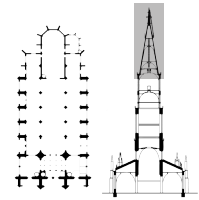


# Restaurierung Turmhelm und Turmspitze



## *Austausch Helmstange, Verstärkungen Turmspitze*

Bereits im letzten Tätigkeitsbericht war die „störrische Stange“, welche den obersten Teil des Turmhelms fixiert, ein Thema gewesen.<sup>1</sup> Nachdem es endlich gelungen war, die Helmstange zu bewegen, ging es nun an die Planung des Ersatzes und den Einbau einer neuen Stange. Hierfür erarbeiteten die Bauingenieure Peter Schmied und Urs Wyss (Hartenbach & Wenger AG, Bern) eine detaillierte Ablaufplanung. Ausgeführt wurden die meisten Arbeiten vor Ort von der Bauhütte.

Die alte, gut 11.5m lange Stange wurde während zwei Tagen mit Hilfe von Hydraulikpressen stückweise nach unten herausgezogen. Gleichzeitig wurde von oben eine Hilfskonstruktion nachgezogen. Diese bestand aus drei Gewindestangen (Swiss-GEWI), welche mit Gewindehülsen verschraubt und oben mit einer mitlaufenden Mutter gesichert wurde. Als zusätzliche Sicherung diente eine Aufhängung an einem Kettenzug.

Stürme, Erdbeben und andere Naturgefahren lassen sich nicht planen. Daher galt der Grundsatz, dass die Hilfskonstruktion ohne Unterbruch die Festigkeit des Turmhelms gewährleistet und die Stange an jedem Abend fixiert wird. Die alte Stange wurde anschliessend im Turmhelm deponiert. Noch ist unklar, was mit ihr geschehen soll. Da die untere Mutter auch nach zahlreichen Versuchen nicht gelöst werden konnte, musste das unterste Stück der Stange schliesslich abgeschnitten werden. Das Provisorium bis zur Lieferung der neuen Stange dauerte mehrere Wochen.

Als neue Stange wurde ebenfalls ein Bewehrungsstahl Swiss-GEWI geliefert. Da Chromstahl in den geforderten Dimensionen als Einzelanfertigung nicht lieferbar war, fiel die Wahl auf eine normale verzinkte Stahlstange (geprüfter,

genormter Stahl). Zusätzlich wurde die Stange zweimal mit Korrosionsschutzfarbe gestrichen. Zur Verhinderung von Schäden während dem Transport und der Montage wurde die Stange in mehrere Lagen Cellophanfolie eingepackt und mit einem Vlies geschützt.

Für den anspruchsvollen Transport fiel die Wahl schliesslich auf die Firma Heliswiss. Damit die Stange auf der obersten Gerüstlage aufgestellt und über ihrem Schwerpunkt fixiert werden konnte, wurde das Gerüst erhöht. Der Helikopter holte die neue Stange vor der Münsterbauhütte ab und stellte sie kurze Zeit später auf der Münsterspitze ab. Obschon alles (auch im wörtlichen Sinne) wie am Schnürchen lief, war die Erleichterung ob dem Gelingen der nicht alltäglichen Aktion gross.

## Seite 7

**(o.l.) Die bei der Turmvollendung 1893 in einem ausgesparten Bereich des Knaufs eingelassene Kupferdose wird mit den Restaurierungsarbeiten an der Turmspitze erstmals zugänglich.**

**(m.l.) Gespanntes Öffnen der ausgebauten Dose nach bald 120 Jahren.**

**(o.r.) Die teilweise in Sütterlin-Schrift verfasste Urkunde von 1893. Im Anschluss des Einleitungstexts sind alle am Turmausbau beteiligten Personen und Institutionen aufgelistet.**

**(u.) Transkription Einleitungstext der Turmurkunde: "Was wir seit langen Jahren erstrebt, der Ausbau des Achtecks und Helms, steht in herrlicher Vollendung vor uns. Professor A. Beyer aus Ulm und sein Bauführer Architekt A. Müller mit der trefflich geschulten Bauhütte haben die Ehrenschild Berns an seine alte ruhmreiche Vergangenheit eingelöst. Der opferwilligen Thatkraft und dem Kunstsinn des heutigen Bern blieb es vorbehalten, den seit vier Jahrhunderten unvollendeten Turm im Sinne und Geiste seines ursprünglichen Erbauers, Matthäus Ensinger, zur Zierde und Ehre Berns, Stadt und Land, zu vollenden. Wir begehen diesen Tag in einfacher, würdiger und ernster Feier, im Beginn einer Entwicklung socialer Zustände, die für Staaten und Völker verhängnisvoll werden kann. Möge das vollendete Meisterwerk noch Jahrhunderte hinaus schauen auf ein reich gesegnetes, in seine Freiheit und Unabhängigkeit festbegründetes Berner- und Schweizerland. Das walte Gott! Bern, den 25. November 1893, morgens 10 1/2 Uhr." Transkription: Peter Völkle, Bern, 2012.**



**Urkunde.**

Es hat sich seit langer Jahren verfehlt, das Aebstli des  
Aebstli sind des halben Jahr in juedlicher Uebung vor uns.  
Prof. Dr. Albert Juedler und sein hiesiger Aebstli  
A. Weller mit der hiesigen hiesigen Aebstli haben die hiesigen  
Aebstli hiesigen an seine alte hiesigen Aebstli eingeleitet.  
Der oeffentlichkeit sind dem Aebstli der hiesigen  
hiesigen Aebstli es hiesigen, das hat sich hiesigen hiesigen  
hiesigen hiesigen hiesigen im hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen  
hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen  
Land, zu hiesigen.

Es hat sich seit langer Jahren verfehlt, das Aebstli des  
Aebstli sind des halben Jahr in juedlicher Uebung vor uns.  
Prof. Dr. Albert Juedler und sein hiesiger Aebstli  
A. Weller mit der hiesigen hiesigen Aebstli haben die hiesigen  
Aebstli hiesigen an seine alte hiesigen Aebstli eingeleitet.  
Der oeffentlichkeit sind dem Aebstli der hiesigen  
hiesigen Aebstli es hiesigen, das hat sich hiesigen hiesigen  
hiesigen hiesigen hiesigen im hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen  
hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen  
Land, zu hiesigen.

Es hat sich seit langer Jahren verfehlt, das Aebstli des  
Aebstli sind des halben Jahr in juedlicher Uebung vor uns.  
Prof. Dr. Albert Juedler und sein hiesiger Aebstli  
A. Weller mit der hiesigen hiesigen Aebstli haben die hiesigen  
Aebstli hiesigen an seine alte hiesigen Aebstli eingeleitet.  
Der oeffentlichkeit sind dem Aebstli der hiesigen  
hiesigen Aebstli es hiesigen, das hat sich hiesigen hiesigen  
hiesigen hiesigen hiesigen im hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen  
hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen hiesigen  
Land, zu hiesigen.

Bern, den 25. November 1893, Morgens 10 1/2 Uhr.

<p><u>Die Münsterbaukommission:</u></p> <p>Präsident: Prof. Dr. Albert Juedler. Vizepräsident: Karl Juedler, Münsterbau. Sekretär: J. Franz, Oberlehrer. Mitglieder: Moriz Juedler, Juedler, Jakob Juedler, Karl Juedler, Prof. Dr. Albert Juedler, A. Juedler, Oberlehrer.</p>	<p><u>Der Münsterbauverein:</u></p> <p>Präsident: Prof. Dr. Albert Juedler. Vizepräsident: Karl Juedler, Münsterbau. Sekretär: J. Franz, Oberlehrer. Mitglieder: Prof. Dr. Albert Juedler, Karl Juedler, Oberlehrer, Prof. Dr. Albert Juedler, Karl Juedler, Oberlehrer, Prof. Dr. Albert Juedler, Karl Juedler, Oberlehrer.</p>
---	--

Leistungen der Stadt Bern im Jahr 1893.

Gemeinwesen

Präsident: Herr Oberst Lt. Weller.  
Vizepräsident: Herr Oberst Lt. Weller.  
Sekretär: Herr Oberst Lt. Weller.  
Mitglieder: Herr Oberst Lt. Weller.

Lehrerwesen

Präsident: Herr Oberst Lt. Weller.  
Vizepräsident: Herr Oberst Lt. Weller.  
Sekretär: Herr Oberst Lt. Weller.  
Mitglieder: Herr Oberst Lt. Weller.

Ringliche Leistungen

Präsident: Herr Oberst Lt. Weller.  
Vizepräsident: Herr Oberst Lt. Weller.  
Sekretär: Herr Oberst Lt. Weller.  
Mitglieder: Herr Oberst Lt. Weller.

Ringliche Leistungen des Münsterbauvereins

Präsident: Herr Oberst Lt. Weller.  
Vizepräsident: Herr Oberst Lt. Weller.  
Sekretär: Herr Oberst Lt. Weller.  
Mitglieder: Herr Oberst Lt. Weller.

Gesamt am Münster: Herr Oberst Lt. Weller.

Lehrer: Herr Oberst Lt. Weller.

Ringliche Leistungen: Herr Oberst Lt. Weller.

Ringliche Leistungen des Münsterbauvereins: Herr Oberst Lt. Weller.







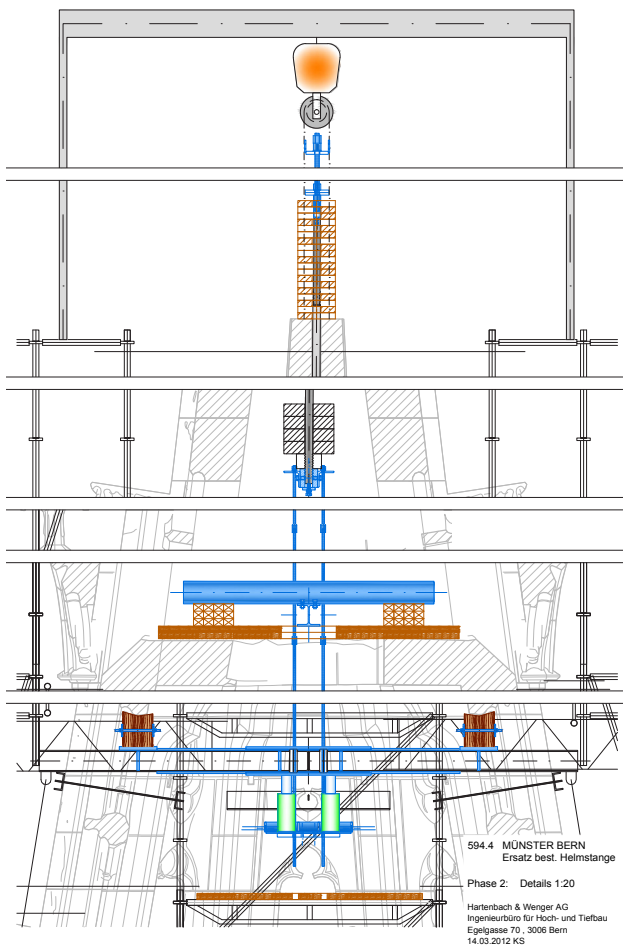
(o.) Gleichzeitig mit dem Herausziehen der alten Helmstange nach unten, wurde von oben eine mit der alten Stange verbundene, laufend ergänzte Gewindestange als provisorische Sicherung der Helmspitze nachgezogen.

(r.u.) Am unteren Ende der alten Helmstange wurden als Verbindung zu den weiter unten positionierten Hydraulikpressen vier Gewindestangen angebracht. Die Position der Pressen lag unterhalb des als Widerlager verwendeten Stahlprofil-Kreuzes des Turmgerüsts.

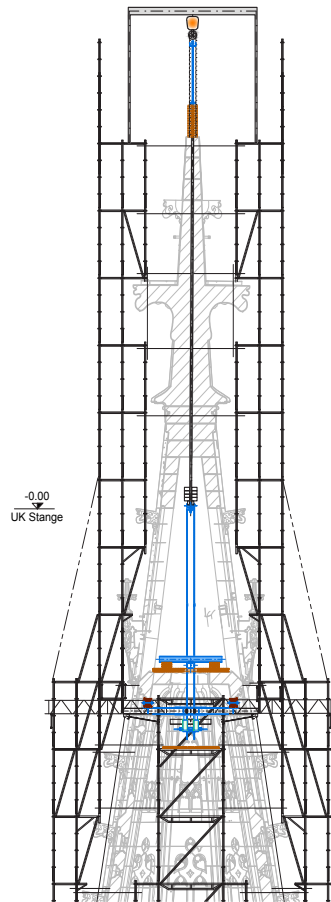
(l.m.) Der Hohlraum zwischen Stein und alter Stange war satt mit Sand verfüllt, was den Reibungswiderstand beim Herausziehen erheblich vergrößerte.

(l.u.) Die stark korrodierte Mutter des Gewichts der alten Stange konnte trotz grosser Bemühungen nicht gelöst werden und musste schliesslich abgetrennt werden.

Das Herausziehen der alten Helmstange nach unten und gleichzeitige Nachführen der provisorischen Stange von oben wurde durch Urs Wyss (Hartenbach & Wenger Ingenieure AG, Bern) in einer detaillierten Ablaufplanung vorbereitet. Eine Herausforderung stellte die komplexe Logistik in 100m Höhe dar. Zudem galt es, die Stabilität der Turmspitze lückenlos garantieren zu können. Die Pläne zeigen die nötigen Einrichtungen am Turmhelm, namentlich die Hydraulikpressen (grün), die Gewindestangen und Stahlträger (blau) sowie die Aufstockung des Turmgerüsts um einen Portalkran (gelb) zur Aufhängung der provisorischen Stange.



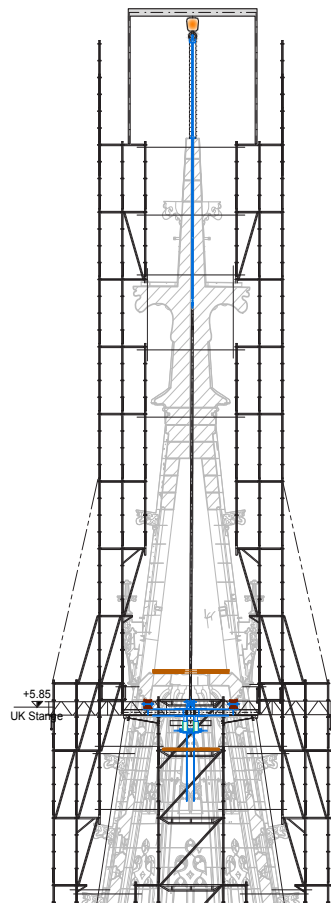
Phase 1



1. Mutter oben lösen nach Spiessen Gewicht, Mutter entfernen
2. Montage Übergangsstück 1" - SSGW 32 Montage Provisorium 2m mit Sicherung + Aufhängeelement
3. Stange an Kran hängen, Sichern mit Mutter SH auf Holz
4. Rückbau Untersperrung und Absturzsicherung unter Gewicht
5. Einbau Zugvorrichtung unten
6. Rückbau Innengerüst unter Gewicht
7. Einbau Absturzsicherung 2 HEB 180 auf Bödeli
8. Montage Pressen 2x ESP-50-150

594.4 MÜNSTER BERN  
Ersatz best. Helmstange  
Phase 1  
Hartenbach & Wenger AG  
Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau  
Egelgasse 70, 3006 Bern  
19.03.2012 KS

Phase 5.3



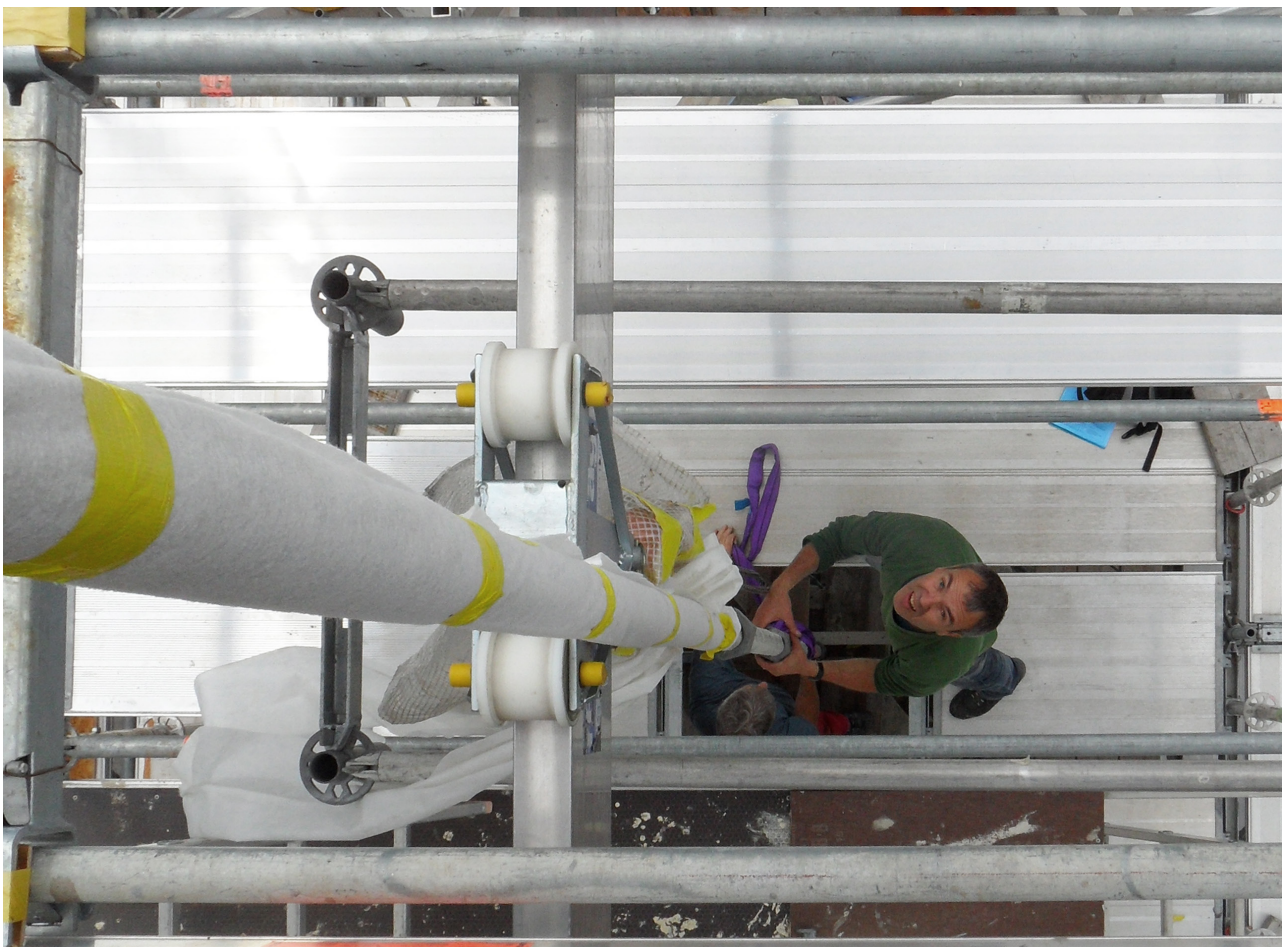
- Helmstange steht auf Helmkreuz auf ~7.5m frei ( $\frac{2}{3}$  L) ~4.5m im Voll - QS
- Zentrisches ziehen nicht weiter möglich
- Rausziehen Reststange abhängig von Verbleibung (versch. Vorgehensweisen) Entscheid nach tatsächlichem Befund
- 3 Steine über Oberer Kreuzblume demontieren als Vorbereitung für Einzug definitiver Helmstange

594.4 MÜNSTER BERN  
Ersatz best. Helmstange  
Phase 5.3  
Hartenbach & Wenger AG  
Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau  
Egelgasse 70, 3006 Bern  
19.03.2012 KS





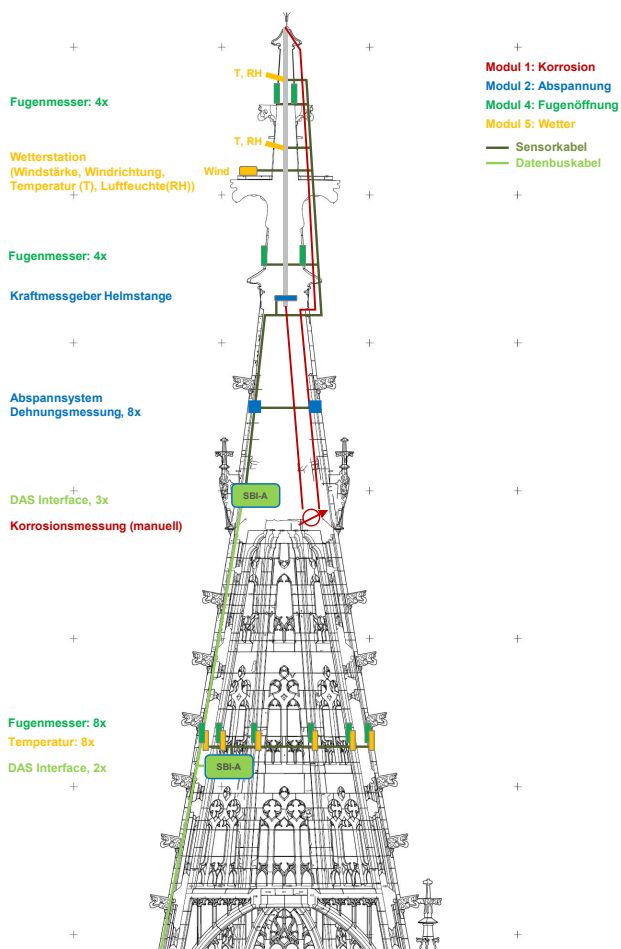
Nachdem die alte Helmstange entfernt war, konnte schliesslich das Versetzen der neuen Helmstange in Angriff genommen werden. Die 11.5m lange und 200kg schwere Stahlstange wurde in der Bauhütte vorbereitet und per Helikopter zur Turmspitze transportiert und präzise von oben eingeführt. Bereits nach wenigen Minuten hatte der Helikopter seinen Dienst getan und die spektakuläre Aktion war abgeschlossen.











(o.) Mit vereinten Kräften wurde die neue eingebaute Helmstange nach dem Versetzen manuell vorgespannt. Die neue Stange armiert die obersten Steinteile mit einer kontrollierten Vorspannung.

(l.) Mit verschiedenen Messeinrichtungen werden laufend die wichtigsten Parameter der Beanspruchung der Turmspitze aufgezeichnet. Die erhobenen Daten bilden die Entscheidungsgrundlage für kurzfristig zu treffende Massnahmen wie das Nachspannen oder Entlasten der Helmstange und ermöglichen zugleich Aufschluss über das längerfristige Verhalten der neu ausgeführten Verstärkungsmassnahmen am Turmhelm.

Seite 13

Nach Abschluss der Arbeiten an der neuen Helmstange konnten als letzte Phase die diversen Installationen an der Turmspitze vorgenommen werden:

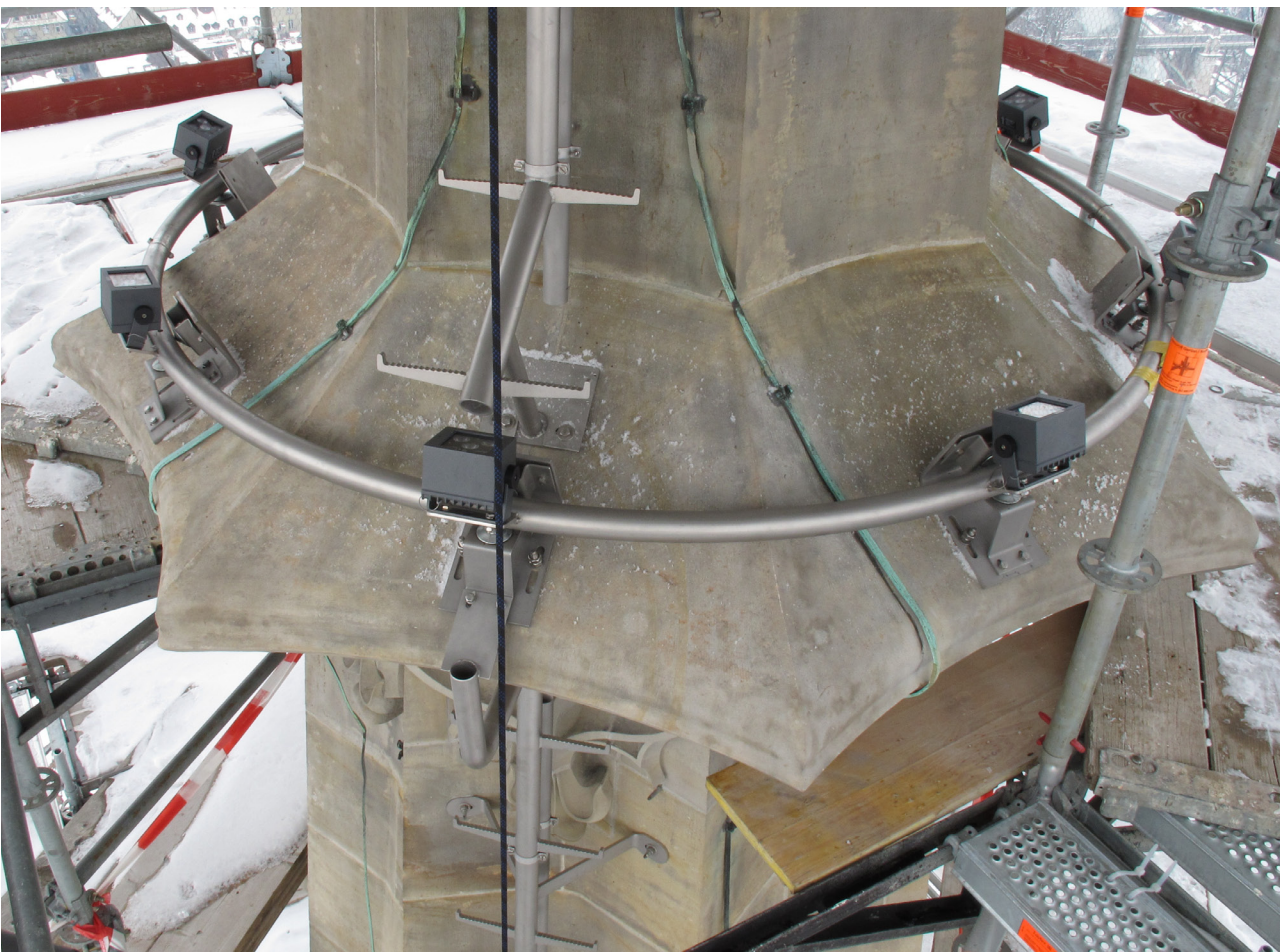
(l.o.) Vergiessen von Halterungsvorrichtungen direkt unterhalb des Knaufs. Die Halterungen dienen der Seilsicherung bei künftigen Kontrollgängen in 100m Höhe an der Turmspitze.

(l.m.) Montage der neuen Aufhängevorrichtung in Chromstahl zur Sicherung der grossen Kreuzblume.

(r.o.) Montage der neuen Leiter des Turmaufstiegs für künftige Kontrollgänge an der Turmspitze.

(u.) Die neuen Beleuchtungskörper werden drehbar angebracht, damit sie künftig von der Leiter aus gewartet werden können (Ausführung durch Energie Wasser Bern nach Konzept Priska Meier, Lichtplanerin, Turgi).









Das Einziehen der neuen Stange erfolgte nach dem gleichen Prinzip, das bei der Hilfskonstruktion angewendet worden war. Zum Schluss wurde die Stange oben mit einer Mutter und einer Kontermutter verschraubt. An der besser zugänglichen Unterseite wurden eine Druckverteilungsplatte und eine Druckmessdose angebracht. Mit dieser Lösung kann die Vorspannung der Stange periodisch gemessen und kontrolliert, und bei Bedarf später jederzeit korrigiert werden.

#### *Die statische Neuberechnung des Helms<sup>2</sup>*

##### *Ausgangslage: mehrere Schwachstellen*

Nachdem 2008 die Windbelastung des Helms weiter untersucht worden war (Hertig 2008), erhielt das Ingenieurbüro Hartenbach & Wenger AG den Auftrag, die Stabilität des gesamten Helms genauer zu berechnen. Das Resultat dieser Berechnung legte Schwachstellen im Bereich oberhalb des Kapitels bis zur Turmspitze offen. Eine Analyse von Erdbebenbelastungen zeigte Schwachstellen im ganzen oberen Bereich des Turmhelms.

In mehreren Etappen (Neubau 1893, Sicherung 1946, 1991 und 1999) ist die Turmspitze mit Metall verstärkt worden. Die Verstärkungen von 1946, welche nach dem Erdbeben von Ayent / Sierre VS und den daraus hervorgegangenen Schäden eingebaut worden waren, korrodierten stark. Über den Zustand der bestehenden Eisenstange (siehe oben) bestanden Zweifel, da sie nicht verlässlich überprüft werden konnte. Defizite an der Konstruktion unter Windbelastungen mussten aus statischen Gründen behoben werden.

#### **Seite 14**

**Gleichzeitig mit dem Ersatz der Stange der Turmspitze wurde die Statik des gesamten Turmhelms durch das Ingenieurbüro Hartenbach & Wenger AG untersucht: Die Kurven zeigen die auftretenden Kräfte unter Windlast (Kurve links) bzw. im Erdbebenfall (Kurve rechts). Die Stabilität des Turmhelms soll mit einer Abspannung der neuen Stange zur darunterliegenden Achteckgalerie verbessert werden. Zurzeit werden verschiedene Konzepte evaluiert. Es gilt, den besten Kompromiss zwischen den statischen Anforderungen, der Schonung der historischen Bausubstanz und der möglichst geringen optischen Beeinträchtigung des äusseren Erscheinungsbildes zu finden.**

#### *Neukonzeption der Verstärkungsmassnahmen*

An Stelle der frei hängenden, 11.5m langen Helmstange und des Ballasts von 500 kg Masse wird eine weit wirksamere Stahlstange eingebaut. Diese wirkt dank einer leichten Vorspannung wie eine Armierung in den Sandsteinquadern der obersten 10m des Helms. Eine starre Verbindung Stange-Quader wird aber vermieden, damit bei Temperaturwechseln keine unerwünschte Beanspruchung der Konstruktion entsteht. Gummilager zwischen Stein und Stahl lassen Längenänderungen zu, ohne grosse Kräfte auf den Stein zu bewirken.

Das Konzept sieht vor, die Stabilität des Turmhelms mit einer Abspannung der neuen Helmstange bis zur Achteckgalerie zu verbessern. Die genaue Ausführungsart ist noch in Entwicklung, lehnt sich jedoch an Ideen aus dem Jahr 1898 an. Eine damals projektierte Abspannung am Helm wurde aus unbekanntem Gründen nie umgesetzt. Mit diesen Massnahmen wird eine normenkonforme Tragsicherheit für Windbeanspruchungen und eine deutliche Verbesserung der Stabilität im Falle eines Erdbebens erreicht. Die nur schwer zu kontrollierende Situation mit der alten, ohne Korrosionsschutz eingebauten Helmstange kann bereinigt werden.

Die im Jahr 1946 eingebauten Sicherungen zwischen den Helmrippen (Höhe ca. 620m ü. M.) weisen starke Korrosion auf und müssen ersetzt werden. Die noch zu definierenden Verstärkungen im unteren Bereich des Helms werden zusammen mit dem Ersatz der alten Verstärkungen 2013 umgesetzt.

#### *Zweitmeinung*

Der Ersatz der alten Helmstange und der geplante Einbau zusätzlicher Abspannungen bis auf das Niveau der Achteckgalerie bedeuten eine erhebliche Ergänzung am Tragwerk des Turmhelms. Wegen der schwer zugänglichen Lage werden später kaum Anpassungen an der Konstruktion möglich sein. Deshalb wurde das Ingenieurbüro Bächtold + Moor AG, Bern zur Beurteilung der vorgeschlagenen Massnahmen um eine Zweitmeinung angefragt. Deren Beurteilung bestätigt die Notwendigkeit der im Jahr



2012 umgesetzten Verstärkungsmassnahmen. Die weiteren Massnahmen im unteren Bereich des Helmes werden ebenso kritisch zu hinterfragen sein.

### *Monitoring*

Die Wirkungsweise der umgesetzten Verstärkungsmassnahmen soll am Objekt überprüft werden, da kaum vergleichbare Massnahmen an ähnlichen Gebäuden bekannt sind. Mittels Temperatursonden, Druckmessdosen, sowie Wind- und Dehnungsmessgeräten werden die wichtigsten Parameter für die Beanspruchung der Helmspitze während mindestens 2 Jahren aufgezeichnet. Daraus können allfällige Massnahmen wie das Nachspannen oder Entlasten der Helmstange abgeleitet werden.

### *Vierungen an den Helmrippen*

Die von der Münsterbauhütte vorgeschlagenen Auswechslungen an den Rippen des Turmhelms wurden durch die Bauingenieure bezüglich der Tragfähigkeit der jeweiligen Restquerschnitte beurteilt. Weiter stand Hartenbach & Wenger AG bei Fragen der Verankerung der Vierungen und der Definition der Qualitätsanforderungen des Fugenmörtels beratend zur Seite.

### *Stein*

Im Tätigkeitsbericht 2011 wurde kurz auf Steinschäden an der Innenseite des Turmhelms hingewiesen.<sup>3</sup> Eine Gesamtbeurteilung führte zum Entschluss, an den besonders stark betroffenen Stellen Vierungen, also Ersatzstücke aus Sandstein, einzusetzen. Diese wurden in der Wintersaison in der Bauhütte durch Kilian Brügger und die Lehrlinge Simon Walther und Mario Freiermuth hergestellt.

Da es sich um Steinaustausch an statisch empfindlichen Stellen handelt, wurden zusammen mit den Bauingenieuren vorbereitend umfangreiche Abklärungen getroffen. Die Statik der Steinkonstruktion und die Qualität des Mauerwerks, das hier in Mischbauweise ausgeführt ist, wurden analysiert. Zu diesem Zweck wurden vier Prüfkörper ausgebaut, welche für die Ab-

folge Stein-Mörtelfuge-Stein repräsentativ sind. Gleichzeitig wurden Proben von Zuger, Oberkirchener und Bollinger Stein untersucht. Die Analysen wurden durch die Firma TFB (Technik und Forschung im Betonbau) aus Wildegg und Crissier durchgeführt. Dabei wurden die Einzelkennwerte der Materialien und des „Sandwichs“ bezüglich Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul ermittelt.

Das Schlussresultat zeigte eine breite Streuung von Qualitäten innerhalb der einzelnen Materialien. Eher überraschend war die Erkenntnis, dass der bestehende Mörtel relativ weich und dadurch elastisch ist. Bei aller Varianz der Messresultate wurde das bestehende Verständnis der Massivbauweise bestätigt. Anhand der ermittelten Werte konnte ein Näherungsmodell aufgestellt werden, welches als Berechnungsgrundlage wertvolle Dienste leistet. Insgesamt war der Befund nicht beunruhigend; vielmehr wurden bisherige Annahmen bestätigt.

Im Rahmen der Vorbereitungen für die Vierungen am Turmhelm wurde auch ein neuer Vergussmörtel entwickelt, welcher mehrere spezielle Eigenschaften aufzuweisen hat: eine definierte Druckfestigkeit, gutes Fliessverhalten unter niedrigem Druck, nicht schrumpfendes Aushärten. Die entwickelten Mischungen wurden abermals von TFB getestet.

Alle Vierungen im Inneren des Helms wurden 2012 versetzt. Die hohen statischen Anforderungen führten auch zu hohen Standards beim

### **Seite 17**

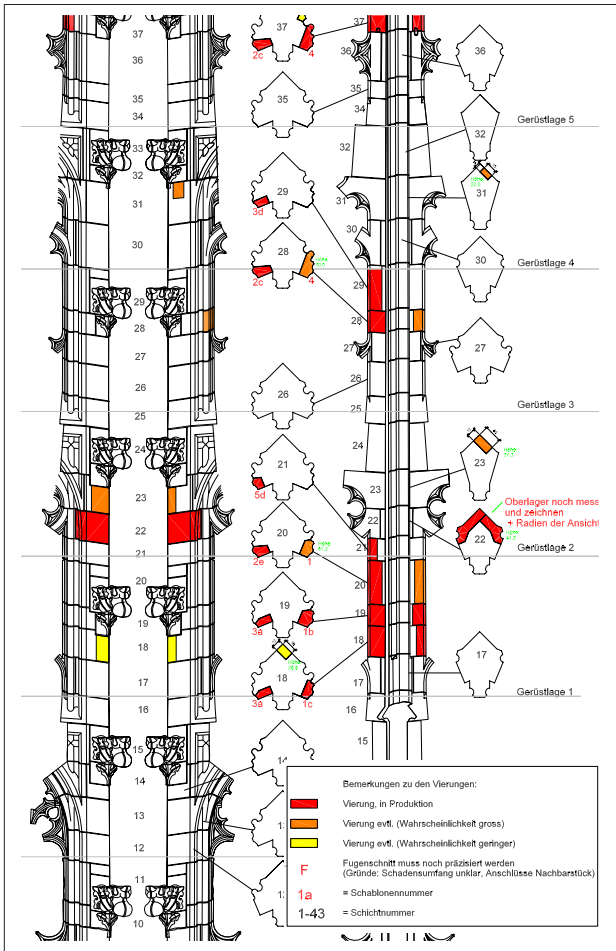
**(l.o.) Aufgrund der statisch zu geringen Restquerschnitte konnten die Steinschäden an den Helmrippen nicht mit Aufmörtelungen restauriert werden, sondern mussten neue Steinquader (Vierungen) eingesetzt werden. Übersicht über die vorgesehenen Vierungen am Turmhelm (Beispiel Helmrippe Nord-Nordwest).**

**(r.o.) Beispiel eines Schadens an der Innenseite einer Helmrippe, der den Einsatz einer Vierung nötig macht.**

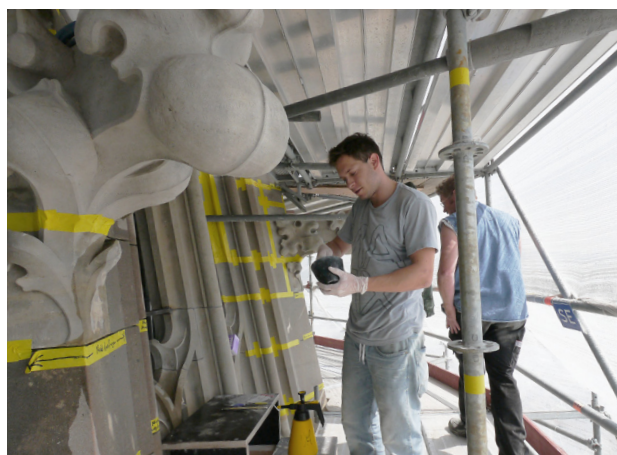
**(l.m.) Entwicklung eines Vergussmörtels zur kraftschlüssigen Verbindung von bestehender Rippe und neuer Vierung. Neben den technischen Eigenschaften ist vor allem die handwerkliche Verarbeitung von Bedeutung: So wurde eine Glasplatte auf eine Steinoberfläche montiert und damit eine 4mm Fuge imitiert, damit das Fliess- und Aushärteverhalten des Mörtels getestet werden konnte.**

**(l.u/r.u.) Versetzen einer Vierung. Die Fugen müssen vollständig verfüllt werden, damit die neuen Werkstücke mit der bestehenden Rippe kraftschlüssig verbunden sind.**











Seite 18

(o.) An der grossen Kreuzblume aus Obernkirchener Sandstein traten feine, geologisch bedingte Risse auf. In der Regel sind solche Schäden nur oberflächlich und problemlos, trotzdem wurden die Risse mit Mikrozement geschlossen, um das Eindringen von Wasser zu verhindern.

(u.) Während der Sommersaison 2012 wurde fast der gesamte Turmhelm aussen neu verfugt. Diese Massnahme, die mehrere hundert Meter Fugenlänge betraf, ist wichtig für die korrekte Wasserableitung und damit den Schutz der Steinoberflächen.

Seite 19

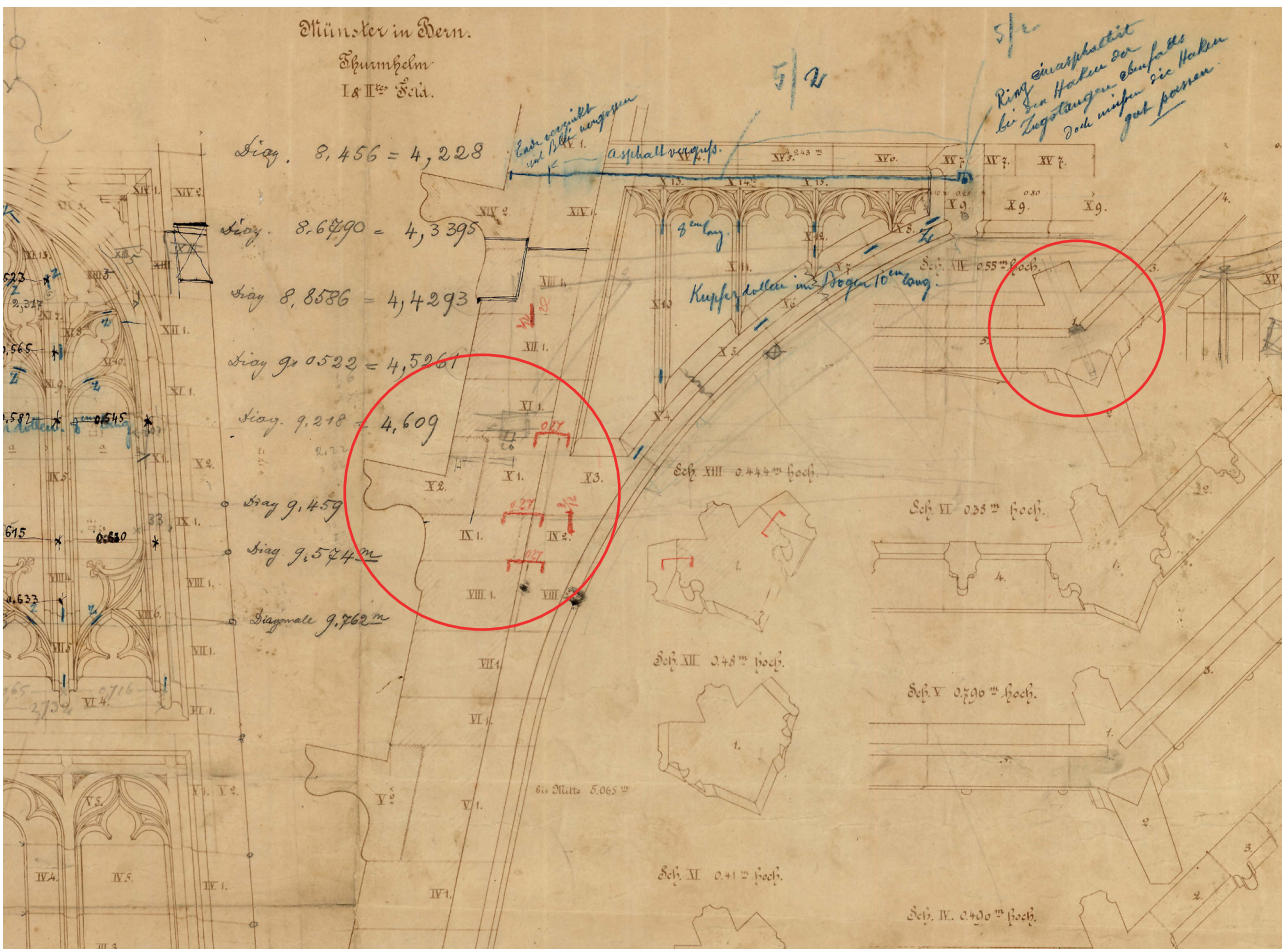
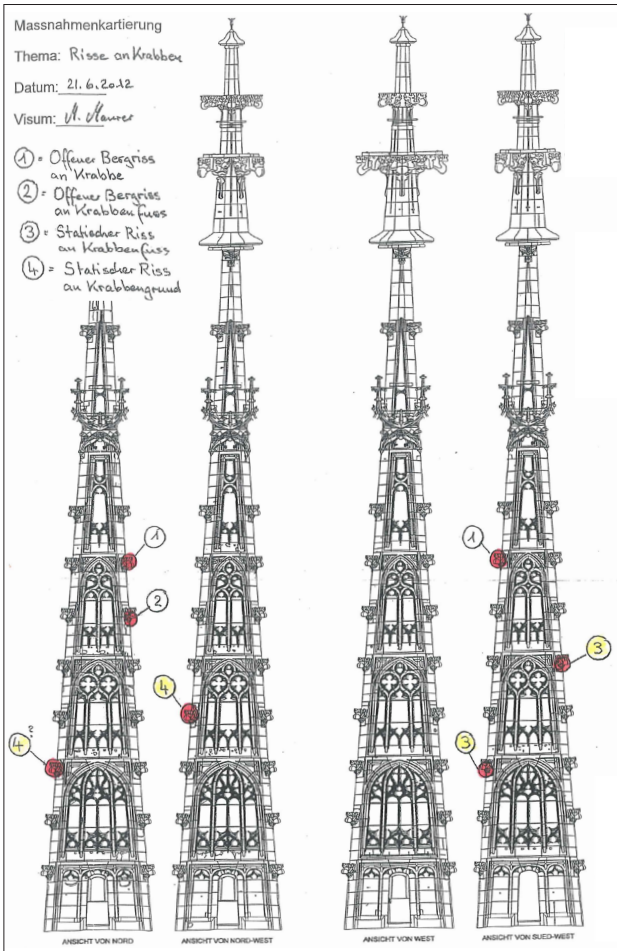
(r.) Unterhalb der Krabben aus Obernkirchener Sandstein konnten im Zuger Sandstein aussergewöhnliche Schadensbilder beobachtet werden: Die von direkter Bewitterung geschützten Stellen bleiben zunächst trocken, ziehen vermutlich dann aber vermehrt die gelösten Schadstoffe in diesen Bereich.

(r.u.) In dieser „Ausdunstungszone“ waren die Schäden besonders stark und mussten vor dem Aufmörteln ausgekratzt werden. Eine Festigung mit Kieselsäureesther war in dieser Exposition nicht möglich, da der dazu notwendige Schutz der Oberfläche vor Regen während mehrerer Wochen nicht gewährleistet werden konnte.

(l.) Lockerzone mit tief entfestigten Bereichen: Dieses örtlich auftretende Schadensbild ist ein Hinweis darauf, dass der betreffende Stein einer schlecht gebundene Schicht des Steinbruchs entstammt.









**(l.o.) An einigen Krabben des Turmhelms zeigen sich ungewöhnliche Rissbilder. Diese wurden in einer Übersicht kartiert (hier: Auszug aus der Dokumentation des Baustellenverantwortlichen Marcel Maurer).**

**(r.o) Die Rissbilder lassen rostendes Eisen als Ursache vermuten, beispielsweise von Klammern. Mit einem Sondiergerät konnten die vermuteten Eisenteile schliesslich in einer Tiefe von 4cm auch geortet werden.**

**(r.m.) Die Freilegung einer besonders ausgeprägt gerissenen Stelle bestätigte die Beobachtungen: Die Krabben wurden 1892/93 mit massiven Eisenklammern befestigt. Ob die Rissbilder tatsächlich durch das rostende Eisen der Klammern entstanden, kann im Moment aber noch nicht abschliessend beantwortet werden.**

**(u.) Einige flüchtig eingezeichnete Klammern in einem Ver-  
setzplan von 1893 bezeugen den offensichtlich kurzfristig  
entschiedenen Einbau von Eisenteilen zur Befestigung der  
Krabben des Turmhelms.**

Einbau. Die Fugen durften maximal 5 mm betragen. Der Mörtel wurde mittels einer neuen Fugenpresse von unten nach oben eingepresst, dadurch kann eine vollständige Verfüllung der Fugen erzielt werden. Insgesamt konnten Kenntnisse umgesetzt werden, die Peter Völkle bereits in seiner Zeit in Ulm erarbeitet hatte. Die Vierungen am Äusseren des Turmhelms werden 2013 versetzt.

#### *Aufmörtelungen innen*

Auch bei der Steinrestaurierung lag der Arbeitsschwerpunkt an der Helminnenseite. Die Festigung und Vorbereitung des Mauergrundes war bereits 2011 abgeschlossen worden. Im Berichtsjahr konnten alle Fugensanierungen und Aufmörtelungen ausgeführt werden.

Dabei wurden Erkenntnisse umgesetzt, welche bereits 2011 anlässlich von vorbereitenden Versuchen erzielt worden waren: Bei der Armierung sehr dünner Aufmörtelungen wurden Glasfasernetze und selbstschneidende Chromstahlschrauben verwendet.

#### *Beobachtungen aussen*

Im Hinblick auf die Arbeiten 2013 wurden Versuchsflächen angelegt. Im Aussenbereich waren vielerorts Schadensbilder anzutreffen, die auf die ungünstige Wasserableitung am Turmhelm zurückzuführen sind: An den von den zahlrei-

chen Krabben wettergeschützten Bereichen des Helms entstehen zum Beispiel Randzonen der Benetzung, die eine erhöhte Schadenstendenz aufweisen. Es wird vermutet, dass in den stärker benetzten Bereichen Schadstoffe ausgespült werden, die kapillar in die eher trockenen Ausdunstungszonen wandern und dort angereichert werden. Zudem wird vermutet, dass an den betroffenen Stellen die für den Zuger Sandstein typische Belastung durch hygri-sche Dehnung besonders ausgeprägt ist. Für unterschiedliche Schadensphänomene wurden spezifische Massnahmen festgelegt. Die Schadensursachen wurden im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit der Massnahmen massgeblich in die Erwägungen einbezogen.

#### *Risse im Bereich Krabben*

Ein bisher wenig beachtetes Schadensbild im äusseren Bereich des Turmhelms nahm nach und nach beunruhigende Dimensionen an. Die Ursache für Risse oberhalb einzelner Krabben war zunächst unklar. Ein Planfund im Archiv gab im Herbst 2012 Anlass zur Sorge, bei Sondierungen an Ort bestätigte sich die Vermutung im Winter 2013: Sämtliche Krabben an den Helmstreben sind, vermutlich in letzter Minute vor der Ausführung, mit eingesetzten Eisenklammern gesichert worden. Diese gut gemeinten Sicherungen könnten nun über Rostspren-gungen ein verdecktes Schadenspotential darstellen, welches entschärft werden muss und uns auch in den Jahren 2013/14 noch beschäftigen wird.

1 vgl. Tätigkeitsbericht 2011, S.14.

2 Text auf Grundlage Arbeitsbericht "Statische Neuberechnung des Turmhelms," Hartenbach & Wenger AG, Bern, 2013.

3 vgl. Tätigkeitsbericht 2011, S.15.