

# 2. Hauptbaustelle Turmachteck

## Spezifische Schadensbilder



### Differenziertes Vorgehen

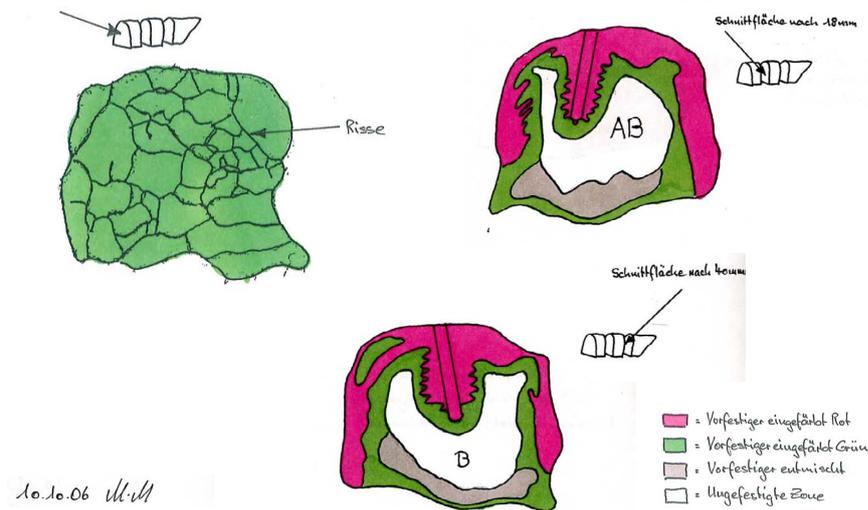


## 2. Hauptbaustelle Turmachteck

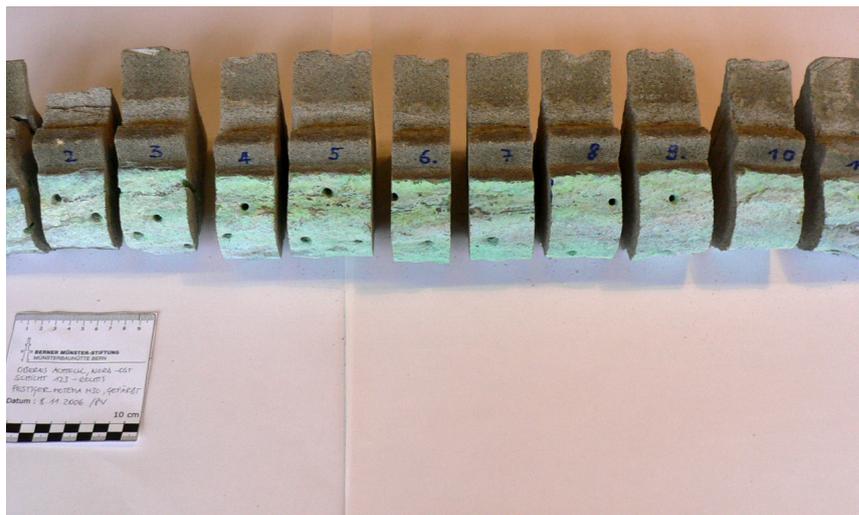
### Spezifische Schadensbilder



#### Grenzfälle



Skizze: Marcel Maurer



Trotz einiger sehr unkonventioneller Versuche, wie hier zum Beispiel dem Einfärben von Festiger zur Sichtbarmachung der Eindringtiefe und Verbesserung der Wirksamkeit der Restaurierungsmassnahmen, musste bei zu stark aufgelockerten und gerissenen Profilteilen bisweilen auf konventionellen Steinersatz zurückgegriffen werden (vgl. Seite 18). Weiterführende Versuche sind in Zusammenarbeit mit Christine Bläuer, Bénédicte Rousset (CSC, Fribourg) und Bruno Portmann (Mattec+, Lenzburg) in Bearbeitung.



oben: Versuch mit eingefärbtem Vorfestiger (Motema 30) an ausgebauten Werkstücken aus Zuger Sandstein. Leider blieb unklar, wie weit sich Farbe, Lösungsmittel und Festiger entmischten.

mitte: Ausgebauter und in Scheiben geschnittener Rundstab, welcher vorgängig am Bau mit eingefärbtem Festiger getränkt wurde.

unten: Leider zeigte sich, dass stark entfestigte Bereiche nur über Bohrlöcher erreicht werden können. Von aussen zugeführter Festiger drang in diesem Versuch zuwenig tief ein. Die Lockerzone konnte nicht erreicht werden.

## 2. Hauptbaustelle Turmachteck

12

### Risssanierung



Neben dem Umgang mit Lockerzonen ist die Behandlung von Rissen am oberen Turmachteck ein wichtiges Thema. In einer Versuchsreihe wurde durch Peter Völkle eine grosse Anzahl von Verpressmaterialien und -techniken auf ihre Verwendbarkeit überprüft (siehe auch Kapitel 6). Nach einer erfolgreichen Durchführung der Versuche wurden alle Mitarbeiter zuerst in der Werkstatt und dann direkt am Bau in die neuen Techniken eingeführt und entsprechend geschult.

links, von oben nach unten: Verfüllen von Schalen in Obernkirchener Sandstein mit Ledan (Injektionsmörtel auf Kalkbasis) / Verfüllen von Rissen im Zuger Sandstein mit Mikrozement

rechts: Interne Schulung in der Münsterbauhütte. Die neuen Verpressmaterialien werden durch Peter Völkle allen Mitarbeitern zuerst in der Werkstatt vorgestellt und danach unter Anleitung am Bau ausprobiert.

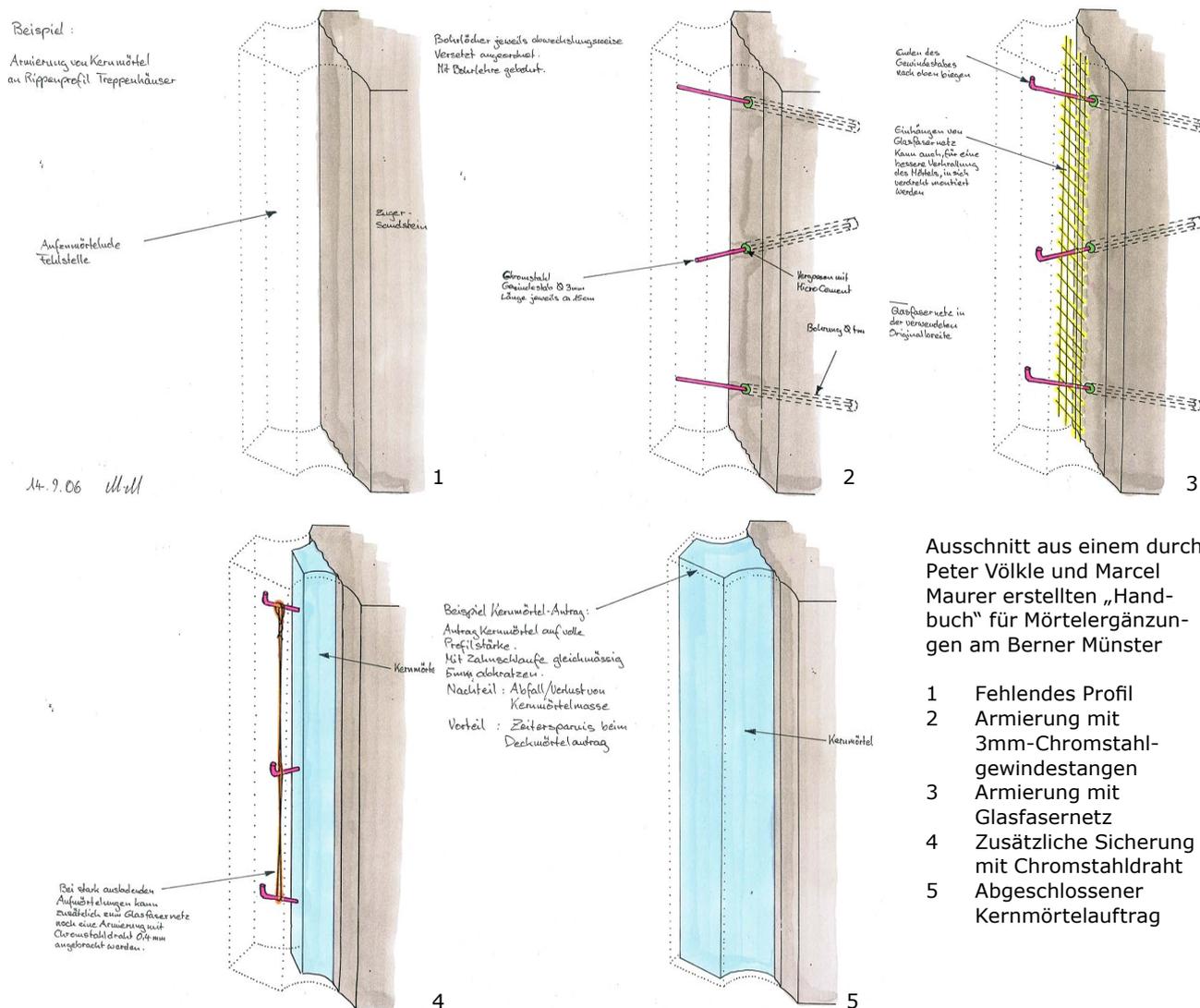


# 2. Hauptbaustelle Turmachteck

## Aufmörtelung von Fehlstellen



In allen Bereichen des oberen Oktogons wurden fehlende Profileile mit Mörtel nachgebildet. Dabei kamen Verfahren zur Anwendung, die in den letzten Jahren erprobt worden sind. Angesichts der hohen Anforderungen aufgrund Höhe, Exposition und Absturzgefahr am oberen Oktogon wurden die Mörtelergänzungen mit Chromstahlgewindestangen 3 mm und Glasfasernetzen armiert. Glasfasernetze haben sich in der Verputztechnik bewährt. Versuche in der Werkstatt zeigten, dass Maschenweiten unter 5 mm nicht für die Anwendung mit den am Münster verwendeten Mörteln geeignet sind, da sie besonders im gröberen Kernmörtel wie eine Trennschicht wirken. Die streifenförmig geschnittenen Netze werden zwischen den Chromstahlstangen verdrillt; an stark belasteten Stellen kommen subsidiär Chromstahldrähte zur Anwendung. Die Verwendung der Netze gewährleistet nicht nur eine lang dauernde mechanische Stabilisierung und Absturzsicherung, sondern leistet auch bei der Modellierarbeit hervorragende Dienste. Da die Aufmörtelungen bei der Arbeit im Vergleich zu den bisher verwendeten Chromstahldrähten so besser gestützt werden, wird ein insgesamt schnelleres und präziseres Arbeiten möglich.



## 2. Hauptbaustelle Turmachteck

### Aufmörtelung von Fehlstellen



#### Armierung



oben: Aufmörtelungen an freistehenden Profiltteilen an den Treppentürmchen des Turmachtecks.

links: Versuche mit Glasfaser-Armierungsnetzen zuerst in der Werkstatt, dann an ausgewählten Bereichen am Bau

unten: Überprüfung eines armierten Mörtels am Bau



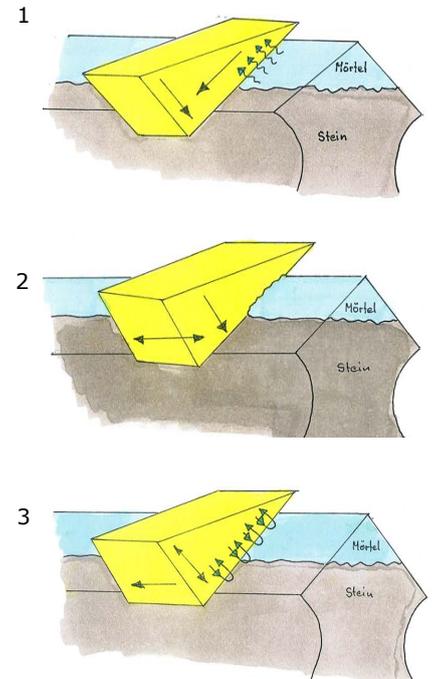
## 2. Hauptbaustelle Turmachteck

### Aufmörtelung von Fehlstellen



#### Vermeidung von Sinterschichten

Die Güte aufgemörtelter Teile hängt nicht nur von der Rezeptur der Mörtel und der Arbeitstechnik, sondern zu einem wesentlichen Teil von der Nachbehandlung ab. So können an der Oberfläche Sinterschichten entstehen, welche die Eigenschaften der aufgemörtelten Teile beeinträchtigen. Solchen Schichten kann grundsätzlich auf verschiedene Arten begegnet werden. Im Prinzip ist es möglich, die Werkstücke mit überstehendem Material aufzumörteln und dieses nach dem Abbinden mit Steinmetzwerkzeugen auf die definitive Oberfläche zurückzuarbeiten. Dieses Verfahren setzt die Flickstücke allerdings einer im Hinblick auf eine hohe Lebensdauer ungünstigen, zusätzlichen mechanischen Belastung aus. Aussichtsreicher ist ein Vorgehen, bei welchem die Werkstücke zuerst präzise auf ihre definitive Form modelliert und die Oberflächen anschliessend mit feuchten Mikroporenschwämmen abgetupft werden. Die Reduktion des Bindemittelanteils in der obersten Schicht verhindert die Bildung der Sinterschichten und bewirkt ein hervorragendes, sandsteinähnliches Erscheinungsbild.



#### Ein automatisches System zur Nachpflege frischer Mörtel

Die aufgemörtelten Teile müssen während mehrerer Tage feucht gehalten werden, damit der Mörtel chemisch abbindet und nicht „verbrennt“, d. h. zu schnell austrocknet. Am Oktogon wurde hierfür erstmals ein neues System mit automatischer Bewässerung eingesetzt. Dieses befeuchtet die Werkstücke während mindestens 14 Tagen mit regelmässigen Sprühnebelstössen. Gleichzeitig wird der jeweilige Arbeitsbereich zur Beschattung und als Windschutz in genügender Distanz zur Fassade mit einem plastifizierten Vlies abgeschottet. Eine Zeitschaltuhr ermöglicht die Benetzung auch während der Wochenenden. Im Vergleich zum früher praktizierten hermetischen Verschluss der nachbehandelten Teile mit Folien verhindert das auf diese Weise konstant gehaltene Mikroklima die Bildung von Kondenswasser und stehendem Wasser und reduziert damit erheblich die unerwünschten Versinterungen an den Oberflächen.

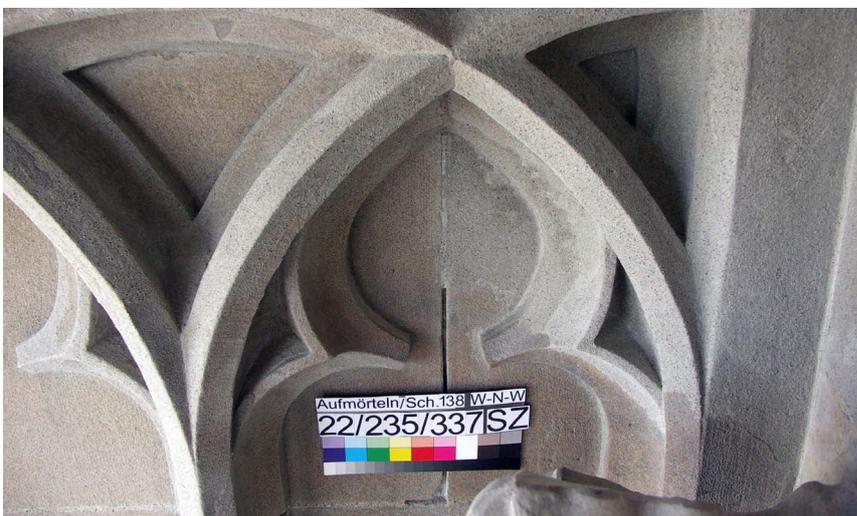
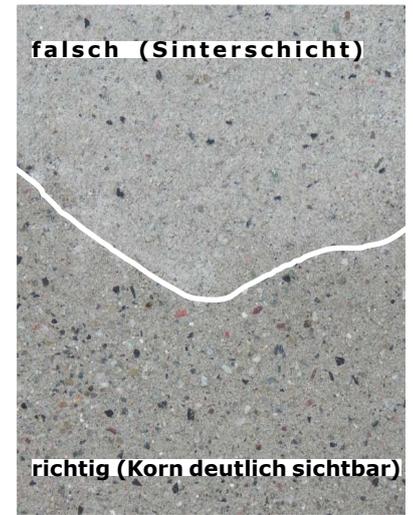
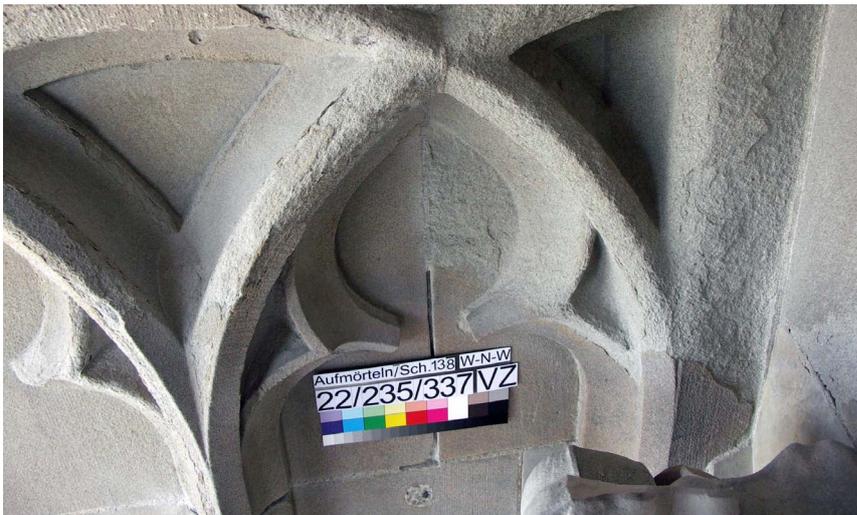


von oben nach unten:

- 1 Mörtel mit gut ausgepresstem Schwamm in Form bringen
- 2 Mit leichtem Druck in definitive Form reiben, Überschüsse abtupfen
- 3 Mit nassem Schwamm Oberfläche ausmagern bis Farbe und Struktur der Zuschläge deutlich sichtbar wird
- 4+5 Anwendung des Mikroporenschwamms am Bau

## 2. Hauptbaustelle Turmachteck

### Aufmörtelung von Fehlstellen



links von oben nach unten:  
Aufmörteln eines Blendmasswerkes  
aus Zuger Sandstein / Vorzustand:  
Oberflächenverlust bis in eine Tiefe  
von 10mm / Schlusszustand der  
aufgemörtelten Fläche. Die Kanten  
wurden hier aufgrund der umge-  
benden noch weitgehend intakten  
Originalbearbeitung des 19. Jahr-  
hunderts scharfkantig ausgebildet.

rechts von oben nach unten:  
Schulung der MitarbeiterInnen am  
Bau zur Etablierung von Stan-  
dards: Bei richtiger Verarbeitung  
des Mörtels sind die einzelnen  
Körner des Zuschlages an der  
Oberfläche deutlich zu sehen (aus-  
gemagert mit Mikroporen-  
schwamm)

## 2. Hauptbaustelle Turmachteck

### Fugensanierung



Auslöser gewisser Schadensprozesse sind die harten Zementfugen aus der Turmbauzeit um 1890-95. Der vorhandene Fugenmörtel ist vielerorts zu hart für das umgebende Steinmaterial und verursacht schädliche mechanische Belastungen. Die Entfernung dieser Fugen stellt besondere Probleme. Um die harten Fugen in freistehenden Profiltteilen auszusägen, wurde ein Verfahren eingesetzt, bei welchem ein Elektrofuchsschwanz mit hartmetallbestücktem Sägeblatt über ein schablonenartig ausgeschnittenes Brett geführt wird.

Die freistehenden und daher einem hohen thermischen und mechanischen Stress ausgesetzten Profile werden mit einem verhältnismässig „weichen“ Sumpfkalkmörtel geschlossen. Die Rezeptur geht auf Versuche von Alfred Buri basierend auf einer Rezeptur von Urs Zumbrunn aus dem Jahr 2005 zurück.

Der Entscheid für diesen Mörtel konnte aufgrund der Erkenntnisse aus den Bewitterungsversuchen an der Zwischengalerie gefällt werden (siehe Tätigkeitsbericht 2004, S. 33). Es zeigte sich, dass der Sumpfkalkmörtel wesentlich alterungsbeständiger ist als ein mit Weisskalkhydrat hergestellter Mörtel.

Die alte Erkenntnis, dass der etwas komplizierter herzustellende Sumpfkalkmörtel den zusätzlichen Aufwand lohnt, konnte somit mit neuen Argumenten einmal mehr untermauert werden.



Öffnen der zu harten Zementfugen mit der Diamantscheibe. Gegen den Feinstaub wurde erstmals ein gebläseunterstütztes Atemschutzsystem eingesetzt.

Beim Herausfräsen von Zementfugen wird sehr differenziert vorgegangen. Intakte Fugen, welche im umgebenden Steinmaterial bisher keinerlei Schäden verursacht haben, werden im Originalzustand belassen.



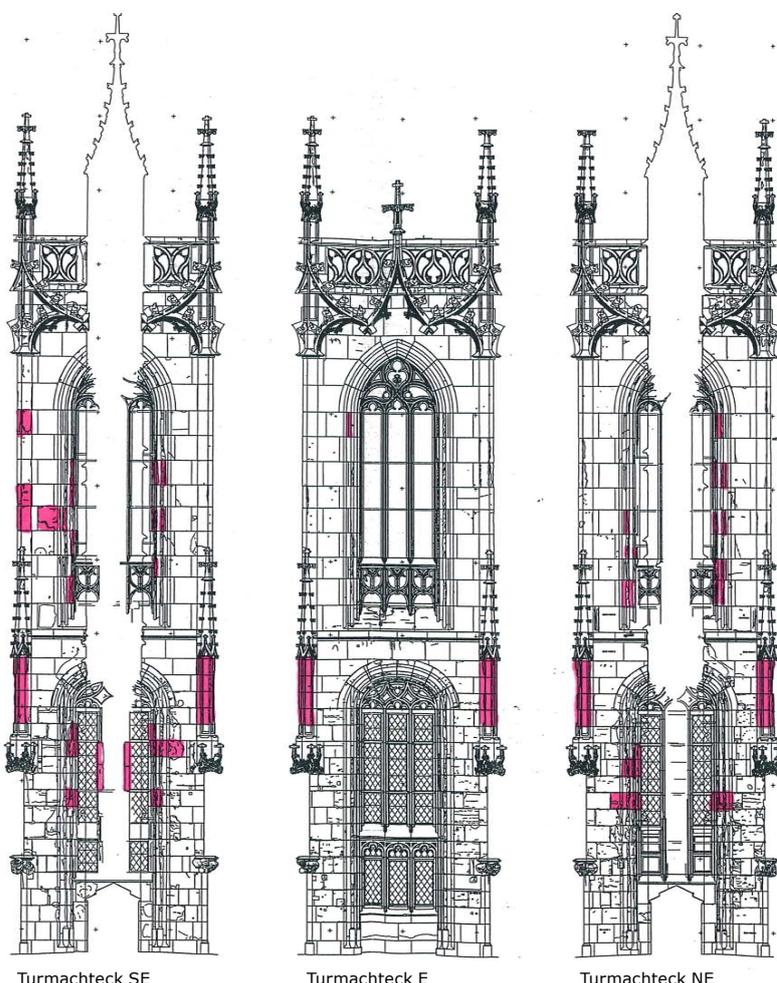
Die Fugen freistehender Profiltteile wurden mit dem Elektrofuchsschwanz mit hartmetallbeschichtetem Sägeblatt geöffnet.

## 2. Hauptbaustelle Turmachteck

### Steinersatz



Extreme Rissbildungen und starke Verwitterungserscheinungen an einigen Werkstücken des oberen Achtecks erforderten einen Teilersatz der Werkstücke. Die entsprechenden Vierungen (steinerne Flickstücke) wurden in der Bauhütte wie gewohnt vorgefräst und von Kilian Brügger zusammen mit den Lehrlingen über den Winter fertig gestellt. Sämtliche Teile für die eingerüsteten Abschnitte des Achtecks stehen zu Beginn der Bausaison 2007 bereit.



oben: Übersicht über die am oberen und unteren Turmachteck ausgetauschten Steine (rot markiert). Vor allem in den Fenstergewänden NE und SE war die Verwitterung an mehreren Werkstücken bereits zu weit fortgeschritten. Hier blieb als letzte mögliche und sinnvolle Massnahme nur noch der Steinersatz.

rechts von oben nach unten: Fertigung eines Eckprofils aus Oberkirchener Sandstein (Lehrlingsarbeit über den Winter) / maschinell vorgefräste Profiltteile aus Gurtensandstein (blaue und gelbe Varietät). Ab diesem Arbeitsschritt wird von Hand und mit Pressluft weitergearbeitet. / Eingepasstes Vierungsstück aus Bollinger Sandstein (Ersatzmaterial für den nicht mehr erhältlichen Zuger Sandstein).

