Renovationen und Sanierung der Barfüsserkirche: Ingenieurarbeiten

Autor(en): **Jaggi, Alfred**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **97 (1979)**

Heft 36: **ASIC-Sonderheft 1979**

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85522

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Renovationen und Sanierung der Barfüsserkirche

Ingenieurarbeiten

Von Alfred Jaggi, Basel

In der Sitzung vom 14. Nov. 1974 genehmigte der Grosse Rat des Kantons Basel-Stadt einen Kredit von 9,9 Mio Franken zur sofortigen baulichen Sanierung der Barfüsserkirche und überwies den zweiten Teil des Ratschlages (Erweiterung des Historischen Museums) an eine Kommission. Der restliche Kredit ist kurze Zeit danach bewilligt worden.

Die Schäden an den Basen der Mittelschiff-Pfeiler hatten damals ein derart gefährliches Ausmass erreicht, dass die Baupolizei Basel-Stadt (sie heisst heute Bauinspektorat) sich veranlasst sah, die vorzeitige Schliessung des Historischen Museums auf den 1. Jan. 1975 zu verfügen. Noch im gleichen Jahr wurde mit den Bauarbeiten begonnen. Am 13. April 1977 war die Sanierung der Mittelschiff-Pfeiler abgeschlossen, und heute sind auch die übrigen Rohbauarbeiten in der Kirche abgeschlossen.

Bevor das Historische Museum wieder eröffnet werden kann, sind aber noch umfangreiche Ausbauarbeiten erforderlich. Aus diesem Grunde wird sich der vorliegende Artikel ausschliesslich mit den Untersuchungen über den baulichen Zustand der Barfüsserkirche und den durchgeführten Sanierungsarbeiten befassen. Dazu gehört vor allem der ungewöhnliche Bauvorgang bei der Unterfangung und Auswechslung der Mittelschiff-Pfeiler. Zum besseren Verständnis muss aber, nebst einer Beschreibung, ein Rückblick über die wichtigsten Ereignisse in der Vergangenheit der Barfüsserkirche vorausgeschickt werden.

Beschreibung – Historischer Rückblick

Die Barfüsserkirche zu Basel darf als ganz besonders schöner *Sakralbau des Franziskanerordens* bezeichnet werden. Von aussen wie von innen beeindruckt die himmelstrebende Höhe und die Weite des Bauwerks, das tatsächlich höher und länger als selbst das Münster ist.

Das Mittelschiff hat eine lichte Breite von 9,85 m, ist 19,5 m hoch und innen 51,6 m lang. Die Längswände ruhen auf je einer Reihe von sieben Rundpfeilern aus *Buntsandstein*, mit einem Durchmesser von rund 88 cm. Der Chor ist, bei gleicher Breite, höher als das Mittelschiff und hat eine Länge von rund 28,8 m. Wie im Grundriss (Bild 2) ersichtlich ist, waren die Seitenschiffe ursprünglich breiter als heute. Mittelschiff und Chor sind dagegen gleich geblieben. Das heutige Rippengewölbe ist indessen erst in den Jahren 1890 bis 1894 erstellt worden; ursprünglich bildete eine leicht gewölbte Holzdecke den provisorischen Abschluss des Chores.

Die Barfüsserkirche wurde vermutlich in den Jahren 1300 bis 1345 gebaut. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass sie eine kleinere Vorgängerin hatte. Diese dürfte anlässlich des Klosterbrandes im Jahre 1289 beschädigt oder gar zerstört worden sein. Möglicherweise war es aber auch der Wunsch nach einer grösseren Kirche, der den Neubau veranlasste. Im Jahre 1356 wurde Basel von einem schweren *Erdbeben* heimgesucht. Der Umfang der Schäden an der Barfüsserkirche ist nicht bekannt; man weiss nur, dass sie 1400 behoben waren. Nach der Reformation im Jahre 1523 diente das Schiff bis 1782 als Predigtraum und als Grabstätte. Bedeutende Basler wie der Bürgermeister *Johann Rudolf Wettstein* und der Mathematiker *Jacob Bernoulli* haben hier ihre letzte Ruhe gefunden.

Eine *erste Profanierung* erfolgte im Jahre 1529, als der Chor durch eine Holzwand abgeschrankt und zur Lagerung von *Fruchtvorräten* verwendet wurde. Die eigentliche Leidensgeschichte der Barfüsserkirche begann aber erst, als das helvetische Direktorium die *Lagerung von Kochsalz* im Kirchenschiff verfügte. Vergeblich hatten Fachleute des städtischen Bauamtes vor der verheerenden Wirkung des Salzes auf die hohen Sandsteinpfeiler gewarnt: die Barfüsserkirche wurde von 1799 bis 1815 als *Salzmagazin* benutzt. Nach der Räumung des Lagers wirkten jedoch die Salzrückstände unvermindert weiter.

Im Jahre 1843 wurde die Kirche – unter der Leitung des Architekten *Chr. Riggenbach* – in ein *Lagerhaus* der Kauf-

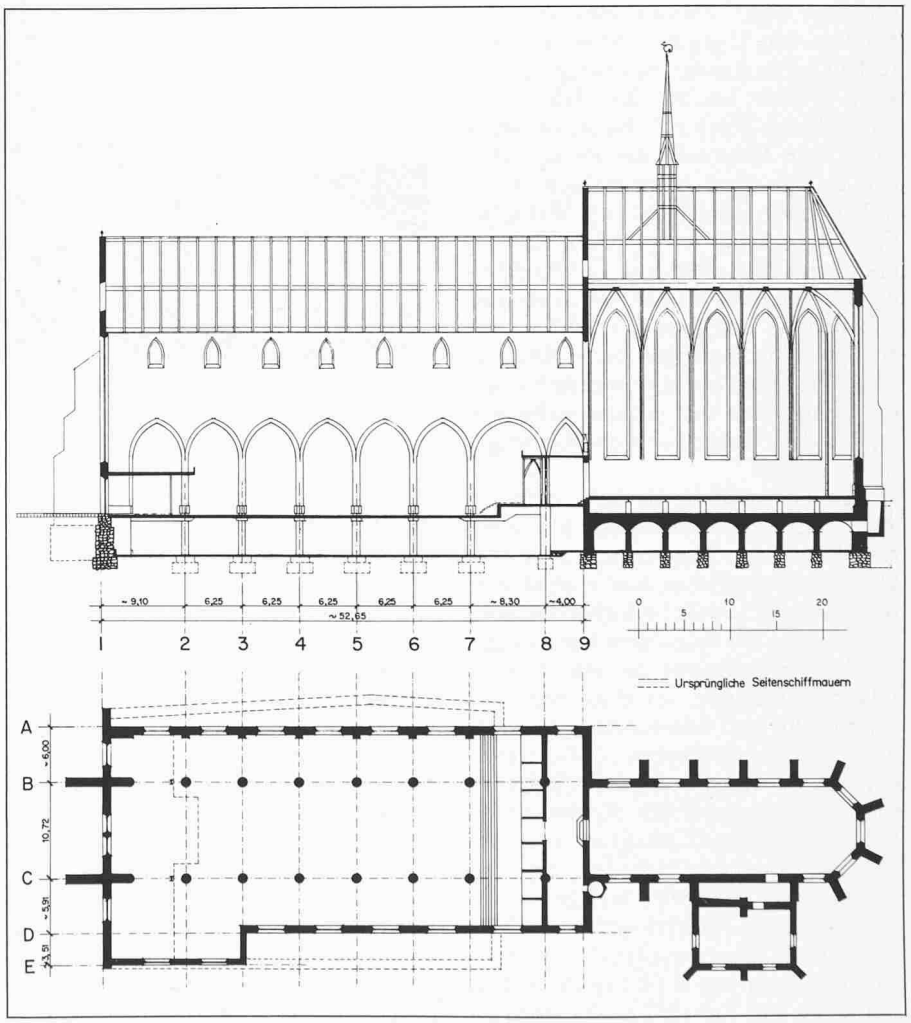


Bild 2. Längsschnitt und Grundriss des Erdgeschosses nach der Renovation. Die beschädigten Pfeiler sind durch genaue Kopien ersetzt worden. Material und Bauweise entsprechen der ursprünglichen Konstruktion. Vor dem Chor steht wieder eine rekonstruierter Lettner. Die verbreiterte Westfassade hat ihre ursprüngliche Gestalt zurückerhalten. Die stilfremden Emporen sind – bis auf eine Galerie zwischen den Achsen 1 und 2 – verschwunden. Das Untergeschoss unter dem Langhaus ist primär eine Sanierungsmassnahme (Beseitigung der Salzrückstände) und subsidiär ein Platzgewinn für das Museum. Der gewölbte Keller unter dem Chor stammt aus dem Jahre 1843

hausanstalt umgebaut. Zu diesem Zwecke wurde der Lettner abgebrochen. Unter dem Chor und vor dem Triumphbogen (zwischen Chor und Mittelschiff) entstand ein gewölbter Keller. Ferner erhielt die Südfassade Einfahrtstore. Gleichzeitig musste die Nordfassade einer Korrektion der Barfüssergasse weichen. Das ursprüngliche Seitenschiff wurde durch einen viel schmäleren Neubau ersetzt.

Es wäre ungerecht, dem damaligen Architekten Verständnislosigkeit für das Bauwerk vorzuwerfen. Ganz im Gegenteil, er hat vor Beginn der Bauarbeiten den ursprünglichen Zustand der Kirche in zahlreichen Massaufnahmen und Zeichnungen festgehalten. Diese Unterlagen haben die vor kurzem abgeschlossene Rekonstruktion des Lettners ganz wesentlich erleichtert.

In den Jahren 1869 und 1881 hätte die Barfüsserkirche wieder zu ihrer ursprünglichen Bestimmung zurückgeführt werden können; die katholische Gemeinde hatte sich um die Benützung der *Kirche* beworben. Leider wurde diesem Ersuchen nicht entsprochen. Dagegen wollte 1882 der damalige Regierungsrat das Bauwerk abbrechen lassen, um einer *Töchterschule* Platz zu machen. Mit 52 gegen 50 Stimmen lehnte der Grosse Rat diesen Antrag ab.

Eine Wende brachte das Jahr 1888, nämlich der Beschluss des Regierungsrates, dem Bundesrat die *Barfüsserkirche als Sitz des Schweizerischen Nationalmuseums* anzubieten. Im Wettstreit der Städte siegte zwar Zürich, es blieb aber beim Entscheid, die Barfüsserkirche zu einem *historischen Museum* auszubauen. In den Jahren 1890 bis 1894 erfolgte eine durchgreifende Renovation. Wie schon erwähnt, wurde bei dieser Gelegenheit der provisorische Abschluss des Chores durch ein Rippengewölbe ersetzt.

Im Kirchenschiff wurde das ursprüngliche Konzept des Bauwerks leider nicht respektiert. Als Gegenstück zum verkleinerten nördlichen Seitenschiff entstand auf der Südseite ein gleich schmaler Neubau. Die damaligen Sanierungsarbeiten hinterliessen *zu viele neogotische* Schöpfungen, als dass man von einer geglückten Restauration sprechen dürfte. Über die latente Gefahr fortschreitender Zerstörung der Sandsteinstrukturen machten sich die damaligen Baumeister keine Gedanken; die vom Salz verursachten Schäden an den Pfeilerbasen wurden lediglich mit gleichfarbigem Mörtel verdeckt. Niemand ahnte, dass der Betrieb der eingebauten Heizanlage während der kalten Jahreszeit die Zerstörung der porösen Pfeilerbasen durch die Salzrückstände ganz ergeblich beschleunigen würde.

Das neu erwachte Interesse an der Erhaltung der Barfüsserkirche verdankt man zweifellos der Errichtung eines historischen Museums. Diese neue Funktion verlangte aber auch ihren Tribut. Auf der ganzen Breite der Seitenschiffe wurden Emporen errichtet, unter denen geschlossene Ausstellungsräume untergebracht waren (Bild 1). Trotz dieser stilfremden Einbauten blieb die himmelstrebende Grösse des Kirchenraumes ein eindrucksvolles Erlebnis für jeden Museumsbesucher. Es kam oft vor, dass Touristen glaubten, eine Kirche zu betreten, und erstaunt waren, sich in einem Museum zu befinden. Diese Beobachtung zeigt, wie ein Unbeteiligter auf ein sakrales Baudenkmal aufmerksam und mit dessen profaner Benützung konfrontiert wird; sie illustriert die *Problematik jeder Zweckentfremdung* und weist auf einen immer noch aktuellen *Interessenkonflikt hin.*



Bild 1. Innenansicht der Barfüsserkirche vor der Renovation. Man beachte an der rechten Pfeilerreihe (Achse C) die Verfärbung infolge Salzeinwirkung

Abgesehen von einigen inneren Umgestaltungen sind in der Zeit von 1894 bis 1975 keine wesentlichen Änderungen an der Barfüsserkirche vorgenommen worden. Dagegen musste eine *zunehmende Zerstörung des Steingefüges an den Pfeilerbasen* festgestellt werden. An den ausgebesserten Stellen konnten die Mörtelaufträge dem Kristallisationsdruck des Salzes nicht widerstehen; sie lösten sich als Ganzes von ihrer Unterlage ab.

In den Jahren 1927, 1928 und 1935 untersuchte der damalige Direktor der Eidg. Materialprüfungsanstalt, Prof. Dr. *M. Roš*, die Schäden und empfahl, einen Luftraum um die Pfeilerfundamente zu schaffen. Damals dürften die Schäden noch nicht ein gefährliches Ausmass erreicht haben; der Experte wollte lediglich den Nachschub von salzhaltigem Porenwasser in den Pfeilerbasen unterbinden. Der Vorschlag ist offenbar nicht weiter verfolgt worden, denn 1939 trat eine Spezialfirma auf den Plan, die sich mit *elektrophysikalischer Mauertrockenlegung* befasste. Einzelne Pfeilerbasen wurden in diesem Sinne mit einem System von Kupferdrähten versehen. In den folgenden Jahren machte der Zerfall der



Bild 3a. Pfeiler B 7. Die «elektro-physikalische Mauertrockenlegung» hat die Zerstörung des Steingefüges nicht verhindern können (Aufnahme: Mai 1975)

Steinstruktur an diesen Pfeilern die gleichen Fortschritte wie an den nicht behandelten. Mit andern Worten, das Verfahren erwies sich als völlig unwirksam.

Es ist das Verdienst von Prof. Dr. *Hans Reinhardt*, damals Direktor des Historischen Museums, im Jahre 1964 eine Expertise durch *A. Schimpf*, Münsterarchitekt in Strassburg, veranlasst zu haben. Das Gutachten vom 14. Okt. 1964 zeugt von grosser Erfahrung und realistischem Denken. Der Experte kam zum Schluss, dass die schwer beschädigten untern Pfeilerschäfte und ihre Sockel ganz ausgewechselt werden müssen. In Zusammenarbeit mit dem *Laboratorium der Vereinigten Schweizer Rheinsalinen* hat er den Salzgehalt an vier Pfeilerbasen gemessen und empfahl, die Untersuchungen auch auf die *Fundamente* auszudehnen. Aus denkmalpflegerischen Gründen befürwortete er die *endgültige Beseitigung der Empore* und die *Wiederherstellung der Seitenschiffe* in ihrer ursprünglichen Breite.

Im Bericht von A. Schimpf werden *vor allem Bauingenieur-Probleme* angesprochen. Dies veranlasste das Hochbauamt Basel-Stadt, den Verfasser Anfang 1965 zu beauftragen, den baulichen Zustand der Barfüsserkirche zu untersuchen und Sanierungsvorschläge auszuarbeiten. Der technische Bericht vom 24. März 1966 führte schliesslich zum jetzigen wesentlich erweiterten Bauvorhaben.

Untersuchungen und Sanierungsprojekte des Jahres 1965

Ein erster Augenschein bestätigte die Feststellungen des Gutachtens. Eine fortschreitende Zerstörung des Steingefüges war an sämtlichen Pfeilerbasen des Mittelschiffes zu sehen. Vereinzelt mussten klaffende Risse in den darüberliegenden Pfeilertrommeln festgestellt werden (Bild 3). Die einzige Ausnahme bildeten die beiden östlichsten Pfeiler, weil sie auf der verbleibenden Rückwand des ehemaligen Lettners aufliegen und aus diesem Grunde nicht bis zum Kirchenboden hinabreichen.

Sämtliche Rundpfeiler bestehen aus Bundsandstein, dessen Elastizitätsmodul zwischen 4 000 und 12 000 MPa (40 000 und 120 000 kg/cm²) schwanken kann. Die statische Berechnung des Kirchenschiffes ergab Lasten bis 2,0 MN (200 to) je Pfeiler; die Schwerpunkt-Druckspannung erreicht somit 3,3 MPa (33kg/cm²). In Anbetracht der Höhe des Bauwerks und der niedrigen Werte des Elastizitätsmoduls muss die obige Beanspruchung als sehr hoch bezeichnet werden. Aufgrund von ähnlichen Überlegungen mussten die Schäden an den Pfeilerbasen als ernste Gefahr für die Stabilität des Kirchenschiffes betrachtet werden.

Mit den in Auftrag gegebenen chemischen Analysen, durchgeführt im Laboratorium der Vereinigten Schweizer Rheinsalinen, hatte Schimpf wertvolle Vorarbeit geleistet. Es mussten aber noch die *Fundamente* und der *Baugrund unter dem Kirchenboden* untersucht werden. Mit Rücksicht auf den Museumsbetrieb konnten Sondierungen im Innern der Kirche nur in beschränktem Umfang durchgeführt werden. Vor der neuen Südfassade, aber innerhalb des ursprünglichen Seitenschiffes, konnte dagegen ein Schacht bis zum gewachsenen Baugrund abgeteuft werden. Ferner lieferte das *Baugrundarchiv des Geologisch-Paläontologischen Instituts* der *Universität Basel* – damals unter Leitung von Dr. *L. Hauber* – wertvolle Anhaltspunkte über den Untergrund im Bereich der Kirche. So konnte festgestellt werden, dass die Barfüsserkirche auf einer fünf Meter hohen *Aufschüttung* errichtet worden war. Die Baumeister des Mittelalters haben aber – im Gegensatz zu denen des 19. Jahrhunderts – ihre Kirche konsequent auf dem gewachsenen Baugrund fundiert. Dieser besteht aus einer ca 1,50 m mächtigen Ablagerung von Rhein- und Birsigschotter auf einer Molasseunterlage. Durch die Schotterschicht fliesst ständig Grundwasser gegen die Birsig.

Das freigelegte Mauerwerk war durchweg in gutem Zustand und zeugt von meisterhafter Arbeit. Die südliche Arkade ruhte auf einem durchgehenden Fundament; die nördlichen Pfeiler standen dagegen auf Einzelfundamenten. Erst viel später, als der Aushub ausgeführt wurde, fanden die Archäologen die Erklärung für diesen merkwürdigen Unterschied. Die damaligen Baumeister konnten die Grundmauer der Nordfassade der früheren Kirche als Fundament der südlichen Pfeilerreihe benützen. Für die nördliche Arkade dagegen haben sie Einzelfundamente im damaligen Friedhof bis zum gewachsenen Boden ausgehoben.

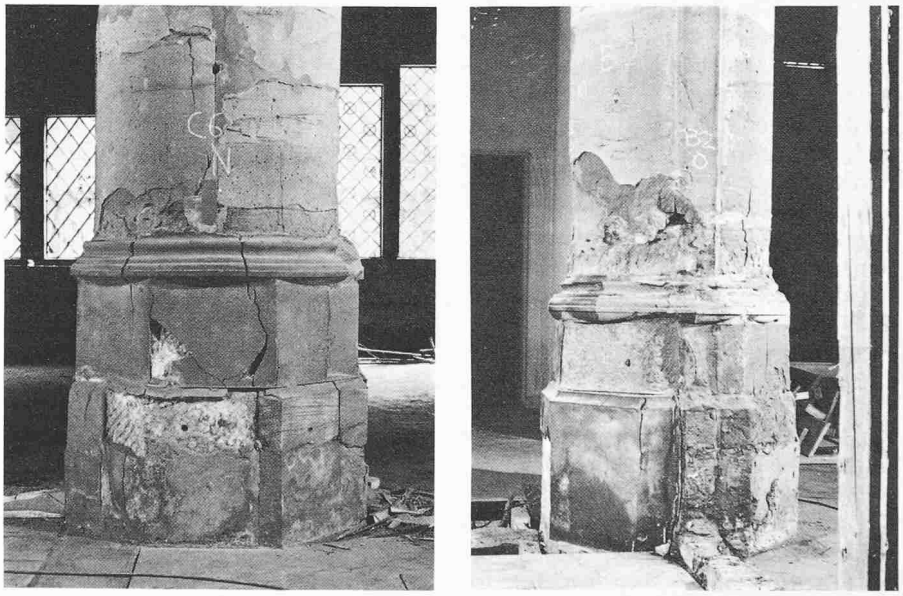


Bild 3. Zerstörungen an den Pfeilerbasen. Die wachsenden Salzkristalle sprengen das Korngefüge und erzeugen Spannungsrisse (Aufnahme: Mai 1975)

Beim Sondieren kam ein auffallend *feuchtes erdig-kiesiges Auffüllmaterial* zum Vorschein, das von ganz unterschiedlicher Beschaffenheit und Dichte war. Es enthielt vornehmlich Bauschutt – teilweise sogar Brandschutt –, der von organischen Bestandteilen durchsetzt war. Dass die Kirche als Grabstätte benutzt worden war, wusste man. Anlässlich des Aushubes kamen aber auch in den unteren Schichten der Aufschüttung zahlreiche *Gräber* zum Vorschein. Die Archäologen entdeckten ferner auch *Siedlungsspuren*, die älter als die frühere Barfüsserkirche waren. Sie stiessen auf Hohlräume, die verfaulte

Schwellbalken in den untersten Schichten der Aufschüttung zurückgelassen hatten. Alles in allem: das Füllmaterial war trotz des Alters immer noch recht locker.

Zusätzliche chemische Analysen des *Kantonschemikers Basel-Stadt* erlaubten, die *Salzkonzentration von unten nach oben* und von der Oberfläche ins Innere der Pfeiler zu verfolgen (Bild 5). Der hohe Salzgehalt in Bauteilen, die erst nach 1890 errichtet wurden, die somit nie mit dem gelagerten Salz in Berührung kamen, war ebenfalls sehr aufschlussreich. Im Mörtel der Heizkanäle fand man z. B. einen Salzgehalt von 24,2 Gewichtsprozente. Aufgrund dieser Fakten kann folgender Vorgang rekonstruiert werden:

In der Zeit von 1799 bis 1815 konnten – wahrscheinlich infolge der Luftfeuchtigkeit – grosse Mengen des gelagerten Salzes durch den undichten Boden ins Erdreich versickern. So kam es, dass selbst nachdem das Lager geräumt war, praktisch unerschöpfliche Rückstände *im Porenwasser der Aufschüttung* zurückblieben. Dank der Kapillarität konnte das salzhaltige Wasser in die Poren der Buntsandstein-Pfeiler emporsteigen. An der Oberfläche verdunstete das Wasser, so dass kein stationärer Zustand eintreten konnte. Die ständig nachströmende Sole bewirkte eine von innen nach aussen zunehmende Salzkonzentration, bis schliesslich die Sättigung erreicht war. Die wachsenden Salzkristalle sprengten schliesslich das Steingefüge von aussen nach innen. Die vertikalen Risse oberhalb der Salzausscheidungen dürften auf ein Quellen der darunterliegenden Quader zurückzuführen sein (Bild 3).

Hauptverantwortlich für die Schäden an den Pfeilerbasen sind somit nicht die direkten Einwirkungen des gelagerten Salzes, sondern die *Nachwirkungen der im Erdreich angesammelten Verluste*. Es steht ausser Frage, dass der *Heizbetrieb des Museums die Verdunstung des Porenwassers begünstigt und den Nachschub an Salzwasser aus dem Erdreich beschleunigt hat*. Die hohe Salzkonzentration im Heizkanal ist symptomatisch. Die festgestellten *Schäden* waren durchweg auf *mechanische Wirkungen des Kristalldruckes* zurückzuführen; chemische Nebenwirkungen konnten nirgends festgestellt werden.

Wie zu erwarten, waren die Salzkonzentrationen unter dem Kirchenboden durchweg sehr hoch. Trotzdem waren an den Pfeilerfundamenten nicht die geringsten Schäden feststellbar; die Erdfeuchtigkeit hatte sie vor der Salzkristallisation geschützt.

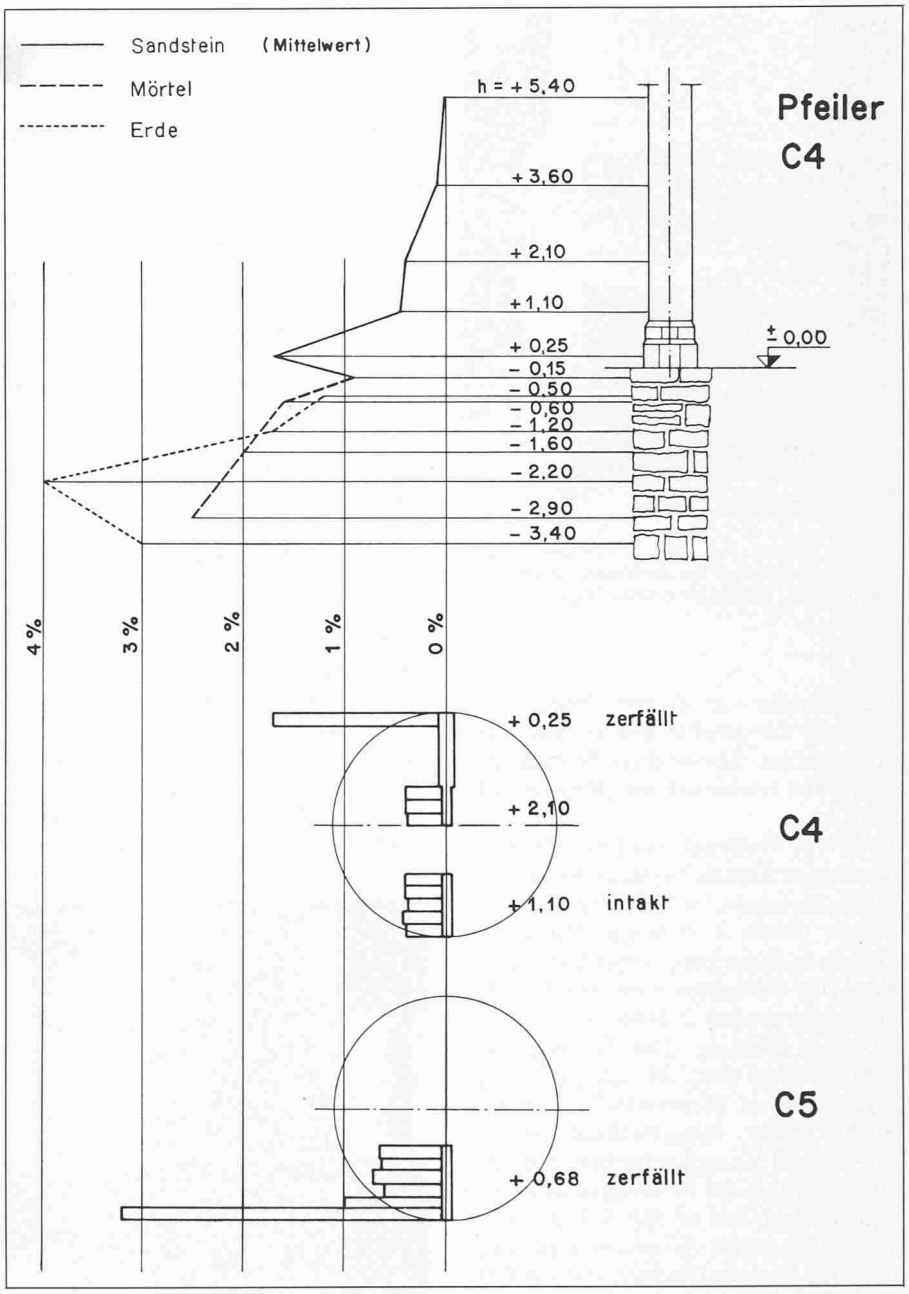


Bild 5. Salzgehalte in Gewichtsprozenten

Sanierungsvorschläge

Wegleitend für die Ausarbeitung von Sanierungsvorschlägen waren die Ursache *und* der Umfang der Schäden. Die Minimalforderung, die man an ein Sanierungsprojekt stellen musste, war ein *wirksamer Schutz gegen aufsteigendes salzhaltiges Porenwasser.* Ausserdem war der Zustand der Pfeilerbasen derart, dass nur noch ihr integraler Ersatz in Frage kam.

Ein erstes Projekt sah eine durchgehende Isolierung unter den Pfeilerbasen und unter dem Kirchenboden vor. Da man kaum daran denken durfte, die hässlichen Emporen wieder aufzubauen, hätte ein Raumverlust in Kauf genommen werden müssen.

Ein zweites Sanierungsprojekt sah den integralen Aushub der salzverseuchten Erde bis zum Grundwasser vor. Diese radikale Lösung hatte den Vorteil von Raumgewinn. Mit mässigen Mehrkosten konnte ein *geräumiges Untergeschoss unter dem Kirchenboden* geschaffen werden. Dieses zweite Sanierungsprojekt bildete die Grundlage für die heute in Ausführung begriffene Erwei-

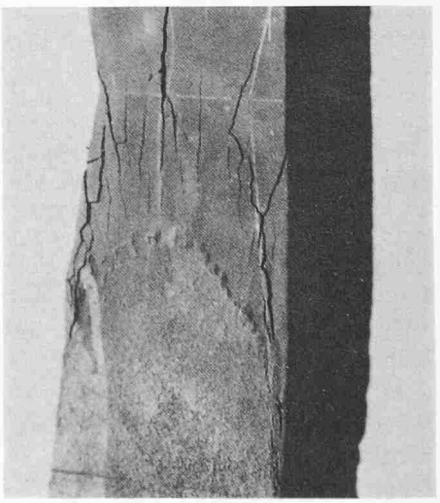


Bild 4. Versuche im Laboratorium der Schweizerischen Rheinsalinen in Schweizerhalle. Das abgebildete Buntsandstein-Prisma wurde am 19. 5. 1964 einen Zentimeter tief in eine Salzsole eingetaucht. Am 5. 1. 1965 konnten die ersten Risse oberhalb der Salzausscheidungen beobachtet werden. Das Bild ist am 29. 6. 1965 aufgenommen worden

terung des Historischen Museums.
Das *Kernproblem* der baulichen Sanierung der Barfüsserkirche war jedoch das *Auswechseln der Mittelschiffpfeiler*. Um die beschädigten oder salzverseuchten Teile ausbauen zu können, musste vorerst die ganze Last in der oberen, noch unversehrten Zone der Pfeiler abgefangen und auf eine Hilfskonstruktion übertragen werden. Anschliessend war es dann möglich, neue Pfeilerelemente einzubauen. Das zweite Sanierungsprojekt sah auch neue Fundamente und Untergeschoss-Stützen vor.
Unabhängig davon, ob ein Untergeschoss gebaut wird oder nicht, hätten zwölf Pfeiler nacheinander unterfangen werden müssen. Es musste deshalb ein Gerät entworfen werden, das mit wenig Arbeitsaufwand eingesetzt und von Pfeiler zu Pfeiler versetzt werden konnte. In Anbetracht der hohen Beanspruchung wäre jede vorübergehende Schwächung des tragenden Querschnittes gefährlich gewesen. Zudem durfte das Verfahren weder Schäden am verbleibenden Pfeilerteil noch Flickspuren zurücklassen.

Konzept des Pressringes

Die Suche nach einem Verfahren, das obige Randbedingungen befriedigen konnte, führte schliesslich zum Konzept des sogenannten *Pressringes*. Es handelt sich um einen *vierteiligen vorfabrizierten Eisenbeton-Ring*, dessen Innendurchmesser etwas grösser als der Pfeilerdurchmesser ist (siehe Bild 6). Die Fugen zwischen den einzelnen Ringelementen und zwischen Ringfuss und Pfeiler werden durch Gummistreifen gedichtet. Nun wird der Raum zwischen Pfeiler und Ring mit einem scharfkörnigen Sand ausgefüllt; mit Hilfe einer horizontalen Vorspannarmierung werden die vier Ringelemente zusammengespannt, so dass eine dreiaxige Druckspannung im Sand entsteht. Pfeiler, Sand und Pressring bilden nunmehr eine starre Einheit; damit ist die Voraussetzung erfüllt, um die Last von der Pfeilerperipherie über den vorgespannten Sand und dem Pressring auf eine Hilfskonstruktion umzuleiten. Zur Umlagerung der Kräfte genügt es, hydraulische Pressen zu verwenden. Sobald der untere Teil des Pfeilers entlastet ist, kann er bis zur Unterkante des Pressringes gefahrlos ausgebaut werden. Nach diesem Verfahren sind die Mittelschiffpfeiler der Barfüsserkirche in der Zeit vom 20. Jan. 1976 bis 12. April 1977 abgefangen und ausgewechselt worden.

Vorversuche an der EMPA

Während die Erdarbeiten im Gang waren, wurde die Sanierung der Mittelschiffpfeiler vorbereitet. Der Pressring war durch die Stahlton AG in Frick fa-

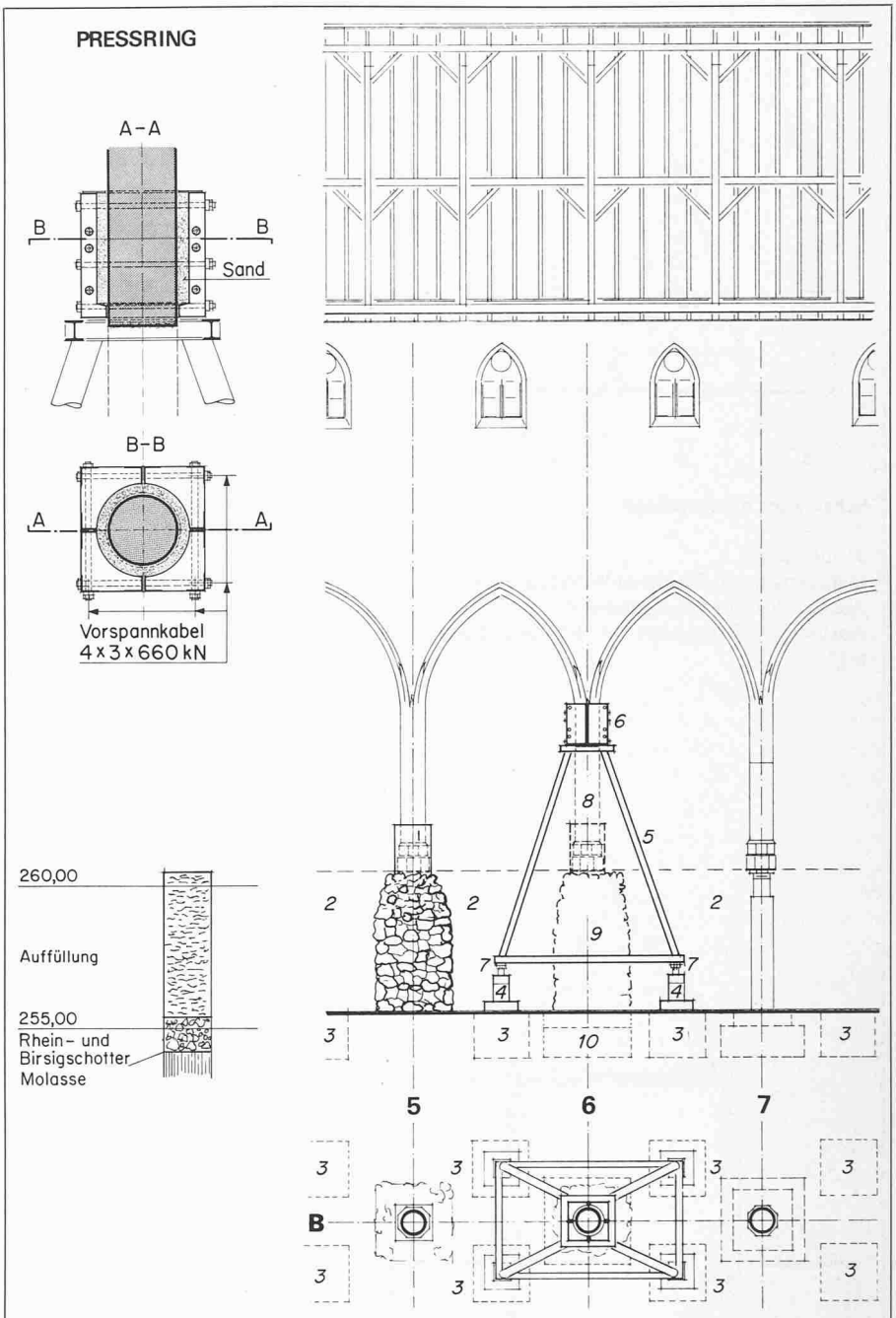


Bild 6. Abfangen und Auswechseln der Mittelschiff-Pfeiler. Arbeitsphasen am Beispiel des Pfeilers B 6.

Vorarbeiten:

Sicherung der gefährdeten Pfeilerbasen (1)
Aushub des Untergeschosses (2)
Aushub und Betonieren der Hilfsfundamente (3)

8.10.76 *Versetzen der Auflager (4) für die Stützkonstruktion*
Montage der Stützkonstruktion (5) und des Pressringes (6)
Sand einfüllen

11.10.76 *Vorspannen des Pressringes. Umlagern der Pfeilerlast auf die Stützkonstruktion. Gesamtdruck der hydraulischen Pressen (7) 1,9 MN. Teilweises Durchtrennen des Pfeilers unter dem Pressring*

12.10.76 *Nachspannen des Pressringes*

13.10.76 *Vollständiges Durchtrennen und Abbruch des Pfeilers (8)*

14.10.76 *Abbruch des bestehenden Fundamentes (9)*
Aushub und Betonieren des neuen Fundamentes (10)

15.10.76 *Wanne für die Fussplatte der Untergeschoss-Stütze betonieren*

18.10.76 *Aufbringen einer Grundwasserisolierung. Erstellen der Fussplatte*

19.10.76 *Erstellen der Untergeschoss-Stütze*

21.10.76 *Seitliche Montage des neuen Sandsteinpfeilers*

22.10.76 *Einfahren des neuen Pfeilers unter die Trennfuge*

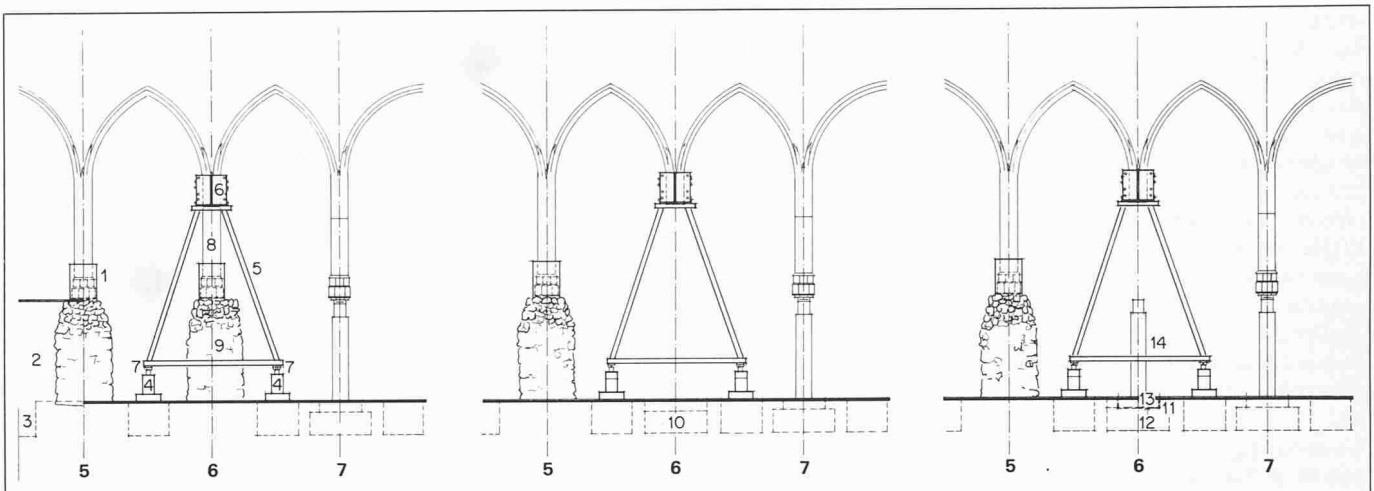
25.10.76 *Mörtel auftragen, Pfeiler anheben und Trennfuge schliessen, Flachpresse unter der Pfeilerbasis einbauen*

29.10.76 *Neuen Pfeiler mit Hilfe der Flachpresse belasten*

1.11.76 *Stützkonstruktion entlasten und Pressring entspannen*
Pressring und Stützkonstruktion ausbauen

2.11.76 *Umsetzen der Auflager. Montage der Stützkonstruktion und des Pessringes um den Pfeiler B 5. Sand einfüllen*

3.11.76 *Vorspannen des Pressringes*



Schema der Arbeitsphasen

Vorarbeiten
Sicherung der gefährdeten Pfeilerbasen (1)
Aushub des Untergeschosses (2)
Aushub und Betonieren der Hilfsfundamente (3)

8.10.76 Versetzen der Auflager (4) für die Stützkonstruktion. Montage der Stützkonstruktion (5) und des Pressringes (6). Sand einfüllen

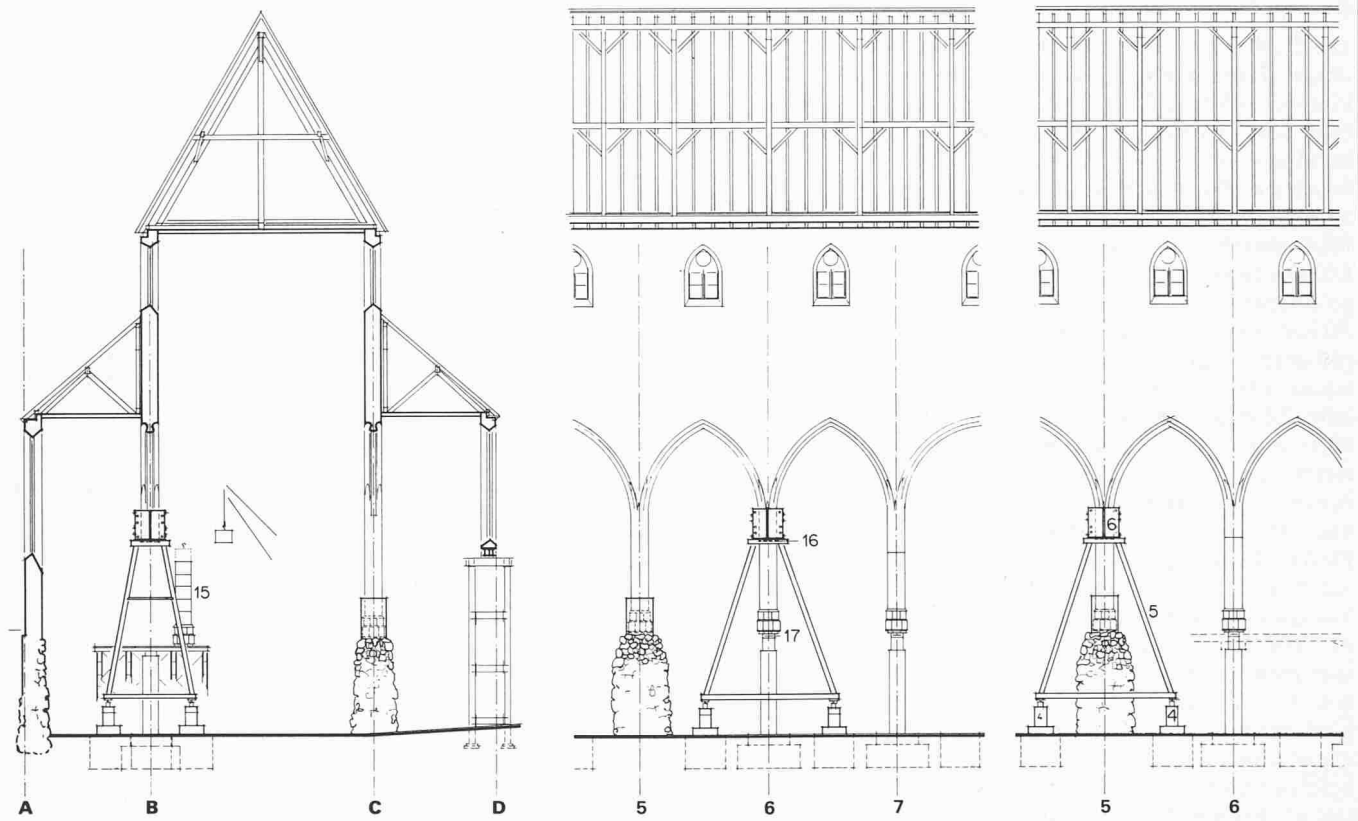
11.10.76 Vorspannen des Pressringes
Umlagern der Pfeilerlast auf die Stützkonstruktion. Gesamtdruck der hydraulischen Pressen (7): 1,9 MN (190 t). Teilweises Durchtrennen des Pfeilers unter dem Pressring

12.10.76 Nachspannen des Pressringes

13.10.76 Vollständiges Durchtrennen des Pfeilers

13.10.76 Abbruch des Pfeilers (8)

14.10.76 Abbruch der bestehenden Fundamente (9)
Aushub und Betonieren des neuen Fundamentes (10)



15.10.76 Wanne (11) betonieren

18.10.76 Aufbringen einer Grundwasserisolierung (12)
Erstellen der Basis (13)

19.10.76 Erstellen der neuen Untergeschoss-Stütze (14)

21.10.76 Seitliche Montage des neuen Sandsteinpfeilers (15)
22.10.76Einfahren des neuen Pfeilers unter die Trennfuge

25.10.76 Mörtelfuge (16) zwischen bestehendem und neuem Pfeiler. Flachpresse (17) einbauen

29.10.76 Neuer Pfeiler mit Hilfe der Flachpresse (17) belasten

1.11.76 Pressring entlasten und entspannen
Pressring und Stützenkonstruktion ausbauen

2.11.76 Umsetzen der Auflager (4)
Montage der Stützenkonstruktion (5) und des Pressringes (6) um den Pfeiler B5
Sand einfüllen

3.11.76 Vorspannen des Pressringes

briziert worden. Die Berechnung des Spannungszustandes im Sand ist verhältnismässig einfach; es ist auch nicht schwierig, die Grenze der Tragfähigkeit zu ermitteln. Dennoch wäre es unverantwortlich gewesen, ein noch nie erprobtes Verfahren ohne Vorversuche anzuwenden. Aus diesem Grunde wurde der Pressring in der Zeit vom 5. Nov. 1975 bis 12. Jan. 1976 in der EMPA in Dübendorf an einem kurzen *Versuchspfeiler ausprobiert* (siehe EMPA-Untersuchungsbericht No 34 778 vom 11. Juli 77).

Vorerst wurde in einem *Kurzzeitversuch* die Belastung des Pressringes bis zu 5,0 MN gesteigert. Damit war eine Tragfähigkeit nachgewiesen, die mindestens zweieinhalb Mal grösser als die normale Beanspruchung ist.

Weit aufschlussreicher war jedoch der nachfolgende *Langzeitversuch*, weil damit das Verhalten des Pressringes während der voraussichtlichen Dauer eines Einsatzes überprüft werden konnte. Bei einer konstanten Belastung von 2,2 MN wurden während 31 Tagen die Relativverschiebungen zwischen Pressring und Rundpfeiler und die Kraftabnahme in den Spannkabeln gemessen. Die Erstbelastung verursachte einen Schlupf von 1,6 mm, der innert der nachfolgenden 31 Tage nur noch um 0,5 mm zunahm. Die Spannkraft der 660 kN Kabel nahm in dieser Zeit durchschnittlich um 71 kN ab.

Abschliessend wurde die *Abfangvorrichtung* bei plötzlicher Belastung getestet. Der mit 1,33 MN durchgeführte Schnellversuch ergab eine Verschiebung von 0,45 mm. Diese ging nach der Entlastung auf 0,05 mm zurück.

Zusammenfassend darf behauptet werden, dass die durchgeführten Grossversuche die theoretisch vorausgesagte Tragfähigkeit des Pressringes bestätigt haben. Sie haben aber auch bewiesen, dass eine dauerhafte, quasi starre Verbindung mit dem Pfeiler entsteht. Der Spannungsverlust in den Kabeln ist – in Anbetracht der kurzen Spannstrecke – auffallend klein. Ein Nachspannen im Verlaufe des Einsatzes musste somit nicht mehr erwogen werden.

Sanierung

Die Notwendigkeit einer umfassenden Sanierung der Barfüsserkirche war für die Denkmalpflege eine Gelegenheit, den *ursprünglichen Zustand der Kirche so weit als möglich wieder herzustellen.* Für die Museumsdirektion war es ein Anlass, Wünsche anzumelden, die weiter gingen als der Raumgewinn, den ein Untergeschoss unter dem Kirchenboden bringen konnte. Die Sanierung der Barfüsserkirche war deshalb *nicht nur mit Problemen der Denkmalpflege, sondern auch mit solchen der Museumsgestaltung* verknüpft. Im Innern der Kir-

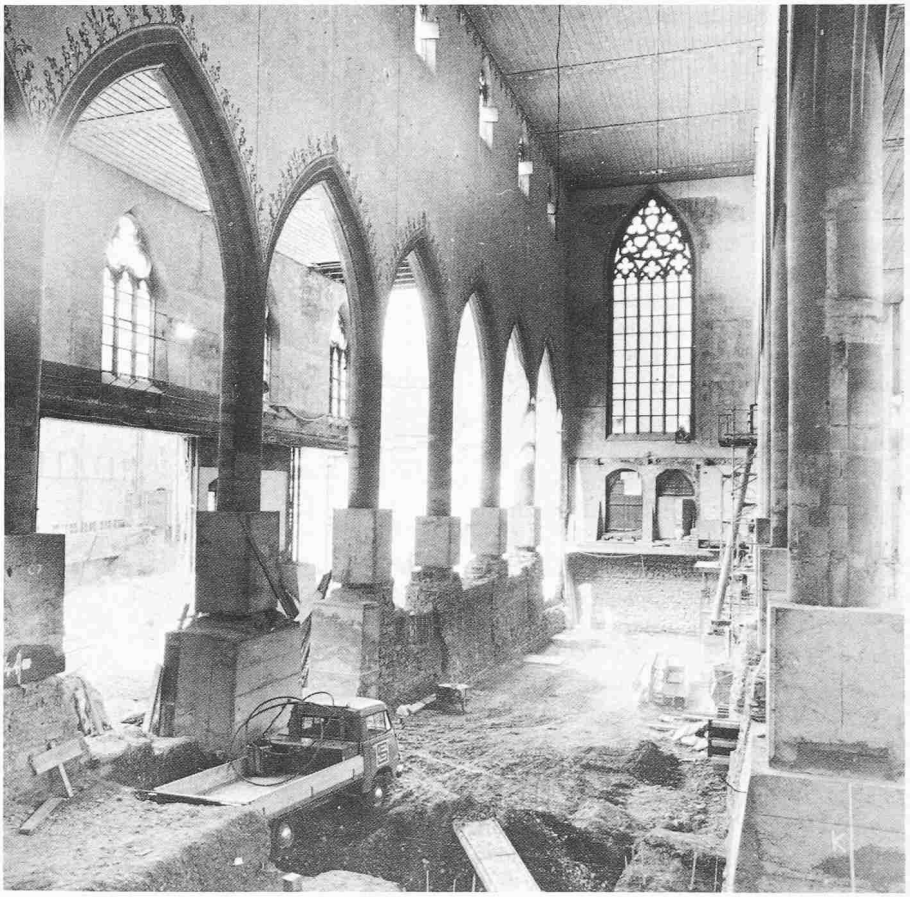


Bild 7. Das Untergeschoss ist ausgehoben. Links sieht man die freigelegte Grundmauer der Nordfassade der ersten Barfüsserkirche. Die Baumeister der zweiten Kirche haben sie als Fundament für die südliche Pfeilerreihe (Achse C) benützt (Aufnahme: 30.4.76)

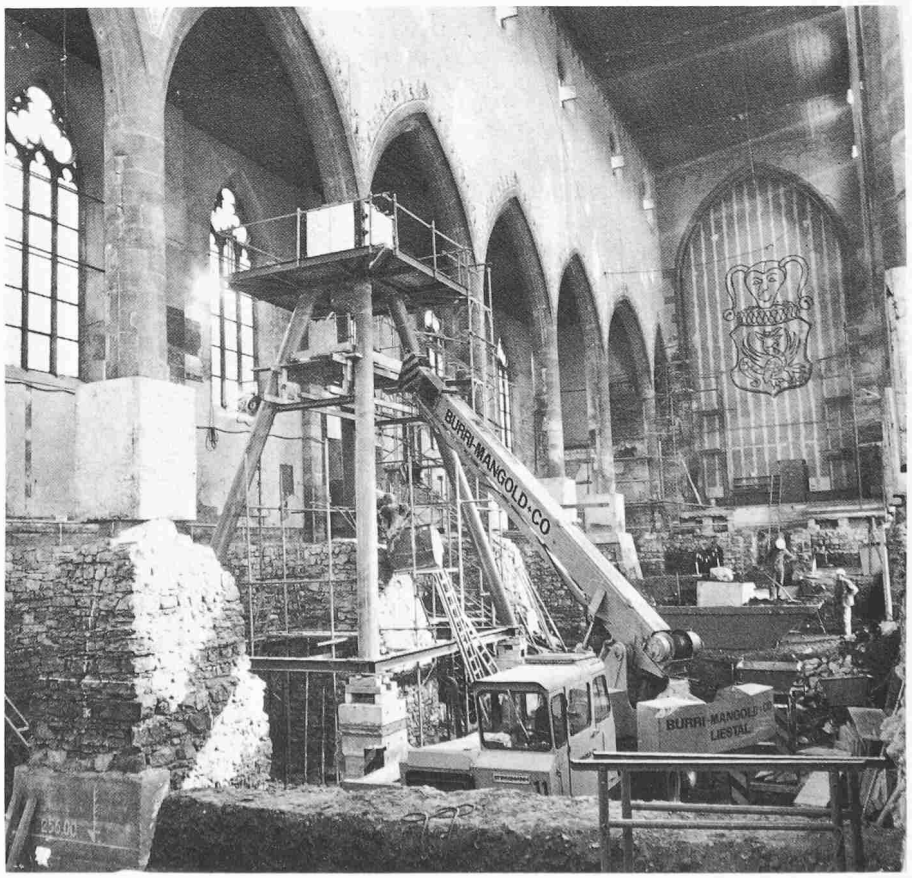


Bild 8. Pfeiler B 4 ist unterfangen und bis auf das Fundament abgetragen. Im Gegensatz zu den Pfeilern der Achse C ruhten diejenigen der Achse B auf massiven Einzelfundamenten. Im Hintergrund erkennt man die provisorische Schutzwand zwischen Chor und Mittelschiff (Aufnahme 29.1.76)

che ist der Lettner rekonstruiert worden. Im Zuge einer umfassenden Aussenrenovation hat auch die Westfassade ihre ursprüngliche Gestalt zurückerhalten. Die Erweiterungsbauten des Museums ausserhalb der Kirche sind ebenfalls im Rohbau beendet. Berichten aus berufener Feder über die angedeuteten Probleme soll nicht vorgegriffen werden; die nachfolgenden Ausführungen werden sich ausschliesslich mit dem *Abfangen und Auswechseln der Mittelschiff-Pfeiler* und mit dem *Bau des Untergeschosses* befassen.

Räumung des Museums

Die Schliessung des Museums am 1. Jan. 1975 war das Signal zu einem sofortigen Baubeginn. Vorerst musste aber die Kirche geräumt werden. Ein grosser Teil des kostbaren Museumsgutes konnte im Chor untergebracht werden. Als nächste Massnahme wurden die beschädigten Pfeilerbasen gesichert, damit die nachfolgenden Bauarbeiten ohne Gefahr durchgeführt werden konnten. Zu diesem Zwecke wurden sie mit einem armierten Betonmantel versehen. Diese provisorische Verstärkung war die Voraussetzung, um mit dem Abbruch der Empore und dem Aushub des Untergeschosses beginnen zu können. Das alte Füllmaterial wurde bis zum gewachsenen Baugrund abgetragen. Schwierigkeiten gab es nur im Bereiche der in den Jahren 1890 bis 1894 gebauten Südfassade; sie war damals sehr schlecht fundiert worden.

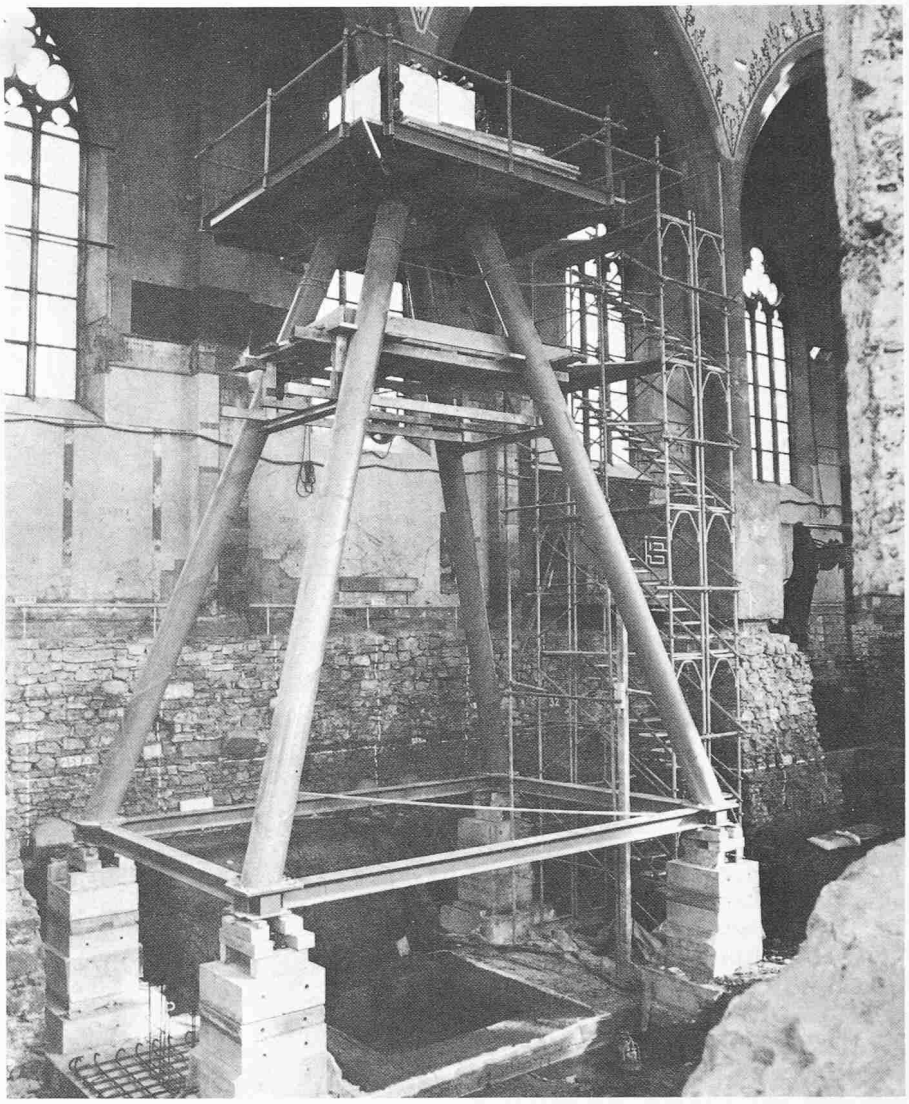


Bild 9. Pfeiler B 4. Abbruch- und Aushubarbeiten sind beendet. Das neue Fundament und die Wanne für den Stützenfuss sind betoniert. Die Grundwasserisolation ist bereits aufgetragen. Neben der Wanne ist die Armierung für den Stützenfuss sichtbar (Photo B. Jaggi. Aufnahme 7.2.76)

Ersatzmaterial für Pfeiler

Die Untersuchungen an der EMPA wurden auch auf das Ersatzmaterial für die Pfeiler ausgedehnt. Die mechanischen Eigenschaften des Buntsandsteines varieren je nach Herkunft sehr stark. Die Wahl fiel schliesslich auf ein Material aus einem *Steinbruch im Maintal* in der Gegend von *Würzburg*, weil dessen Elastizitätsmodul mit 11 500 MPa für Sandstein relativ hoch ist.

Hilfs- und Stützkonstruktionen

Das nächste Problem war die Hilfskonstruktion zur Aufnahme der Pfeilerlasten. Aus Gründen der Sicherheit musste ein möglichst stabiles und einwandfrei fundiertes Tragwerk angestrebt werden. Zu diesem Zwecke wurden 28 Hilfsfundamente *bis auf die Molasse* ausgehoben und bis zur Unterkante des zukünftigen Untergeschossbodens betoniert. Mit Rücksicht auf den Grundwasserstrom wurde *Sickerbeton* verwendet. Sie wurden je 2,00 m beidseits der Arkadenaxen jeweils in Feldmitte angeordnet. So war jeder der zwölf Pfeiler von vier Hilfsfundamenten umgeben, auf denen bewegliche Betonsockel als Auflager der eigentlichen Stütz-

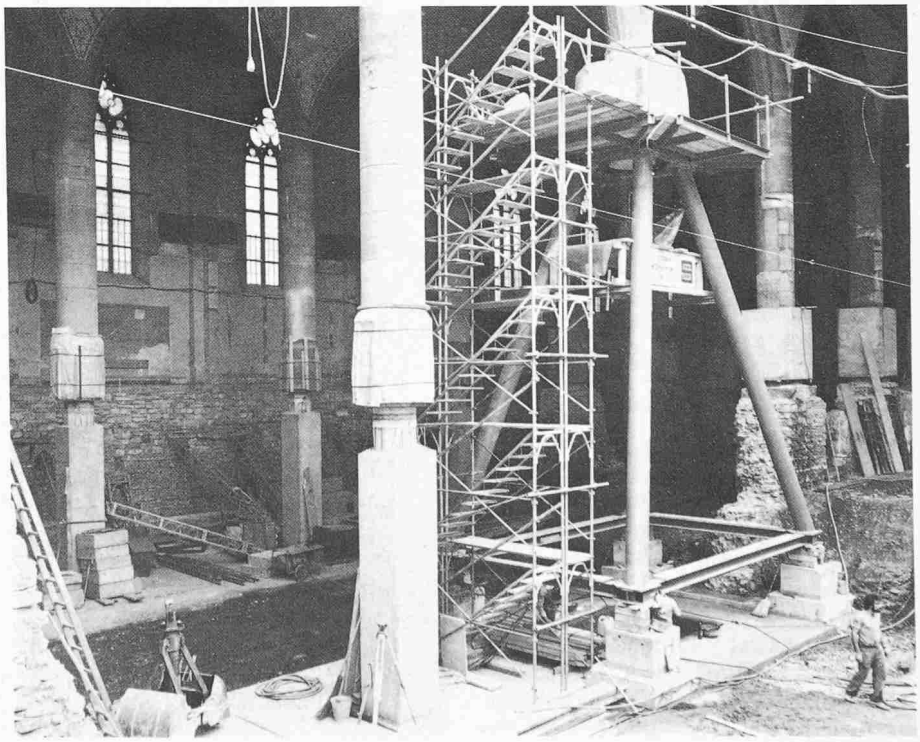


Bild 10. Pfeiler C 4. Gleiche Bauphase wie Bild 9. Im Vordergrund und im Hintergrund links sind die bereits sanierten Pfeiler C 3 bzw. B 3 und B 4 sichtbar. Im Hintergrund rechts erkennt man die gesicherten, aber noch nicht sanierten Pfeiler C 5 und C 6 (Aufnahme: 2.7.76)

konstruktion aufgesetzt wurden. Diese bestanden aus je vier vorfabrizierten Verteilplatten und beliebig kombinierbaren Betonblöcken von 15, 30 und 60 cm Höhe. Zwischenstufen konnten mit Unterlagsplatten und mit der Hubhöhe der hydraulischen Pressen eingestellt werden.

Die eigentliche Stützkonstruktion bestand aus einem unteren rechteckigen und einem oberen quadratischen Stahlrahmen. Die Seitenlängen waren 4,00×6,25 m bzw. 1,64×1,64 m. Die Rahmenecken waren durch Rohrstreben ∅ 335.6/7,1 mm verbunden; das Ganze hatte die Form eines *Pyramidenstumpfes von 7,665 m Gesamthöhe.* Der obere Rahmen diente als Auflager des Pressringes. Sobald dieser vorgespannt war, wurde die ganze Stützkonstruktion durch vier hydraulische Pressen unter dem untern Rahmen angehoben, bis die ganze Pfeilerlast auf die Hilfsfundamente umgeleitet war. Der so entlastete Pfeiler konnte dann unter dem Pressring durchgetrennt und abgetragen werden.

Wie schon erwähnt, war das vorzügliche Mauerwerk der alten Fundamente noch in einwandfreiem Zustand. Die latente Gefahr der Salzrückstände und der Platzverlust waren die Gründe, warum sie ebenfalls abgebrochen wurden. An ihrer Stelle wurden *neue Fundamente bis auf die Molasse* ausgehoben und betoniert. Unter dem zukünftigen Untergeschoss-Boden wurde jeweils ein Trog für die Fussplatte der Untergeschossstütze ausgespart und mit einer *Grundwasser-Isolierung* ausgekleidet, die unter dem Untergeschoss-Boden weitergeführt wurde.

Sobald die Untergeschoss-Stütze betoniert war, wurde der neue Buntsandstein-Pfeiler seitlich zusammengebaut, auf einem Rollschemel unter die Trennfuge eingefahren und bis zum Kontakt mit der Trennfuge angehoben.

Die *Verbindungsfuge* zwischen dem alten und dem neuen Pfeilerteil war immer nur 5 bis höchstens 10 mm stark; unter diesen Umständen spielt die Druckfestigkeit des Mörtels eine ganz untergeordnete Rolle. Um so wichtiger war eine gute Bearbeitbarkeit und eine angemessene Plastizität im Zeitpunkt der Belastung. Aus diesen Gründen wurde *Kalkmörtel mit einem geringen Zementzusatz* benutzt. Die Fugen wurden schon nach vier bis fünf Tagen belastet, nicht ohne vorerst die Druckfestigkeit an Hand von Probeprismen überprüft zu haben.

Im Zwischenraum zwischen Stützenkopf im Untergeschoss und Pfeilerbasis im Erdgeschoss wurde jeweils eine *Flachpresse* eingeschoben, mit welcher der Druck zur Übernahme der Pfeilerlast erzeugt wurde. Nach Erhärten des Füllmörtels (ca. 48 Std.) konnte der Pressring entlastet und entspannt werden. Für den Ausbau der ganzen Ein-

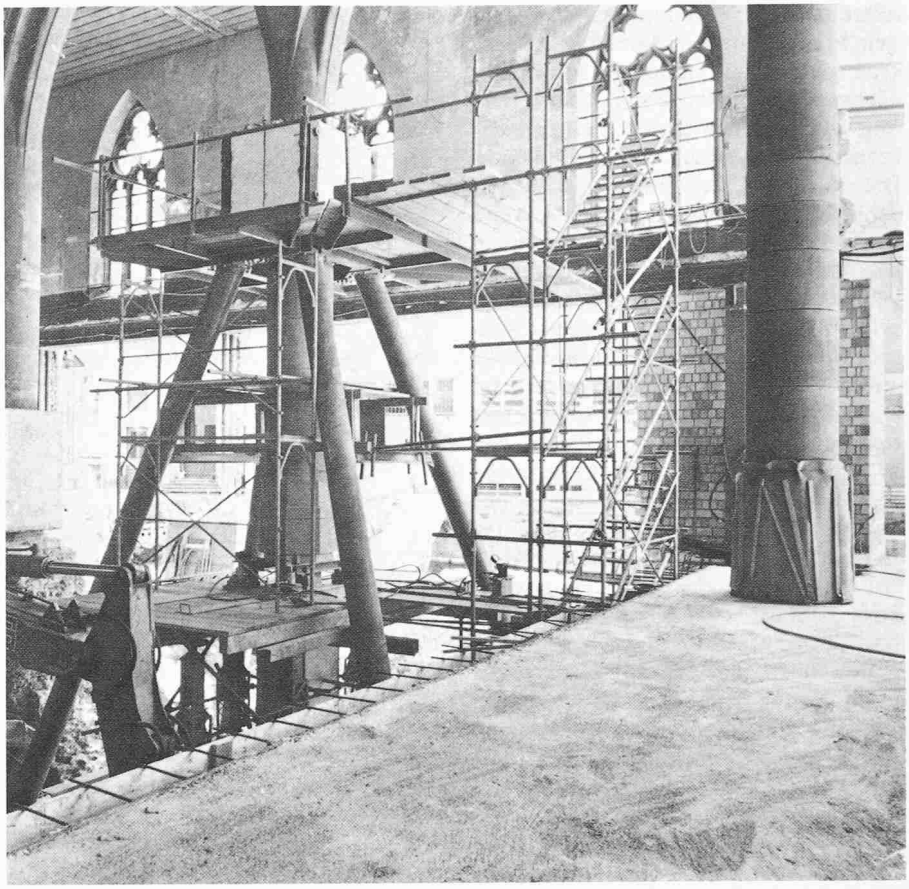


Bild 11. Pfeiler C 4. Der neue Pfeiler ist eingebaut worden. Er muss noch mit Hilfe der Flachpresse unter Druck gesetzt werden. In der Zwischenzeit ist die erste Etappe der Decke über Untergeschoss betoniert worden (Aufnahme: 28.8.76)



Bild 12. Pfeiler C 7. Der neue Buntsandstein-Pfeiler ist seitlich mit Hilfe eines Pneukranes zusammengebaut worden; nun wird er unter die Trennfuge eingefahren. Eine Schulklasse schaut interessiert zu (Aufnahme: 16.12.76)

richtung und Wiederaufbau am nächsten Pfeiler wurde jedesmal ein Pneukran eingesetzt. Spätestens am übernächsten Arbeitstag konnte der Pressring an der neuen Einsatzstelle wieder vorgespannt werden.

Das Verhalten des Pressringes wurde bei jedem Einsatz in der gleichen Weise wie beim Langzeitversuch überwacht. Die Relativverschiebungen waren nur selten und unwesentlich grösser als beim Versuch. Dagegen konnten *grössere Spannungsverluste in den Kabeln,* infolge der Erschütterungen beim Durchtrennen der Pfeiler, beobachtet werden. Um diesem Nachteil entgegen zu wirken, wurde der Pressring nochmals nachgespannt, bevor der Pfeiler ganz durchgetrennt war. So konnte der Spannungsverlust auf weniger als 9 Prozent vermindert werden.

Beim *Vermessen* der Kirche vor Baubeginn war aufgefallen, dass sämtliche Mittelschiffpfeiler um etwa ein Prozent gegen Westen vom Lot abwichen. Überraschend war aber auch die Tatsache, dass die äussern westlichen Strebepfeiler ohne Verband an die Westfassade angemauert waren. Als die Mittelschiffpfeiler durchgetrennt wurden, konnte man jedesmal eine ruckartige seitliche Verschiebung des untern freigespitzten Schaftes beobachten. Obwohl Ausmass und Richtung unregelmässig waren, konnte eine vorherrschende Bewegung nach Osten festgestellt werden; sie erreichte einmal sogar 17 mm.

Offenbar sind die Pfeiler beim Durchtrennen von Zwängungsspannungen befreit worden. Diese sind zweifellos in der Zeit zwischen der Vollendung des Bauwerkes und der nachträglichen Verstärkung der westlichen Strebepfeiler entstanden. Der *einseitige Gewölbeschub auf die schlanke Pfeilerwand im Innern der Kirche* dürfte eine allgemeine Verformung der Arkaden in westlicher Richtung ausgelöst haben. Die Baumeister des Mittelalters haben offenbar diese Bewegung rechtzeitig bemerkt und durch massive Strebepfeiler vor der Westfassade aufgehalten.

Am 3. Aug. 1976 waren die sechs westlichen Pfeiler unterfangen und ausgewechselt. Anschliessend wurde die erste Etappe der Decke über Untergeschoss betoniert. Es handelt sich um eine 35 cm starke und 10,72 m weit gespannte Flachdecke; sie ist auf dem Rand der Untergeschoss-Stützen und auf den Aussenwänden aufgelagert. Ein Jahr später war das ganze Untergeschoss überdeckt. Die Rohbauarbeiten im Innern der Kirche wurden im Jahre 1978 mit der Rekonstruktion des Lettners abgeschlossen.

Die Barfüsserkirche ist nicht die einzige Kirche in Basel, die als Salzlager missbraucht worden wäre. Die etwas ältere *Predigerkirche* wurde auf diese Art beschädigt, nur dass die Zerstörungen nicht das gleiche Ausmass erreichten. Dort begnügte man sich damit, das Salz wenigstens teilweise mit destilliertem Wasser aus den Pfeilern herauszulösen. An den beschädigten Stellen wurde das ursprüngliche Profil mit einem kunststoffhaltigen Mörtelauftrag wieder hergestellt. An zwei Pfeilern war jedoch der Querschnitt derart geschwächt, dass nachträglich die konsequente Auswechslung der Basis beschlossen wurde. Da der Pfeilerdurchmesser nur 4 cm kleiner war, konnte der Pressring der Barfüsserkirche und sogar Teile der Stützkonstruktion benützt werden. Die Unterfangung und Auswechslung dieser beiden Pfeiler dauerte vom 24. Jan. bis zum 6. März 1978.

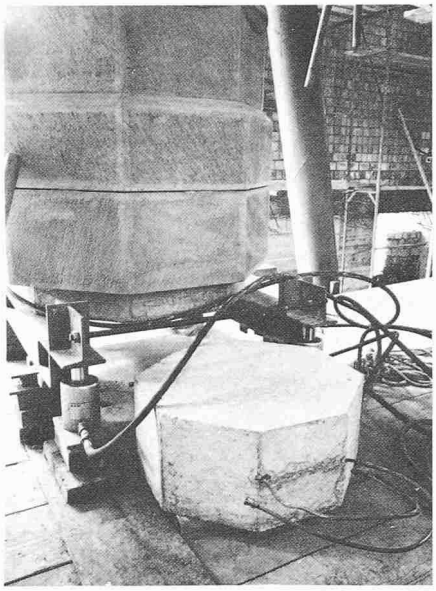


Bild 13. Pfeiler C 5. Der Mörtel für die Verbindung des neuen Pfeilers mit der bestehenden Konstruktion ist aufgetragen worden, solange die Trennfuge noch zugänglich war. Anschliessend ist der neue Pfeiler angehoben worden, um die Fuge zu schliessen. Die Flachpresse ist bereit, um zwischen Stützenkopf und Pfeilerbasis eingeschoben zu werden (Aufnahme: 5.4.77)

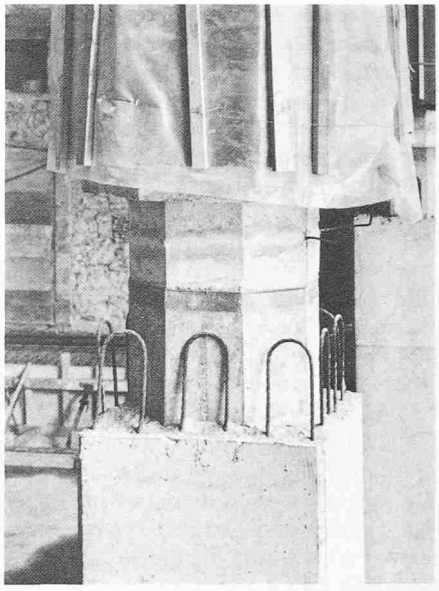


Bild 14. Pfeiler C 5. Die Flachpresse ist eingebaut und aufgepresst worden. Dabei hat sich die Brechfuge um 20 mm geöffnet; sie ist mit Zementmörtel ausgestopft worden. Der Pressring und die Stützkonstruktion sind bereits ausgebaut; die Sanierung der Mittelschiff-Pfeiler ist beendet (Aufnahme: 13.4.77)

Literatur

C. H. Baer: «Die Kunstdenkmäler der Schweiz. Kanton Basel-Stadt.» Band III

Basler Zeitschrift für Geschichte und Altertumskunde. Jahresberichte 1976 und 1977.

Beteiligte Ämter und Firmen

Bauherr:
Kanton Basel-Stadt. Baudepartement, Hochbauamt

Historische und archäologische Forschungen und Informationen
Öffentliche Basler Denkmalpflege und Archäologische Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt

Neukonzeption des Museums
Direktion des Historischen Museums Basel

Architekten
Florian Vischer + Georges Weber, Architekten BSA/SIA, Basel

Ingenieurarbeiten
Alfred Jaggi, dipl. Ingenieur ETH ASIC/SIA, Basel

Örtliche Bauleitung
Hochbauamt Basel-Stadt

Grossversuche, Materialuntersuchungen und Spannungsmessungen
Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe, Dübendorf

Prüfung der Mörtel-Probeprismen
BBL Baulaboratorium AG, Muttenz

Vermessen und Absteckungen
Vermessungsbüro Carlo Arrigoni, Riehen

Baumeisterarbeiten
Bauunternehmung Franz Stocker, Basel

Liefern der Stützkonstruktion
Preiswerk + Esser, Basel

Montage, Demontage und Versetzen der Stützkonstruktion, Einsatz und Bedienen der hydraulischen Pressen
Bauunternehmung Franz Stocker, Basel

Neue Pfeilerschäfte
Paul Holinger, Liestal. (Zusammenbau gemeinsam mit Franz Stocker)

Pressringe und Vorspannarbeiten
Stahlton AG, Zürich

Flachpressen
Spannbeton AG, Lyssach.

Zimmerarbeiten und Holzbau
W. Baumann & Co AG, Basel

Die Photos wurden verdankenswerterweise vom Historischen Museum Basel zur Verfügung gestellt (Photographen: *M. Babey* und *A. Weder*)

Adresse des Verfassers: *A. Jaggi,* dipl. Ing. ETH, ASIC/SIA Sonnenweg 8, 4052 Basel.