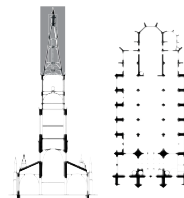


Restaurierung Turmhelm



Gerüstbau

Über das Gerüst für die Baustelle am Turmhelm haben wir bereits im letzten Jahr ausführlich berichtet¹.

Die Gerüstmontage erfolgte während ca. sechs Wochen mit überwiegend vier Personen durch die Firma Lawil. Die grosse Umsicht und der schnelle Arbeitsfortschritt der Gerüstbauer beeindruckten alle Beteiligten.

Die Zusammenarbeit zwischen den Gerüstbauern und der Münsterbauhütte war hervorragend. Als besonderer Glücksfall darf rückblickend die ausserordentlich stabile Wetterlage vom April und Mai 2011 bezeichnet werden. Die Arbeiten am Gerüst mussten nur an wenigen Tagen wegen Regens unterbrochen wer-

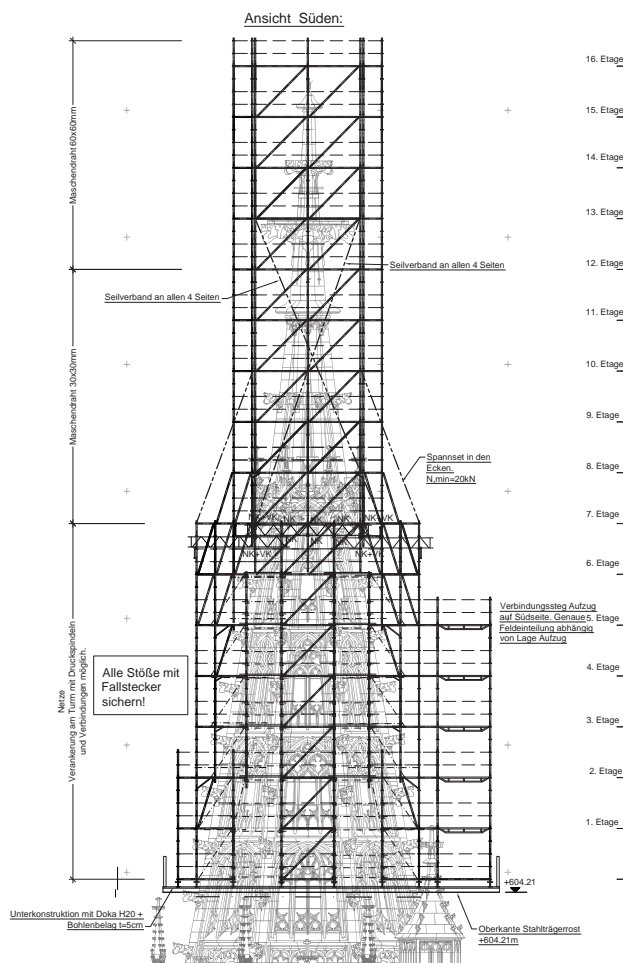
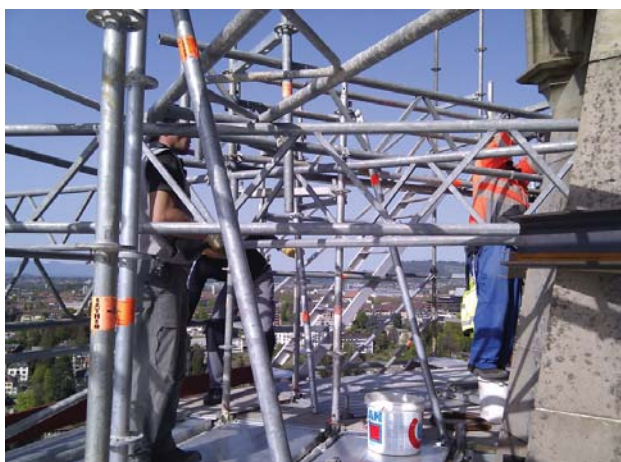
den. Der erfolgreiche und unfallfreie Abschluss der Gerüstarbeiten wurde mit einer kleinen Aufrichte gefeiert.

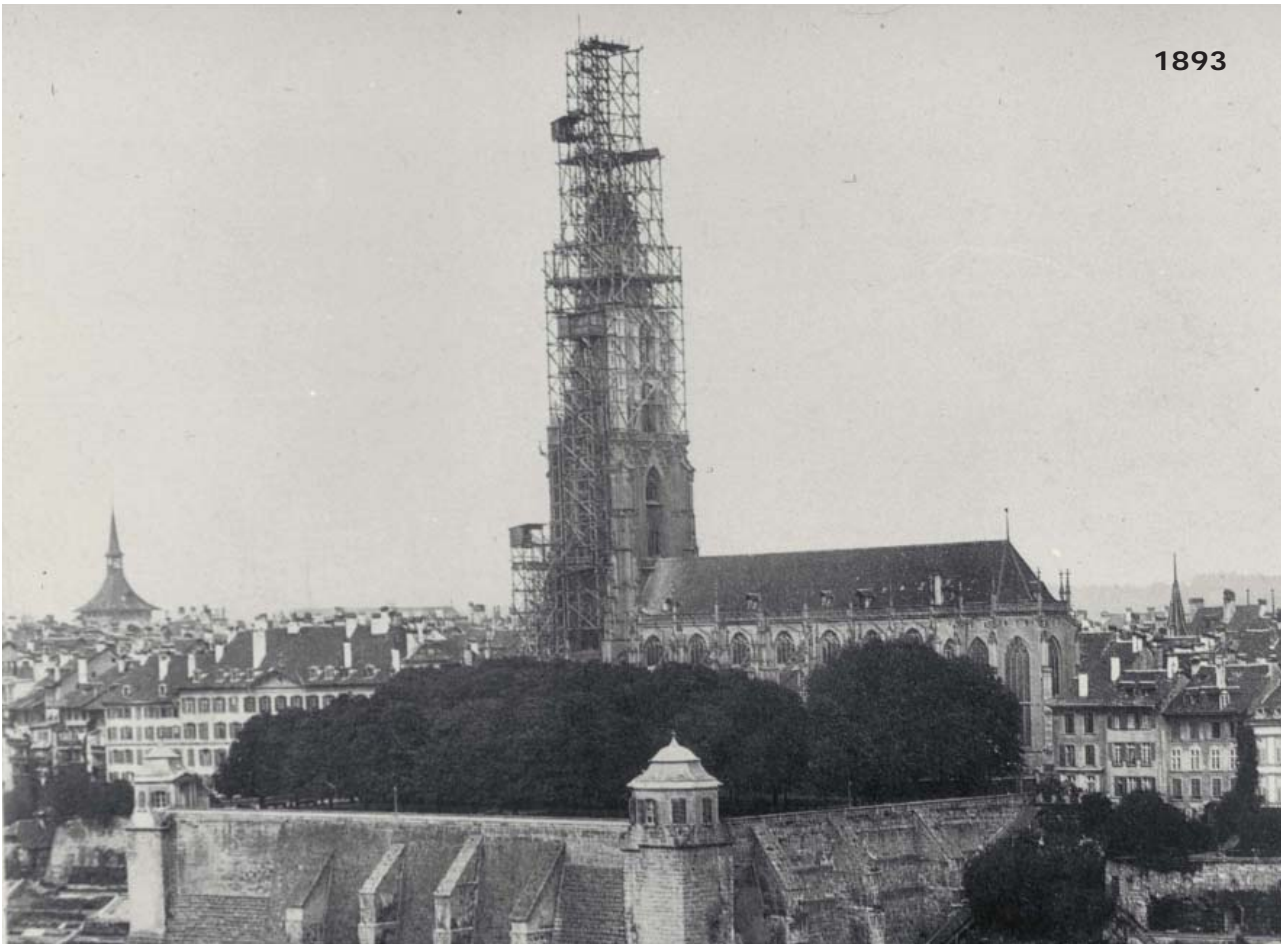
1 Tätigkeitsbericht der Berner Münster-Stiftung 2010, S. 18-21

(l.) Gerüstaufbau im Sommer 2011. Dank guter Vorbereitung mit allen Beteiligten und zahlreichen Besprechungen an Ort schritten die Arbeiten ruhig, mit der grösstmöglichen Sicherheit und trotzdem sehr zügig voran.

(r.) Gerüstplan Helmgerüst (Ingenieurbüro V. Knobloch, D-Heilbronn 2011). Das Gerüst steht im oberen Bereich frei und wird mit Spannschrauben bis auf das untere Turmachteck abgespannt. Die ganze Gerüstkonstruktion wird durch die Öffnungen des Helms gespannt und kommt wie bereits beim Turmachteck ohne eine zusätzliche Befestigung (Bohrung) im Stein aus.

Seite 7:
Gerüst anno 1893 während der Turmaufstockung (Dia aus Archiv Otto Wymann) und im Jahr 2012 für die erste Sanierung nach rund 120 Jahren.

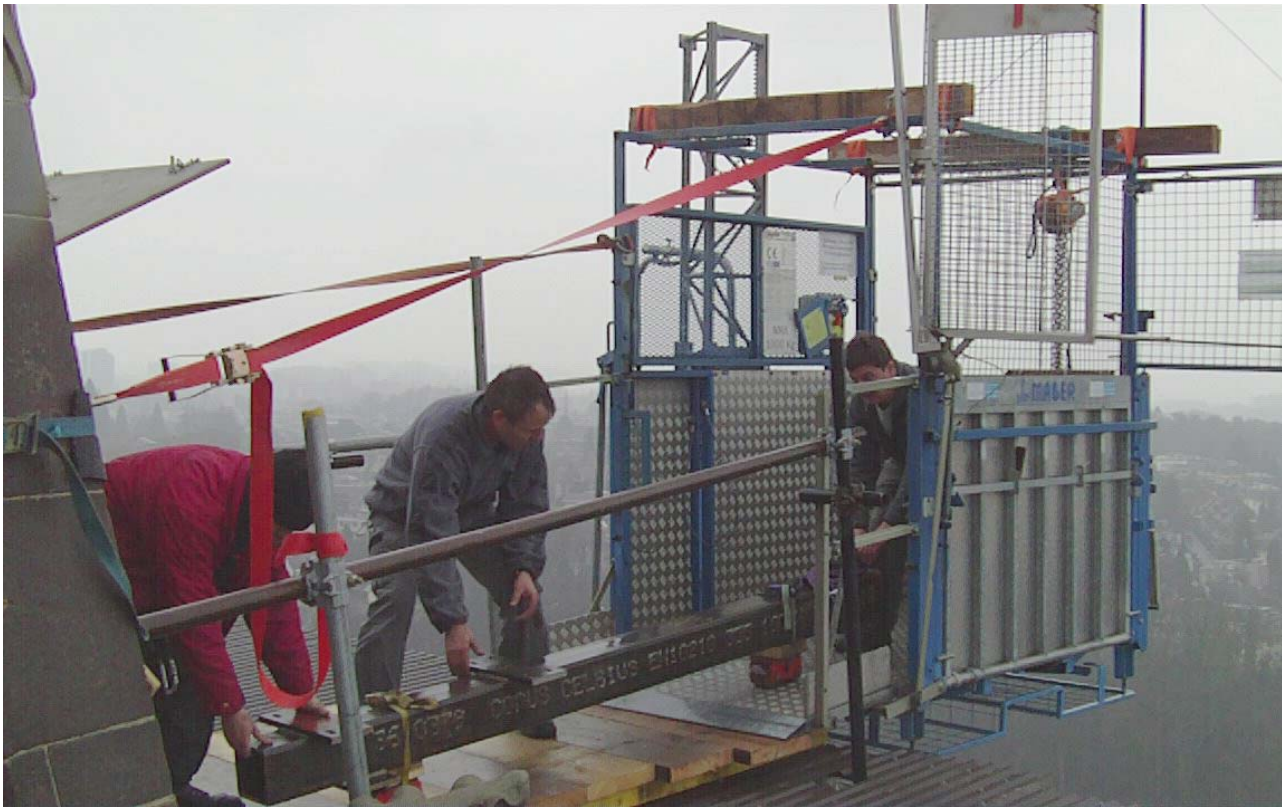




1893



2012



Impressionen eines Bauwerkes auf Zeit: Das Gerüst wächst bis zur Turmspitze. Ganz herzlichen Dank an alle, die zum unfallfreien Gelingen der Arbeiten beigetragen haben - das Resultat kann sich sehen lassen!



Arbeitsübersicht

Seit seiner Erbauung in den Jahren 1892-93 sind am Turmhelm keine grösseren Eingriffe mehr vorgenommen worden. Nach dem Erdbeben von 1946 war die Kreuzblume durch eine um den Helmschaft gelegte Stahlkonstruktion mittels Eisenschlaudern zusätzlich gesichert worden. Diese Massnahme wurde 1999 mit Hilfe eines kleinen mobilen Gerüsts durch eine neue Aufhängung ersetzt².

2002 wurde der ganze Helm zwecks Verlangsamung des Schadensfortschrittes einer provisorischen Fugensanierung unterzogen, wobei die Arbeiten im Seil hängend ausgeführt wurden³.

Die nun durchgeführten Massnahmen haben zwei Schwerpunkte: Einerseits die Verbesserung der Statik der Turmspitze. Dies geschieht insbesondere im Hinblick auf eine verbesserte Windstabilität und zugleich – soweit möglich und sinnvoll – hinsichtlich Erdbebensicherheit. Andererseits wird der Helm einer Steinrestaurierung im umfassenden Sinn unterzogen.



Helmstange

Der schlanke oberste Teil des Helms mit der gewaltigen Kreuzblume war 1892, also bereits in der ursprünglichen Konstruktion, mit einer schmiedeeisernen Zugstange verstärkt worden. Diese war in der Hammerschmiede Worblaufen angefertigt worden; ein Betrieb, der heute noch existiert.

Die Werkzeichnungen von 1893 überliefern Form und Konstruktion dieser Stange. Einige in einem Plan eingetragene Handergänzungen gaben allerdings Anlass zu Mutmassungen über eine eventuelle Projektänderung. Generell gibt es bisher keine verfügbare Methode, welche Klarheit über den Zustand der Stange und eine

2 Tätigkeitsbericht der Berner Münster-Stiftung 1999, S. 12-20.

3 Tätigkeitsbericht der Berner Münster-Stiftung 2003, S. 10.

(l.) Die Turmspitze verschwindet im Gerüst.

(r.o.) Spitzenteam auf dem Gipfel: Multinationales Gerüstbauteam der Firma Lawil Gerüst AG / (r.u.) Münsterarchitekt mit Ingenieurteam (Hartenbach&Wenger AG, Volker Knobloch Ingenieure) sowie Lawil Gerüst AG nach dem erfolgreichem Abschluss der Arbeiten.





allfällige Beschädigung während des letzten Erdbebens von 1946 bringen kann. So ist nach wie vor nicht bekannt, ob und wie stark der Stahl korrodiert oder im schlimmsten Fall gerissen ist. Insgesamt musste aufgrund von Berechnungen der Bauingenieure festgestellt werden, dass die Stange bezüglich der bei Sturm und Erdbeben auftretenden Kräfte nicht ausreichend dimensioniert ist. Zur Sicherstellung der Sturmstabilität und der Erdbebensicherheit wurde beschlossen, sie durch eine neue Stange aus einem hochwertigeren und standardisierten Material (einer so genannt definierten Stahllegierung) zu ersetzen.

Voruntersuchungen

Von Anfang an war die grosse Frage, ob es möglich sein würde, die Stange herauszuziehen. Sollte dies nicht möglich sein, erwog man, die zusätzlichen Kräfte mit einer um die Kreuzblume geführten Aussenarmierung nach unten abzuleiten. Befürchtungen, dass ein Herausziehen nicht möglich sein würde, wurden durch



eine Zeichnung von 1890 genährt. Aufgrund dieser historischen Zeichnung konnte nicht ausgeschlossen war, dass die Stange entgegen den Schriftquellen aus zwei Teilen konstruiert war. In diesem Fall wären die beiden Teile im Bereich der Kreuzblume mit einer Muffe verschraubt gewesen. Um diese Hypothese zu überprüfen, führten Spezialisten Messungen mit Georadar, Schall und Elektrizitätswiderstandsmessungen durch. Die vermutete Muffe konnte

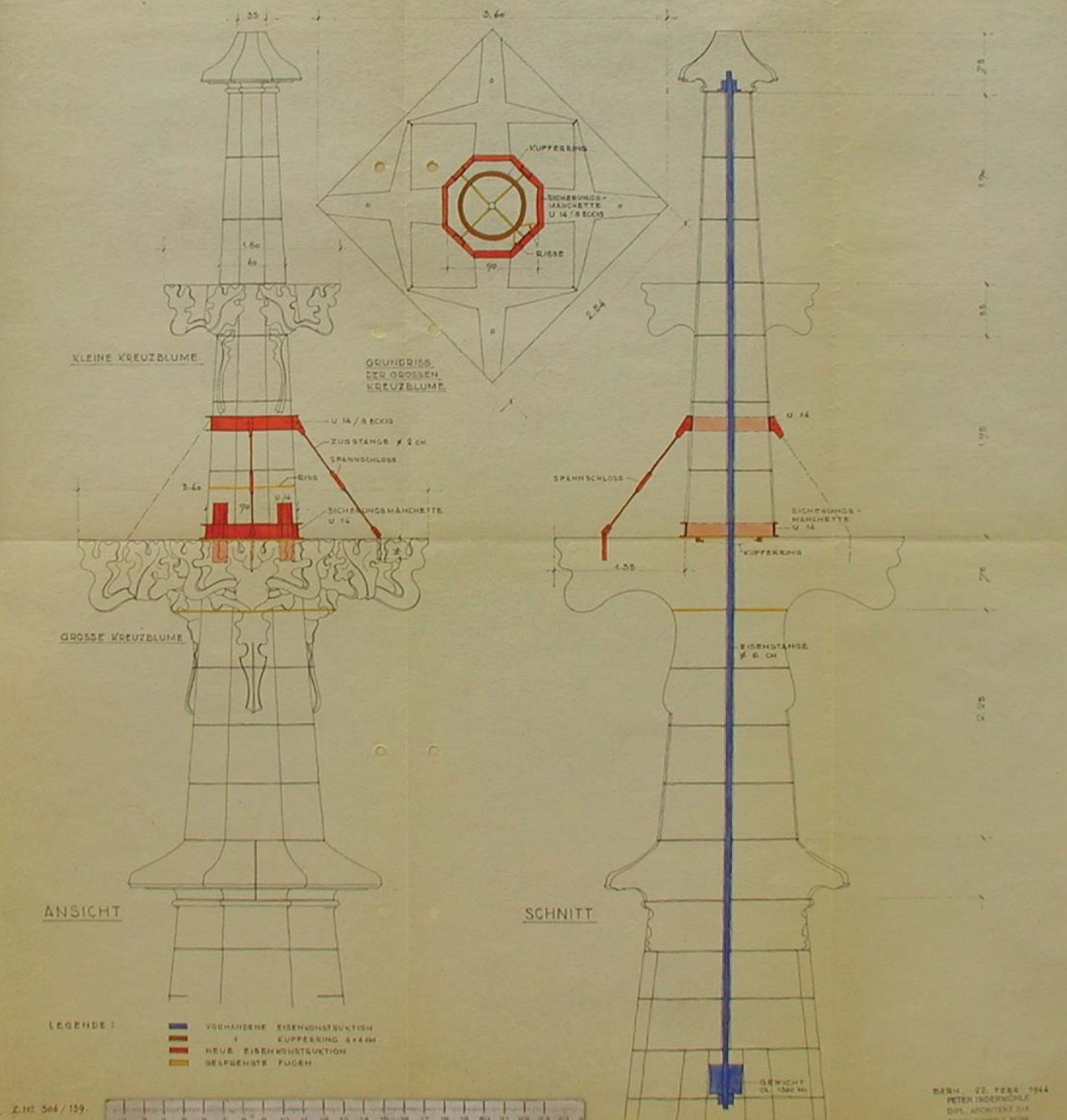


(o.l.) Helmspitze mit vergoldeter Krone (Blitzableiter), Vorzustand Sommer 2011.

(o.r.) Stiftungspräsident Arthur Liener mit Mitgliedern des Stiftungsrates hoch über Bern. Angestossen wird SUVA-gerecht mit Apfelsaft!

(u.) Die Ortungsversuche der Helmstange mit Georadar, Schall und Stromkreis durch die Firma Irschat AG Oberdorf bringen leider keine plausiblen Resultate. Gemäss Bericht muss sogar mit einer Unterbrechung der Helmstange gerechnet werden.

MÜNSTER IN BERN - HELMSPITZE MST. 1:20 - FOLGEN DES ERDBEBENS VOM 25.1.46 UND DEREN BEHEBUNG.



(o.) Verstärkung Helmspitze nach dem Erdbeben von 1946 (Epizentrum in der Nähe von Sierre) mit einer Stärke von 4.8 auf der Richterskala. Ausführungsplan: Peter Indermühle 1946.

(l.) Aufhängung der beim Erdbeben gerissenen grossen Kreuzblume. Die Stahlkonstruktion von 1946 wurde bereits 1999 von einem kleinen Gerüst aus ergänzt⁴.

⁴ Tätigkeitsbericht der Berner Münster-Stiftung 1999, S. 12-20.

aufgrund keines dieser Verfahren ausgeschlossen werden. Zudem gab es Hinweise, dass die Stange abschnittsweise verbleit war. Kernbohrungen an zwei Stellen förderten allerdings eine Verfüllung mit Sand bzw. einem sehr mageren Mörtel zutage.

Der nächste Versuch wurde mit dem Abbau des Knaufs über der Kreuzblume unternommen. Im Juni konnte der obere Bereich der Helmstange erstmals einem Augenschein unterzogen werden. Sie entsprach in den obersten 80 cm genau dem Befund, der aufgrund der Pläne zu vermuten war.

Auszugsversuche

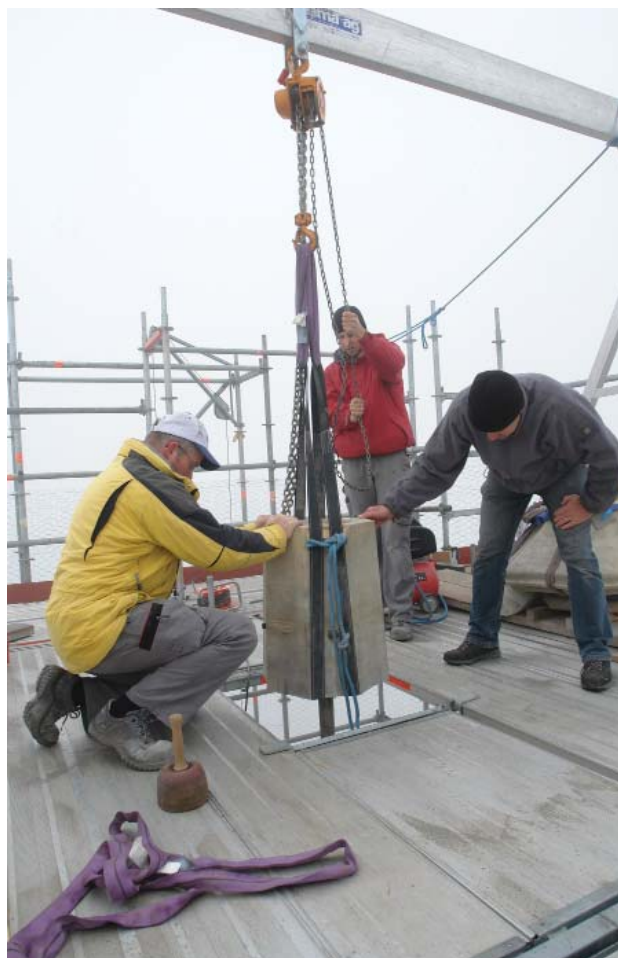
Die sehr gut verarbeiteten Werkstücke der Helmspitze waren zusätzlich zur Stange mit Kupferdübeln verbunden und mit einem extrem harten Zementmörtel versetzt. Die anspruchsvolle Demontage erforderte mehrere Tage zeitraubender Auszugsversuche.



(o.) Das Ausbohren der Verbleiung nahm viel Zeit in Anspruch.

(r.o.) Abheben des Knaufs von der Helmspitze. Darunter kommt der oberste Teil der sich in erstaunlich gutem Zustand befindenden Stahlstange zum Vorschein. Die grosse Schraubenmutter sollte auch den Stahlbauer noch länger beschäftigen.

(r.u.) Vorsichtiger Abbau der drei obersten Steine der Turmspitze. Die Werkstücke von 1893 müssen über die Stahlstange ausgefädelt werden.



Mit den anschliessenden Versuchen zum Herausziehen der Stange wurde die Firma Hebetec beauftragt. Damit eine genau kontrollierte Kraft auf die Stange ausgeübt werden konnte, wurde eine Hilfskonstruktion mit zwei Stahlplatten entwickelt: die eine Stahlplatte wurde auf das oberste steinerne Werkstück gelegt, die andere Stahlplatte wurde direkt mit der Stange verschraubt. Zwischen die beiden Stahlplatten wurden acht kleine Hydraulikpressen eingesetzt. Die mit diesen Pressen ausgeübte Kraft von 300 Kilonewton, also 30 Tonnen, reichte nicht aus, die Stange irgendwie zu bewegen. Im Hinblick auf einen zweiten Hebeversuch wurden weitere drei Werkstücke an der Turmspitze abgebaut. Die anspruchsvolle Demontage erforderte mehrere Tage. Nach diesem Arbeitsgang war endlich klar, dass weder die befürchtete Muffe noch eine Verbleiung vorhanden ist. Für den nun folgenden Hebeversuch wurde durch Bauingenieur Urs Wyss eine neue Konstruktion entwickelt. Die Stahlplatten und die Pressen wurden nun auf die Kreuzblume aufgesetzt und die Druckkraft über ein Rohr an das obere Ende der Stange übertragen. Diesmal wurde mit 450 kN bzw. 45 Tonnen angegriffen. Endlich Bewegung! Für die nächsten ca. 10 cm genühten 250 kN. Damit war der Zeitpunkt gekommen, um die Steine zur Überwinterung wieder aufzufädeln und zu verschrauben. Sobald es die Temperaturen im Frühling 2012 zulassen, soll die alte Stange nun von unten, wenn möglich an einem Stück oder ansonsten in Segmenten, herausgezogen werden. Gleichzeitig muss die Helmspitze durch eine provisorische Stange gesichert werden. Die neue Stange wird voraussichtlich später mit dem Helikopter angeliefert und von oben eingelassen.



(o.) Anbringen der Pressvorrichtung zum Anheben der Helmstange zuerst bei der Helmspitze (ohne Erfolg) und dann auf Höhe der oberen Kreuzblume (m.). Überwacht und ausgewertet wurden die Messresultate direkt an Ort durch Bauingenieur Urs Wyss, Hartenbach&Wenger AG (u.). Bei 45 Tonnen Druck gelang es dem Team aus Hebetec Engineering AG, Bauhütte, Bauingenieuren und Stahlbauer endlich, die störrische Stange einige cm nach oben zu bewegen.

Steinrestaurierung

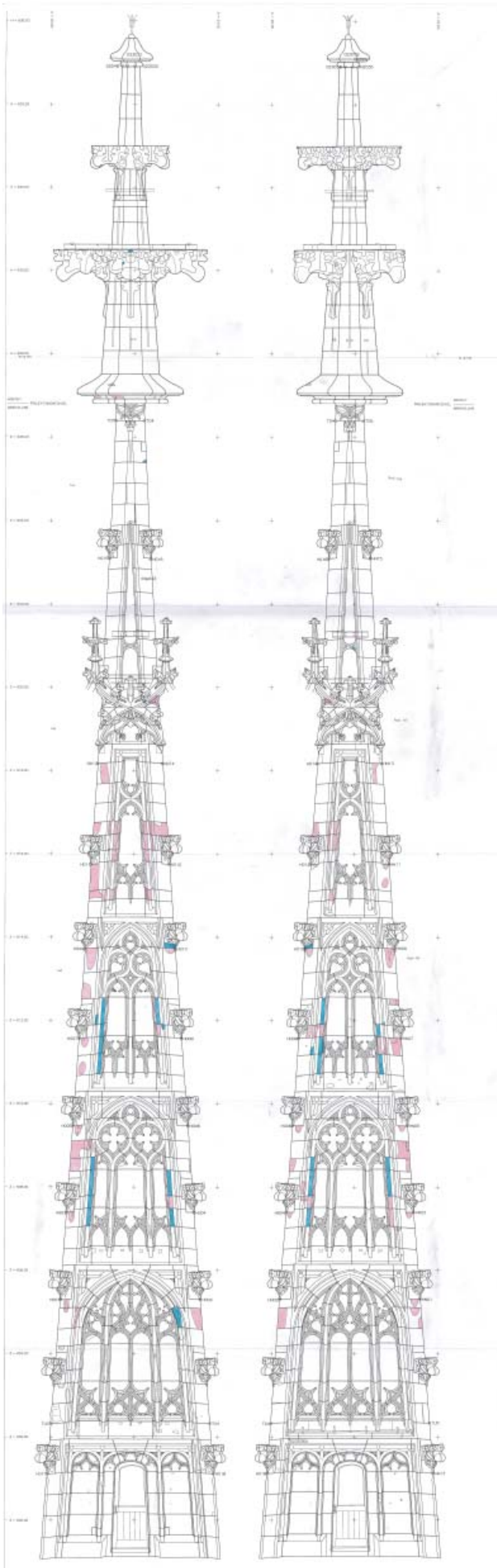
Der Turmhelm ist aus Obernkirchner und Zuger Sandstein in Mischbauweise konstruiert. Die aufwändig gearbeiteten Zierteile (Krabben und Masswerke) bestehen aus Obernkirchner, die massiven, weniger profilierten Strukturteile aus Zuger.

Die Schadenskartierung wurde nach der inzwischen etablierten Vorgehensweise durchgeführt. Da acht Seiten innen und aussen zu erfassen waren, hatte die zu erfassende Fläche beachtliche Ausmasse. Die Kartierung lieferte eine gute Übersicht über die Schadensphänomene. Es zeigte sich, dass die Verteilung der Schäden stark von der Himmelsrichtung abhängt, gegen die die Werkstücke exponiert sind. Während an der Westseite aussen praktisch keine Schäden festzustellen waren, war die Innenseite hier besonders stark in Mitleidenschaft gezogen. An der Ostseite des Helms waren innen kaum Schäden vorhanden, dafür zeigte der Zuger Sandstein aussen eine sehr ausgeprägte Schalenbildung. Der Grund für

diese Verteilung liegt höchstwahrscheinlich in der unterschiedlichen Befeuchtung und Abtrocknung infolge des Windeinflusses. Da der Wind in Bern aus der Hauptwindrichtung WNW bläst, trocknet der Bau an dieser Seite sehr schnell ab; die nach Osten exponierten Teile trocknen wesentlich langsamer. Dies gilt am Stabwerk des Helms an der West- und Ostseite gleichermaßen. Die Abtrocknung und das kapillare

(u.) Steinschäden am Turmhelm, angetroffener Zustand 2011 (stark exponierte Bereiche aus Zuger Sandstein).





Schalen/Hohlstellen, Befund gesichert.



Vermutete Schalenbildung, während der Restaurierung noch genauer zu definieren.

(o.) Die Fassaden werden optisch und akustisch (Abklopfen mit dem Bleistößel) auf Risse und Schalenbildung untersucht. Die zahlreichen Hohlstellen werden mit Kreide direkt an Ort markiert.

(I.) Übertrag Kartierung Schalen und Hohlstellen am Turmhelm auf einen Übersichtsplan, Stand 06.05.2011 Peter Völkle und Marcel Maurer (Fassade NNE).

Wandern der Feuchtigkeit verlaufen somit an allen Seiten relativ zur Windrichtung und nicht zur Einbausituation (von aussen nach innen). Aufgrund der Befunde tauchten verschiedene Fragen auf, zu deren Abklärung Sondierungen durchgeführt werden mussten. Zunächst wurde an verschiedenen Stellen der Ostseite der Verwitterungszustand festgestellt, indem Bohrkern gezogen wurden. Gleichzeitig wurden Fugen aufgefräst und hinsichtlich der gleichen Fragestellung untersucht. Mit den Bohrkernen wurden auch Druckfestigkeitsuntersuchungen am Stein durchgeführt. Befund: Der Stein ist im Wesentlichen intakt. Es konnten Druckfestigkeiten bis 70N/mm² gemessen werden, was nahezu der Festigkeit eines Neumaterials entspricht. Gleichzeitig zu den Sondierungen wurden grössere Versuchsflächen angelegt und Vorgehensvarianten studiert. Dabei wurde primär abgeklärt, welche Bereiche mit Kieselsäureester gefestigt werden können und in welchem Umfang Aufmörtelungen durchgeführt werden sollen. Im Verlauf des mehrstufigen Entscheidungsprozesses stellte sich heraus, dass einige Werkstücke nicht mehr mit vernünftigem Aufwand gefestigt werden können, da der Schadensprozess hier bereits zu weit fortgeschritten ist und zu tiefen Lockerzonen geführt hat. Daraufhin wurde beschlossen, einen Teil der stark verwitterten Werkstücke zu ersetzen respektive mit Vierungen (eingesetzten Stücken aus Stein) zu ergänzen. Während in einigen Bereichen eine Konservierung des angetroffenen Zustandes möglich ist, mussten in anderen Abschnitten vor dem Festigen Lockerzonen abgekratzt werden, damit der Festiger die erwünschte Wirkung entfalten kann.



(o.) Versuche zur Optimierung der Armierung bei Aufmörtelungen von geringer Tiefe. Detail rechts: gut funktionierende Lösung mit selbstschneidenden Schrauben und Glasfaserstreifen.

(m.) Vorbereitung der Oberfläche zur Konservierung mit Kieselsäureester.

(u.) Einige sehr lockere Bereiche mussten vorgängig entfernt werden.



Sondierungen und Probenentnahmen am Turmhelm zur Überprüfung von Schalen- und Risstiefen und Ermittlung der erforderlichen Massnahmen (je nach Schadensausmass: Aufmörtelungen oder Vierungen aus Naturstein).

Im Hinblick auf die Festigungsarbeiten wurde eine Grundlagenstudie von CSC (Conservation Science Consulting Sàrl, Fribourg) zur Eindringtiefe der Festiger in den betroffenen Bauteilen durchgeführt (vgl. Kapitel „Wissenschaftliche Begleitung und Versuche“, S. 51).

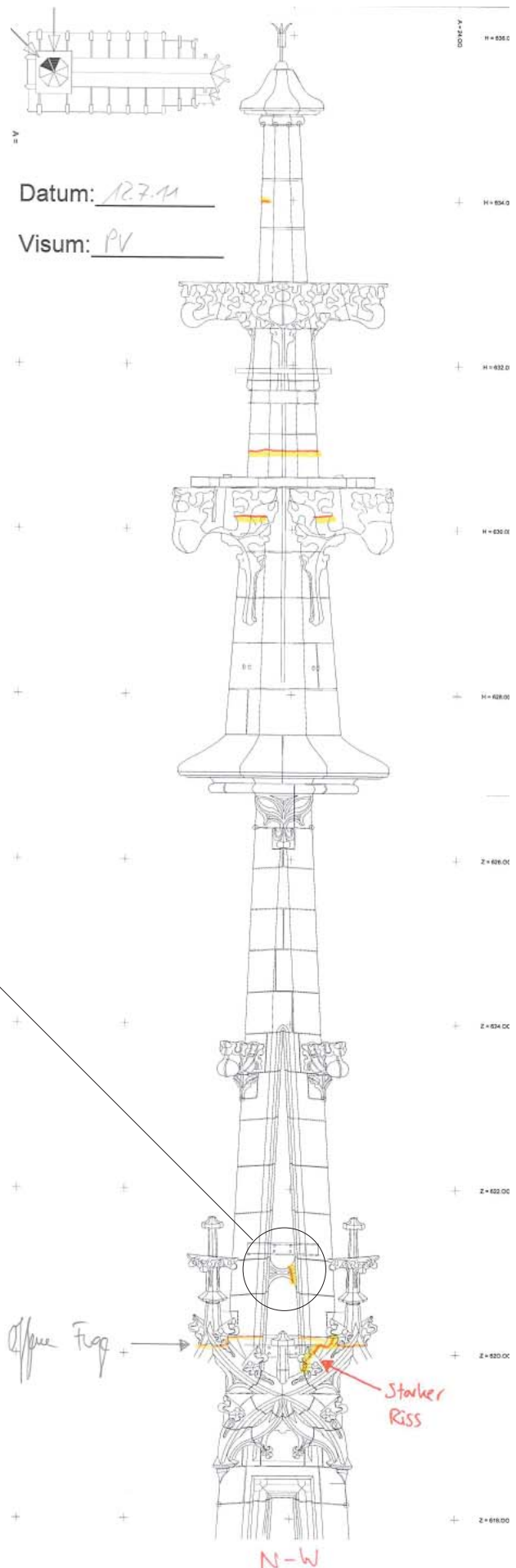
Der gesamte Turmhelm wurde nach den an den Versuchsflächen erarbeiteten Erkenntnissen bearbeitet. Ein grosser Teil des Innenbereiches wurde gefestigt. Das Wetter begünstigte auch diese Arbeiten. Während die nötigen Materialabtragungen noch 2011 vorgenommen wurden, werden die Vierungen aus Naturstein 2011/12 in Winterarbeit in der Werkstatt vorbereitet. Da die Vierungen in gewissen Bereichen einen Eingriff in die Statik des Turms bedeuten, werden diese Arbeiten durch unseren Bauingenieur begleitet.



Erdbebenschäden von 1946. Projekte zur Verbesserung der Statik von Helm und Helmspitze (primär gegenüber Windlasten und quasi als „Nebenprodukt“ für den Erdbebenfall) wurden 2011 durch die Münsterbauleitung zusammen mit den Bauingenieuren, dem Münsterbaukollegium und der Fachstelle Sicherheit intensiv vorangetrieben. Erste Massnahmen werden 2012 umgesetzt.

(o.) Einige Rissmarken von 1946 sind seither wieder gerissen. Hier ein Detail eines Masswerks im oberen Bereich des Turmhelms.

(l.) Kartierung der Risse im Helmbereich im Sommer 2011. Die an Ort erkennbaren und kartierten Schäden entsprechen exakt den im Ingenieurbüro theoretisch errechneten Schwachstellen der Turmhelmkonstruktion.



Reinigung, Fugensanierung, Festigung

Die Reinigung der Steinoberflächen erfolgte im Helmbereich mit dem Niederdruck-Sandstrahlverfahren. Die Fugen, welche einem grossen Verschleiss unterworfen sind, wurden zu grossen Teilen aufgefräst und neu geschlossen. Auch die provisorischen Verfüllungen von 2002 wurden im Hinblick auf bestmögliche Haltbarkeit mit Fugenmörtel neu geschlossen. Es darf festgestellt werden, dass die vor einem Jahrzehnt getroffenen Notmassnahmen wesentlich zum Schutz des Bauwerks beigetragen haben.

Überwinterung

Zu den Gründen, weshalb die Arbeiten hoch oben auf dem Gerüst so aufwändig sind, gehören nebst der Höhe über Boden und den entsprechenden Transportwegen und Unwägbarkeiten die Wettereinflüsse und die notwendige Winterpause. Für die Winterpause 2011/2012 wurde das Arbeitsmaterial vom Helmgerüst geräumt: Entfernt wurde mobiles, brennbares Material, abgebaut wurde auch die Stromversorgung. Die Wasserleitungen wurden entleert. Was blieb, wurde gegen den Wind gesichert.



(o.) Als Erstes wurde der gesamte Turmhelm mit Wasser von Algen und aufliegendem Schmutz befreit.

(m.) Der Grad der weiteren Reinigung wurde zusammen mit dem Münsterbaukollegium anhand von Musterflächen festgelegt. Ziel ist ein möglichst einheitliches Bild zwischen Zugsandstein- und Obernkirchenerbereichen.

(u.) Reinigung der Turmspitze mit dem Niederdruck-Sandstrahlverfahren.



Mit Brettverschalungen und Gittern wurde der Zugang gegen Neugierige und Fassadenkletterer abgesperrt.

Weil das Gerüst eine Erhöhung der Brandlast in einem sensiblen Bereich bewirkt und ein Brand hier oben katastrophale Folgen haben könnte, wurde beschlossen, über den Winter eine Videoüberwachung zu installieren. Ein zusätzliches System mit Lichtschranken war so ausgelegt, dass Eindringlinge (leider auch Vögel und starke Windböen...) den Verantwortlichen automatisch per SMS gemeldet wurden.

(o.) Schadenskartierung und Massnahmenplanung im Inneren des Turmhelms.

(u.) Die Arbeiten am Helm schritten dank den lange anhaltenden hohen Temperaturen bis in den Winter gut voran. Im Bild: Fugensanierung am Übergang Helm zu Turmspitze.

