Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 84 (1966)
Heft: 22: 57. Generalversammlung der GEP: St. Gallen 10. bis 12. Juni 1966

Artikel: Dauermessungen und statische Sicherungsarbeiten an der Kathedrale St. Gallen
Autor: Schubiger, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-68925

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Dauermessungen und statische Sicherungsarbeiten an der Kathedrale St. Gallen

Von **E. Schubiger**, dipl. Ing., Zürich (Statik), und **E. Grünenfelder**, dipl. Ing., St. Gallen (Konstruktion)

DK 726.6.004.67:624.012.47

Einflüsse von Klima, Temperatur, Wasser, Frost, Abnützung, Bodenbewegung, Erschütterung, Ermüdung und Kriechen unter statischer Dauerlast bilden den Gegenstand neuerer Forschungen über das Verhalten von Bauwerken. Langzeitmessungen geben Aufschluss über die Abhängigkeit der Verformungen von obigen Wirkungen. Bei der Kathedrale St. Gallen wurden Bewegungen von aussergewöhnlichem Ausmass zuerst lange von blossem Auge auf Dezimeter oder mit Senkblei auf Zentimeter, seit 1926 durch Präzisionslotungen auf Millimeter und zuletzt in den Jahren 1954–1962 mit Stoppaniuhren auf hundertstel Millimeter Genauigkeit beobachtet. Schon bald nach der Vollendung im Jahre 1760 zeigten sich an der aus Backstein gemauerten Kuppel und am Gewölbe über dem Westchor klaffende Risse und an den Fassaden sichtbare Ausbauchungen. Wegen zu geringer Steifigkeit des Dachstuhles hatten sich nämlich dessen Auflagerreaktionen von den Pfeilern und Tragwänden auf die Gewölbe verlagert und zudem begonnen, auf die Fassaden einen unbeabsichtigten Horizontalschub auszuüben. 1820 zog man Andreaskreuze und hölzerne Schwerter ein und befreite Kuppeln und Bögen von der Dachlast. Von der Schwere ihres Eigengewichtes konnten sie natürlich nicht befreit werden. Das um die Kuppel gelegte Ringeisen blieb ohne Wirkung, weil es zu hoch über dem Kämpferhorizont verlegt und an den flach geschmiedeten Stössen durch Nietlöcher stark geschwächt war. In den Akten kehren die Sorgen um die Standsicherheit der Kathedrale periodisch wieder mit zahllosen Fach-, Ober- und Superexpertisen. 1874 erreichte der Überhang des Gesimses an der Gallusstrasse ein so bedrohliches Mass, dass im Estrich Zugbänder und dazu 1935 Eisenbetongurten über dem Westchor eingebaut werden mussten. Da aber hölzerne Zangen, eiserne Anker und Armierungen erst dann in Funktion treten, wenn sie sich unter Spannung verlängern, und der Beton kriecht, vermögen solche Massnahmen die Bewegungen wohl zu bremsen, nicht aber rechtzeitig zur Ruhe zu bringen, geschweige denn rückläufig zu machen.

Bild 1 zeigt die horizontalen Verschiebungen der Gesimse im Verlaufe von 200 Jahren. Die Pfeilrichtungen beweisen, dass der Hauptgrund und Anstoss vom Kuppelschub der grossen Rotunde herrührt. Dazu gesellen sich über dem Längsschiff die Schübe der Gurtbogen, so dass schräg nach aussen weisende Resultanten entstehen. Auffällig ist die Ruhe über dem Mönchs-Chor; sie lässt sich auf zwei Ursachen zurückführen. Erstens ist dieser Gebäudeteil zwischen der Kuppel und den unverschieblichen Türmen eingeklemmt, und zweitens ist das Mauerwerk von besserer Qualität. Im Schiff konnten Mörtelfugen mit dem Finger herausgekratzt werden, und man fand überall

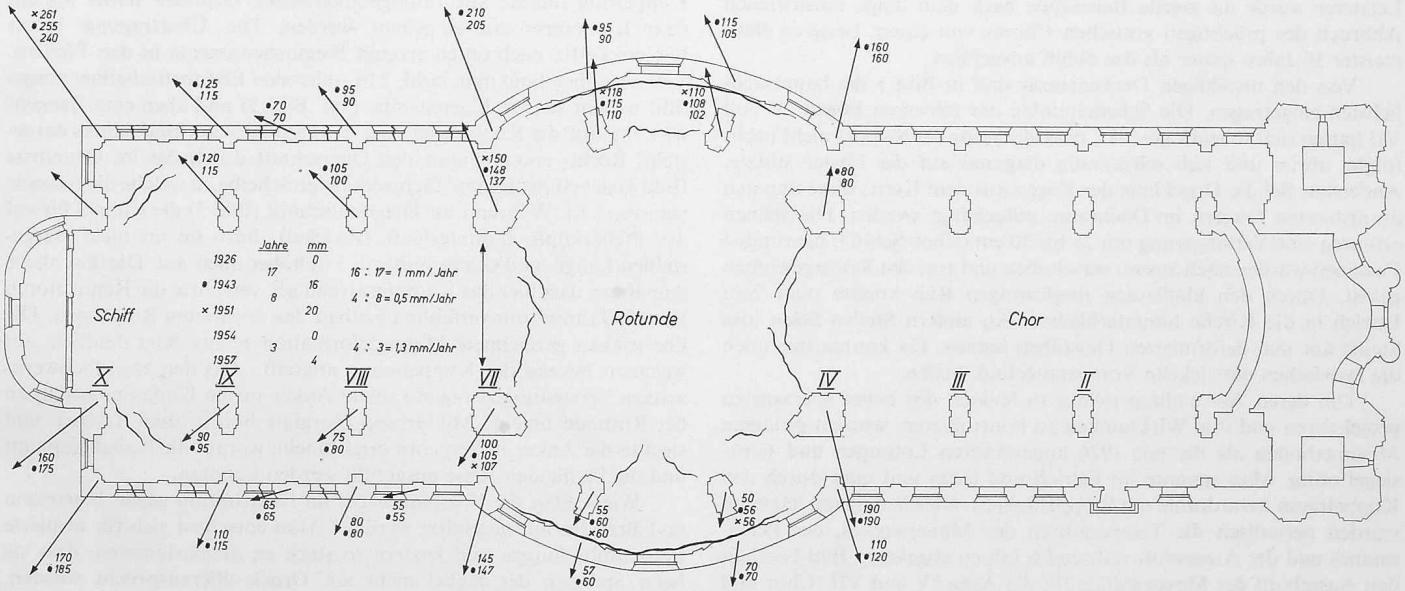


Bild 1. Gesimsverschiebungen in 200 Jahren. Horizontalschnitt 1:600 über dem Sockel. Zunehmender Gesimsüberhang in mm

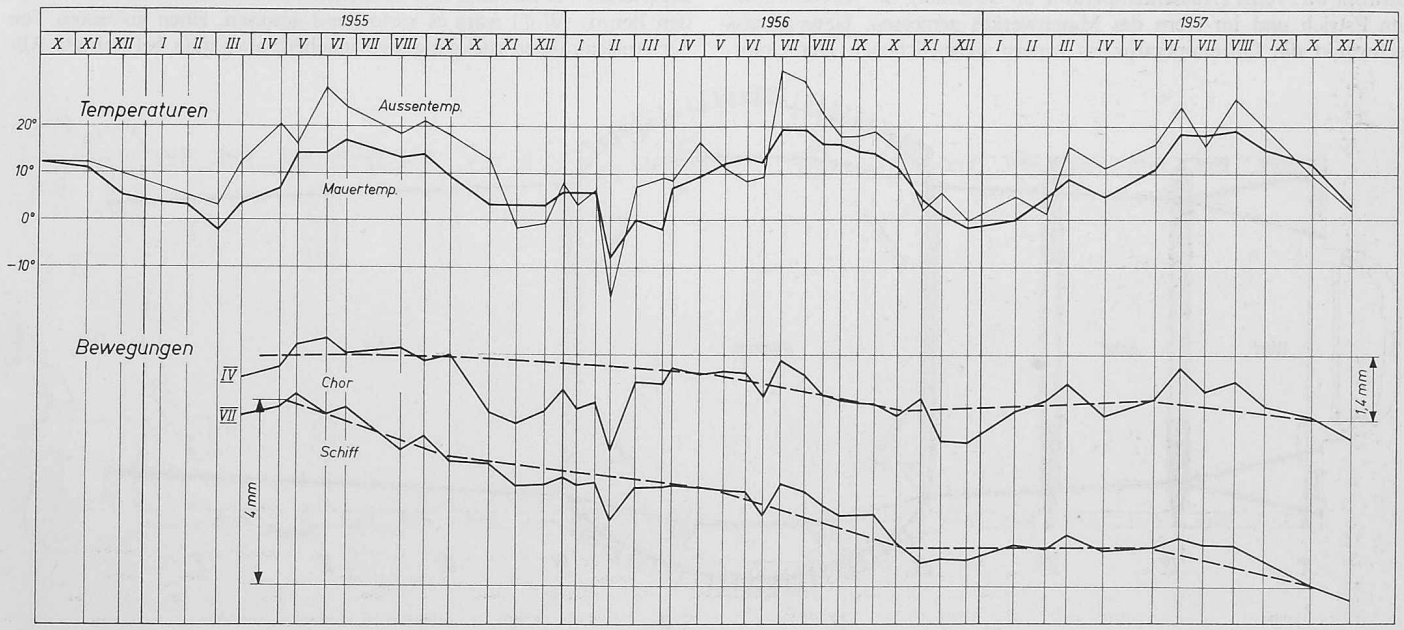


Bild 2. Temperatur- und Bewegungsmessungen an den Bögen IV und VII. Verlängerung der Bogensehnen in mm

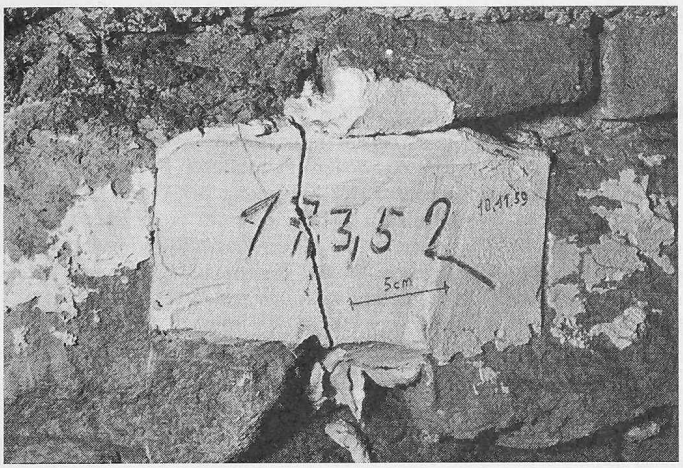


Bild 3. Gipssiegel zur Beobachtung der Risse im Gewölbe VII. Man sieht, dass sich ein Riss vom März 1952 bis November 1959 um rund 2 mm geöffnet hat

hohle Stellen zwischen den Bruchsteinen. Der Verbrauch an Zement bei den Injektionen anlässlich der im Gange befindlichen Innenrenovation betrug im Schiff ein mehrfaches gegenüber im Chor. Letzterer wurde als zweite Bauetappe nach dem lange umstrittenen Abbruch des prächtigen gotischen Chores von einem besseren Baumeister 10 Jahre später als das Schiff ausgeführt.

Von den unzähligen Deckenrissen sind in Bild 1 die hauptsächlichsten eingetragen. Die Scheitelpunkte der schweren Bögen IV und VII hatten sich so stark gesenkt, dass einerseits die Kuppel nicht nachfolgte, abriss und sich selbständig diagonal auf die Pfeiler stützte. Anderseits fiel die Drucklinie der Bögen aus dem Kern; diese mussten an armierten Trägern im Dachraum aufgehängt werden. Die Sehnen erfuhren eine Verlängerung um 25 bis 30 cm (Chor-Schiff); die runden Fassaden wurden nach aussen verschoben und von den Kranzgewölben gelöst. Durch den klaffenden ringförmigen Riss konnte man vom Estrich in die Kirche hinunterblicken. An andern Stellen fielen lose Steine aus den deformierten Gewölben heraus. Da konnte nur noch die inzwischen entwickelte Vorspanntechnik helfen.

Um deren Anwendung richtig zu lenken, das heisst sparsam zu projektieren und ihre Wirksamkeit zu kontrollieren, wurden genauere Messmethoden als die seit 1926 angewandten Lotungen und Gipssiegel nötig. Man spannte im Estrich und längs und quer durch den Kuppelraum Invardrähte mit Stoppaniuhren. Gleichzeitig mit letzteren wurden periodisch die Temperaturen des Mauerwerkes, des Dachraumes und der Aussenluft während 6 Jahren abgelesen. Bild 2 enthält den Ausschnitt der Messresultate für die Axen IV und VII (Chor und Schiff) in den Jahren 1955 bis 1957. Der Unterschied zwischen den beiden Senkungen bestätigt obige Aussage. Die Temperatur wurde sowohl im Freien (Aussentemperatur im Schatten), im Kirchenraum, im Estrich und im Kern des Mauerwerkes gemessen. Naturgemäss schwankt die Lufttemperatur im Innern ausgeglichener. Der Unterschied zwischen Februar und Juli 1956 betrug aussen 50°, im Kirchenraum 20°, im Estrichraum 36° und im Mauerwerk 26°. Diejenigen Punkte der Verformungskurve, welche einer Mauertemperatur von 10° entsprechen, sind miteinander strichliert verbunden. Diese Linie stellt die auf konstante Temperatur reduzierte Bewegung in Funktion der Zeit dar. Durchschnittlich vergrössert sich der Kuppeldurchmesser vom Winter zum Sommer um 2,5 mm, geht aber im darauffolgenden Winter nicht mehr um das gleiche Mass zurück. Die Auseinanderbewegung der Kämpferpunkte im Schiff beträgt durchschnittlich 1 mm pro Jahr. Sehr augenscheinlich drückt sich diese Bedrohung in immer neu gerissenen Gipssiegeln aus (vgl. Bild 3). Die Senkung der Bogenscheitel erhöht den Horizontalschub, woraus eine Kettenreaktion wachsenden Schadens entsteht.

Bild 4 stellt das Projekt der Konsolidierung im Grundriss dar. Der stark überhängende Westchor wird an vier Punkten angefasst und durch zwei gegabelte, 100 m lange Spannkabel an die soliden Türme verankert. Die Kabelspannung im Mittelstück beträgt je 75 t zur Kompensierung der Längskomponente des Kuppelschubes. Vier Gurtbogen erhalten Überspannungen des Scheitelpunktes und je zwei Bänder in den Tragjochen (in den Bildern 4 und 6 eingestrichelt). Letztere verlaufen in Bohrungen und stellen den Zusammenhalt des gelockerten Bruchstein-Mauerwerkes wieder her. Die schwierigsten Bohrungen über den Vierungspfeilern (Axen IV und VII) sind 9 m lang. Harte Bollen im weichen Mörtel verursachten öfters Schäden an der Bohrvorrichtung und verlangten Vorinjektionen. Der Kuppelring musste aus raumgeometrischen Gründen höher als auf dem Kämpferniveau eingebaut werden. Die Übertragung seiner Umlenkkräfte nach unten erzeugt Biegungsmomente in den Pfeilern. Vier derselben fand man hohl. Mit stehenden Eisenbetonbalken ausgefüllt wirken sie wie Korsettstäbe (vgl. Bild 5) und üben eine Zangenwirkung auf die Kuppel aus. Die Armierung ist auf Bild 5 links dargestellt. Rechts erkennt man den Querschnitt durch die im Grundriss (Bild 4) sichelförmige und fachwerkartige Scheibe, in welche die Fassade verankert ist. Während im Diagonalschnitt (Bild 5) die Kuppel bis auf die Pfeilerköpfe hinunterläuft (Zwickel), hört sie im nicht dargestellten Längs- und Querschnitt rd. 5 m höher oben auf. Die fälschliche Annahme, dass hier das Kämpferniveau sei, verführte die Renovatoren vor 150 Jahren zum verfehlten Einbau des erwähnten Ringeisens. Die übertrieben gezeichnete Mauerdeformation rechts zeigt deutlich, auf welchem Niveau der Kuppelschub angreift. Aus den zwei fachwerkartigen Versteifungen ragen radiale Anker in die Umfassungsmauern der Rotunde hinein. Mit grosser Sorgfalt bohrte man Löcher und steckte die Anker in Zementmörtel hinein, worauf die Kabel gespannt und die klaffenden Risse ausgefüllt werden konnten.

Wie sollten die Vorspannkabel im Estrichraum gegen Korrosion und Brandgefahr geschützt werden? Man entschied sich für armierte Betonumhüllungen und letztere so stark zu dimensionieren, dass sie beim Spannen der Kabel nicht auf Druck überanspruchte wurden. Einer an sich erwünschten rückläufigen Bewegung des verformten Mauerwerkes wurde eine klare Grenze gesetzt, bestehend aus der elastischen Verkürzung, dem Kriechen und Schwinden des umhüllenden Betons. Wohl wäre es verlockend gewesen, einen grösseren Teil der Auslenkungen rückgängig zu machen, aber man befürchtete Ab-

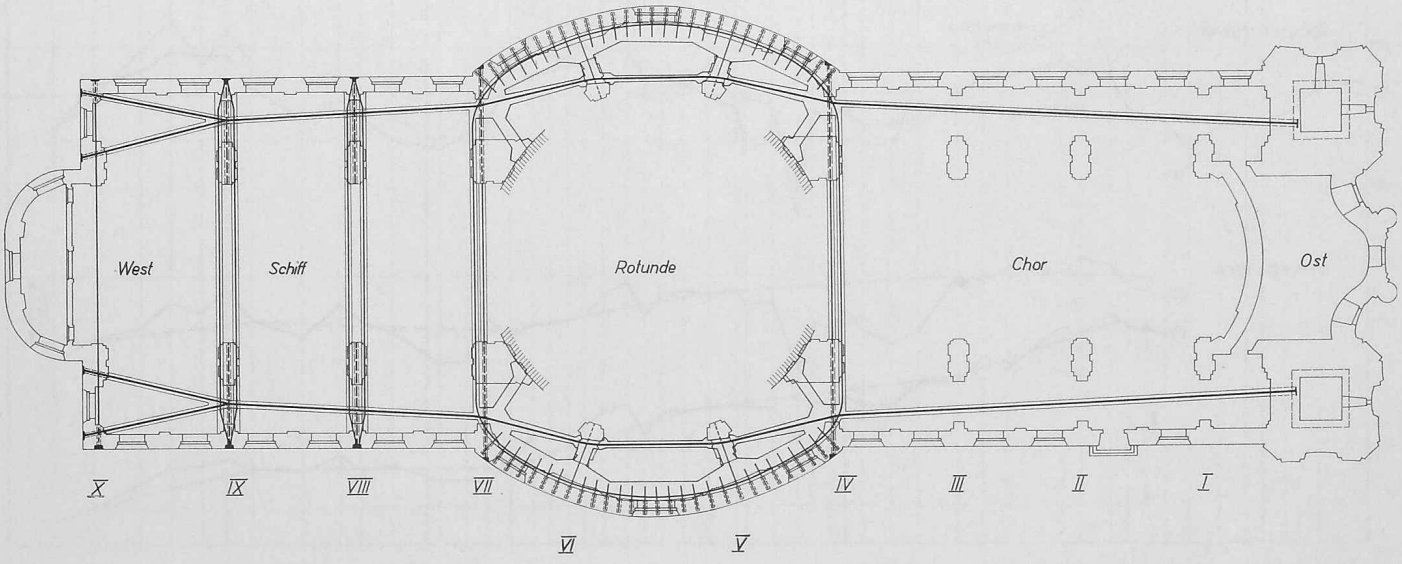


Bild 4. Verstärkungsprojekt mit Vorspannkabeln BBRV. Versteifung der Rotonde und igelförmige Maueranker. Grundriss 1:600

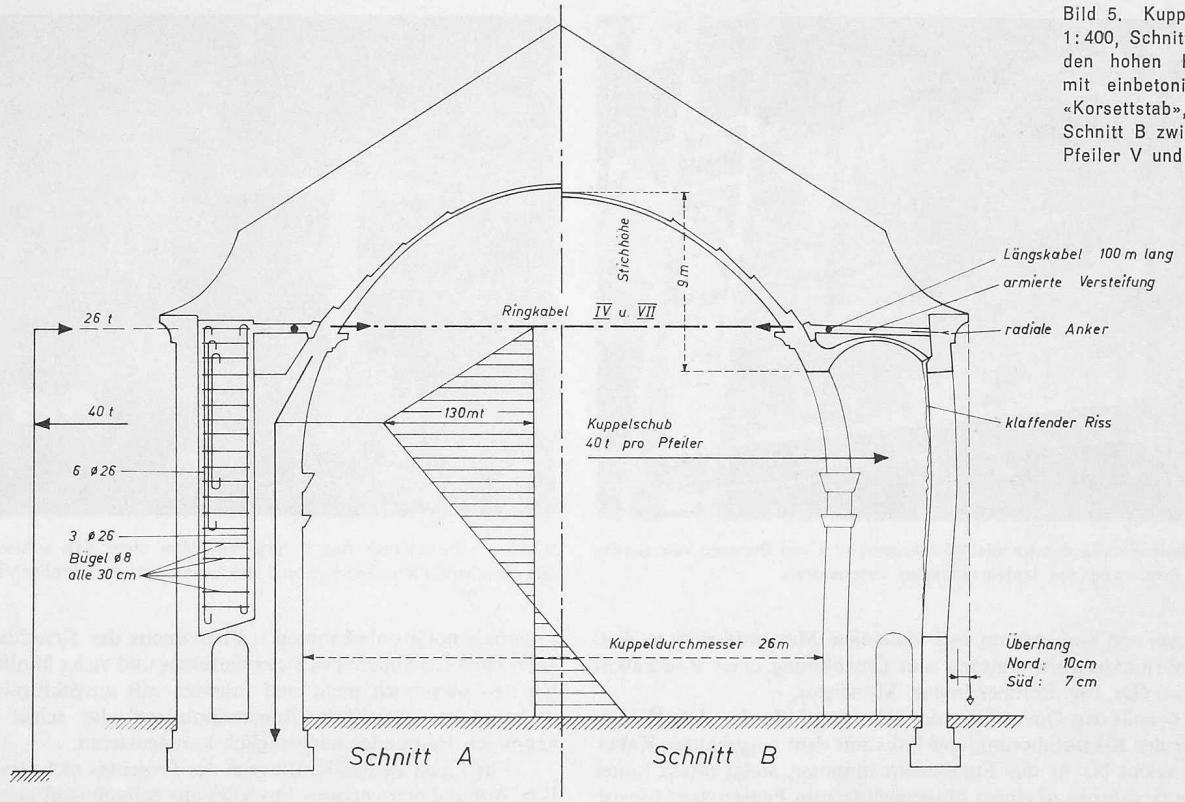
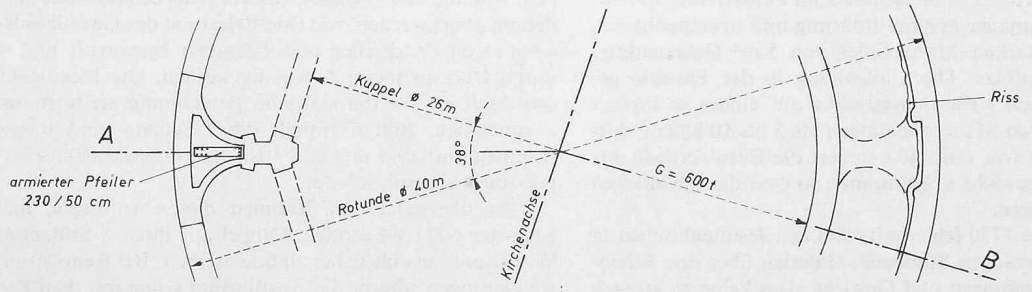


Bild 5. Kuppelschnitte 1:400, Schnitt A durch den hohen Pfeiler V mit einbetoniertem «Korsettstab», Schnitt B zwischen Pfeiler V und VI



Grundriss zu Bild 5

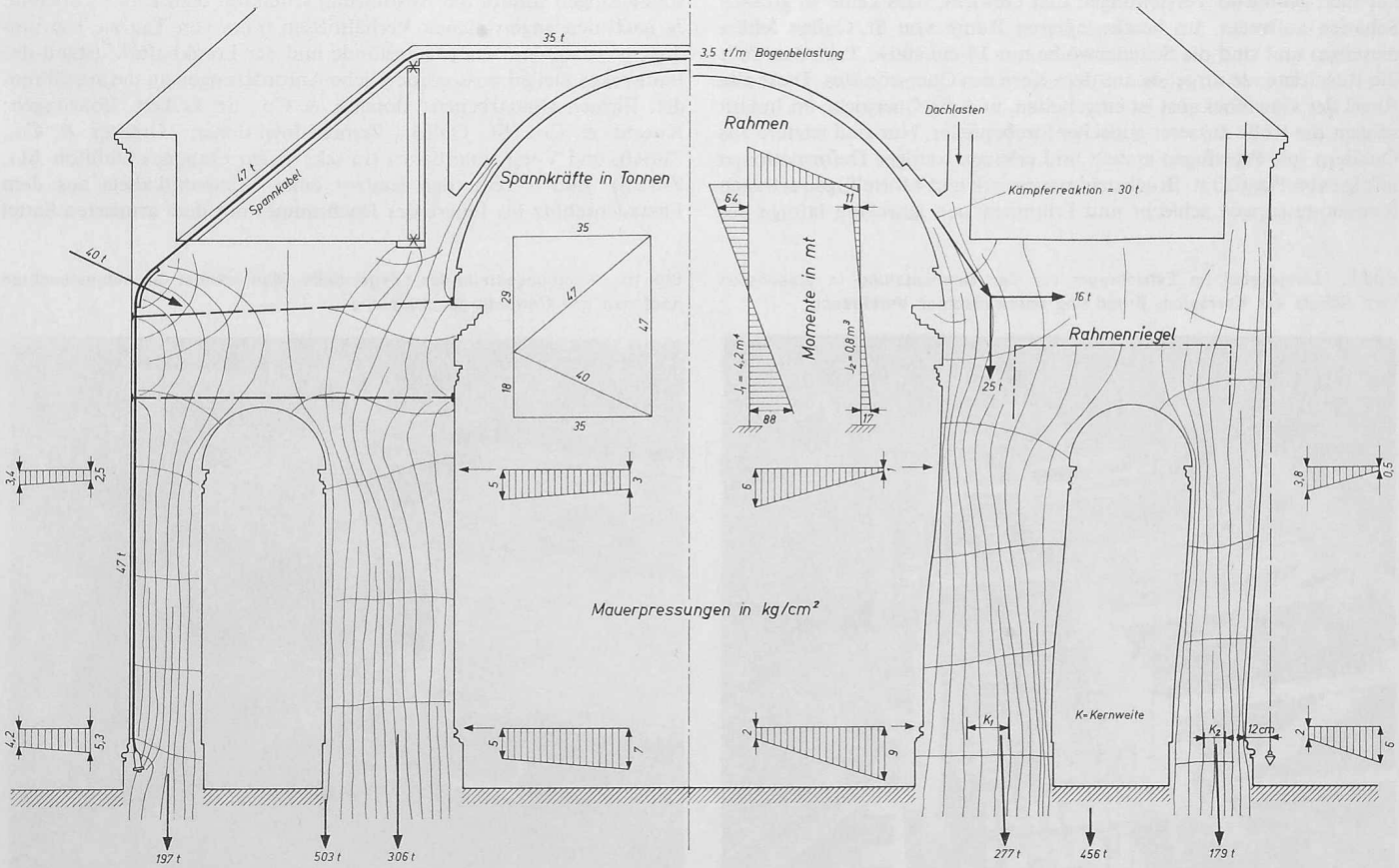


Bild 6. Spannungstrajektorien der Querjoche Axe IX. Rechts Zustand vor der Konsolidierung, links Kabelverlauf und resultierendes Kräftespiel. Querschnitt 1:200

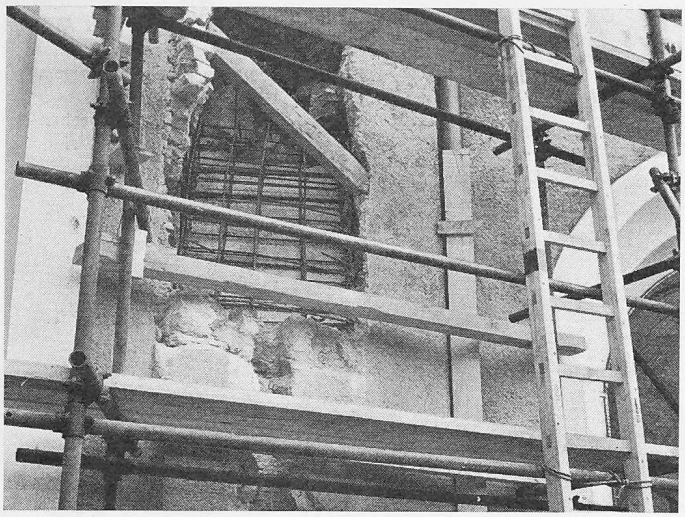


Bild 7. Umlenkstelle des Kabels VII. Mauerschlitz und Bohrung von aussen gesehen. Armierung des lastverteilenden Betonsattels

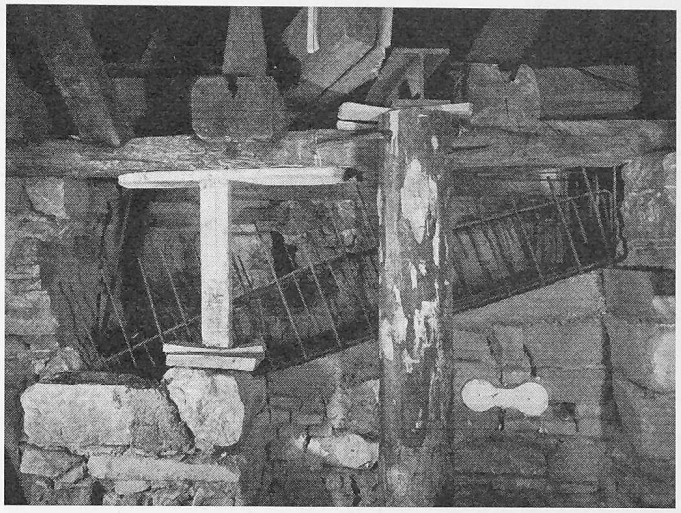


Bild 8. Scheitelknick des Kabels VII. Man sieht den schlechten Zustand des Bruchsteinmauerwerkes und die Gipssiegel zur Beobachtung der Risse

sprengungen von Stukkaturen und Malereien. Man darf nicht in Zeitraffung jahrhundertealte Bettung und Gewöhnung einer Radikalkur unterwerfen (Dr. Ing. Brannekämper, München).

Bild 6 stellt den Querschnitt des Kirchenschiffes bei Axe IX dar, rechts vor der Konsolidierung und links mit dem eingebauten Kabel. Letzteres reicht bis in das Fundament hinunter, steigt direkt hinter dem Regenabfallrohr in einem Mauerschlitz zum Fenstersturz hinauf, durchstösst die Fassadenmauer in einer Bohrung und überspannt den Gurtbogen. Auf dem starken Mittelpfeiler von 5 m² Querschnittsfläche steht eine Pendelstütze. Die Umlenkung in der Fassade geschieht mit einem grossen Krümmungsradius auf einem so breiten Sattel, dass keine grösseren Mauerpressungen als 5 bis 10 kg/cm² entstehen. Die Umlenkkraft von rund 40 t steuert die Resultierende aus Bogenschub und Mauergewicht in Kernmitte, so dass die schädlichen Kantenpressungen aufhören.

War das Projekt von 1750 fehlerhaft? Bei den Jesuitenkirchen in Solothurn und Luzern erzeugen Studenten-Galerien über den Seitenkapellen genügend Versteifungen und Gewicht, dass keine so grossen Schäden auftreten. Im beschwingteren Raum von St. Gallen fehlen dieselben und sind die Seitengewölbe nur 14 cm stark. Trotzdem fällt die Resultierende nirgends aus dem Kern des Querschnittes. Diese alte Regel der Gewölbekunst ist eingehalten, und die Querjoche im Innern spielen die Rolle äusserer gotischer Strebepfeiler. Nur sind letztere aus Quadern mit Pressfugen erstellt und erleiden weniger Deformationen infolge von Plastizität. Bruchsteinmauerwerk und Mörtelfugen ertragen Kantenpressungen schlecht und krümmen sich jahrelang infolge des – damals noch unbekannten – Phänomens des Kriechens. Auch die geschulten Ingenieure des Sitterviaduktes und vieler ähnlicher Brücken wussten dies noch nicht und mussten mit ausgeklügelten Hebelgewichten den einseitigen Bogenschub auf die schief gedrückten, krummen Endpfeiler nachträglich kompensieren.

Für Laien ist das Kräftespiel des Projektes nicht leicht verständlich. Anhand eines grosses Modelles aus Schaumstoff kann augenfällig demonstriert werden, wie eine Belastung des Gewölbes S-förmige Verwindungen der Pfeiler und Fassaden hervorruft und wie dieselben durch Überspannung rückläufig werden. Die Messungen am Modell erlaubten es, für die statische Berechnung stellvertretende Rahmen anzunehmen. Bild 6 enthält die Trägheits- und Biegemomente im Rahmen (m^4 und mt) und stellt Spannungstrajektorien und Mauerpressungen graphisch dar.

Es übersteigt den Rahmen dieses Aufsatzes, die Konsolidierung der 600 t wiegenden Kuppel auf ihren 8 Stützpunkten und des Westchores ausführlicher zu beschreiben. Bei Renovationen und Konsolidierungen stimmt die Ausführung selten mit dem Projekt überein. Je nach den angetroffenen Verhältnissen muss von Tag zu Tag umdisponiert werden. Diese Umstände und der krankhafte Zustand des Bauwerkes stellen ausserordentliche Anforderungen an die ausführenden Firmen (Bauarbeiten: Bonaria & Co., St. Gallen, Bohrungen: Knecht & Co., St. Gallen, Zement-Injektionen: Greuter & Co., Zürich, und Vorspannarbeiten (in sehr vielen Etappen) Stahlton AG, Zürich). Bild 7 zeigt den Eintritt eines Vorspannkabels aus dem Fassadenschlitz ins Innere des Dachraumes mit dem armierten Sattel

Bild 9. Längskabel im Estrichraum vor der Ummantelung in Eisenbeton zum Schutz vor Korrosion, Brand und unerwünschter Verkürzung

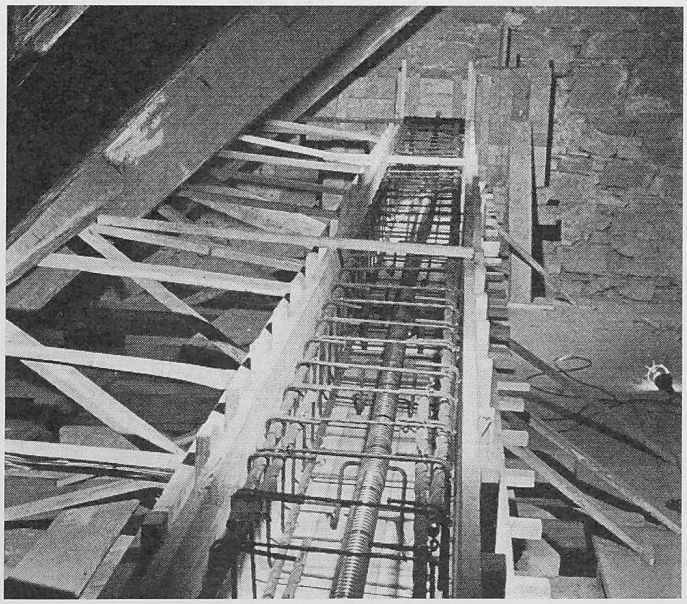
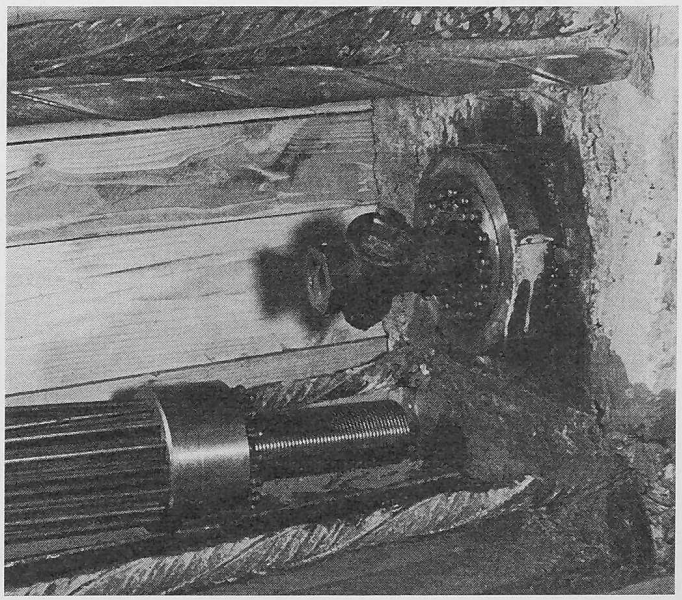


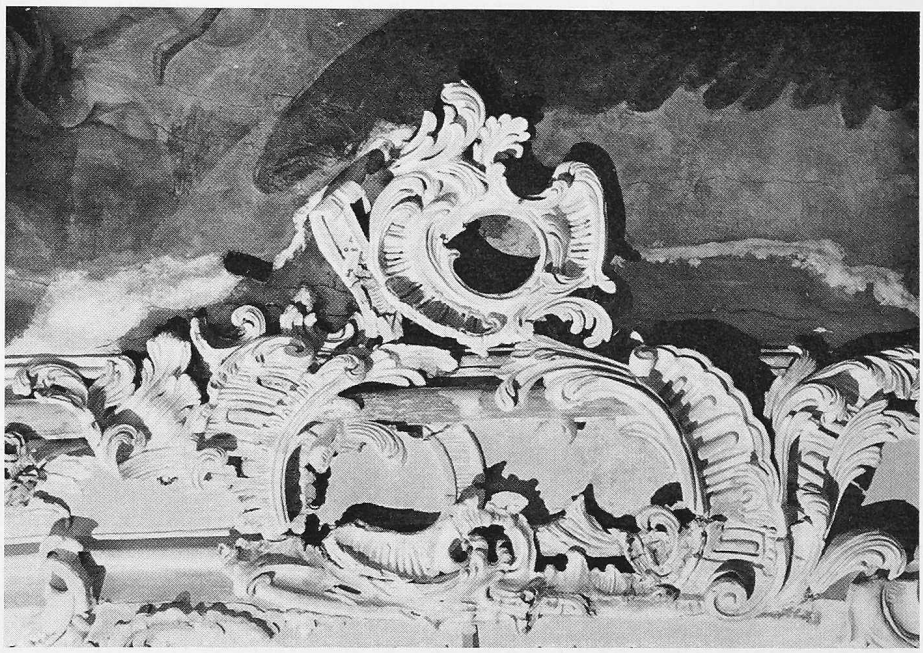
Bild 10. Kupplungsstelle des Längskabels. Man erkennt die aufgestauchten Köpfchen und Gewinde der Kupplung



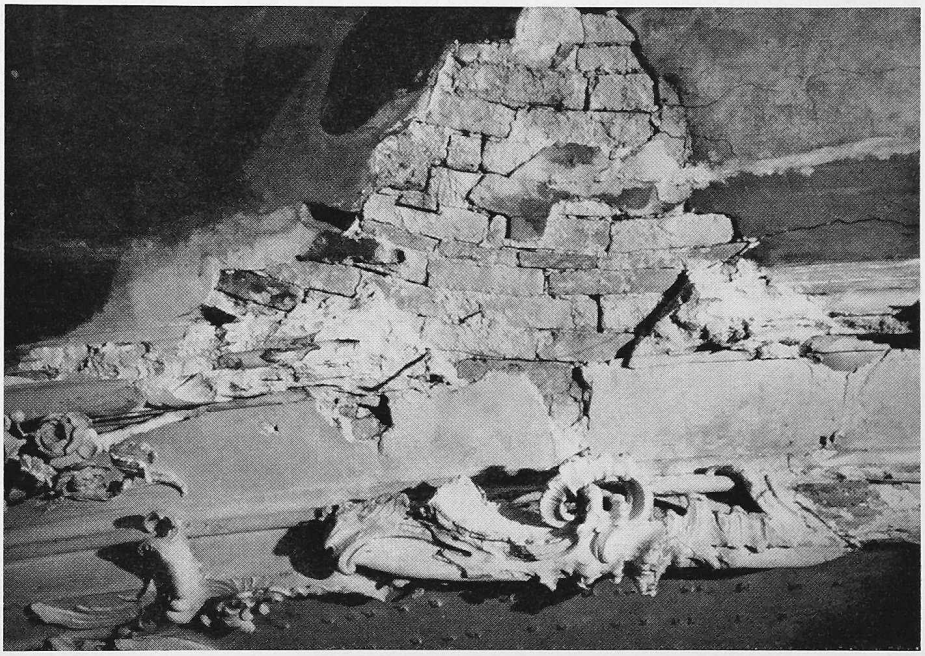
Restauration von Stuckarbeiten im Schiff (Mitteljoch, Blick gegen Westen) der Kathedrale St. Gallen

Sämtliche Photographien wurden vom bauleitenden Architekten Hans Burkard, St. Gallen, zur Verfügung gestellt

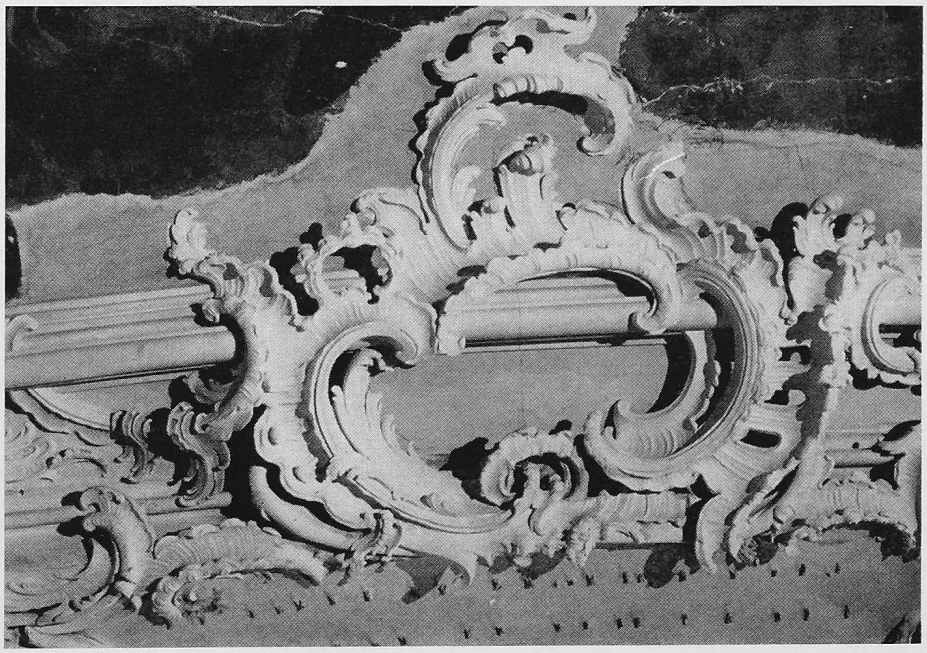
Text siehe Seite 421



Im Jahre 1866 wurde die ursprüngliche Kartusche durch falsche Stuckpartien verändert (Zustand vor der Restauration von 1962/64)



Die gleiche Kartusche nach Beseitigung des stilwidrigen Stuckes



Die gleiche Kartusche fertig restauriert

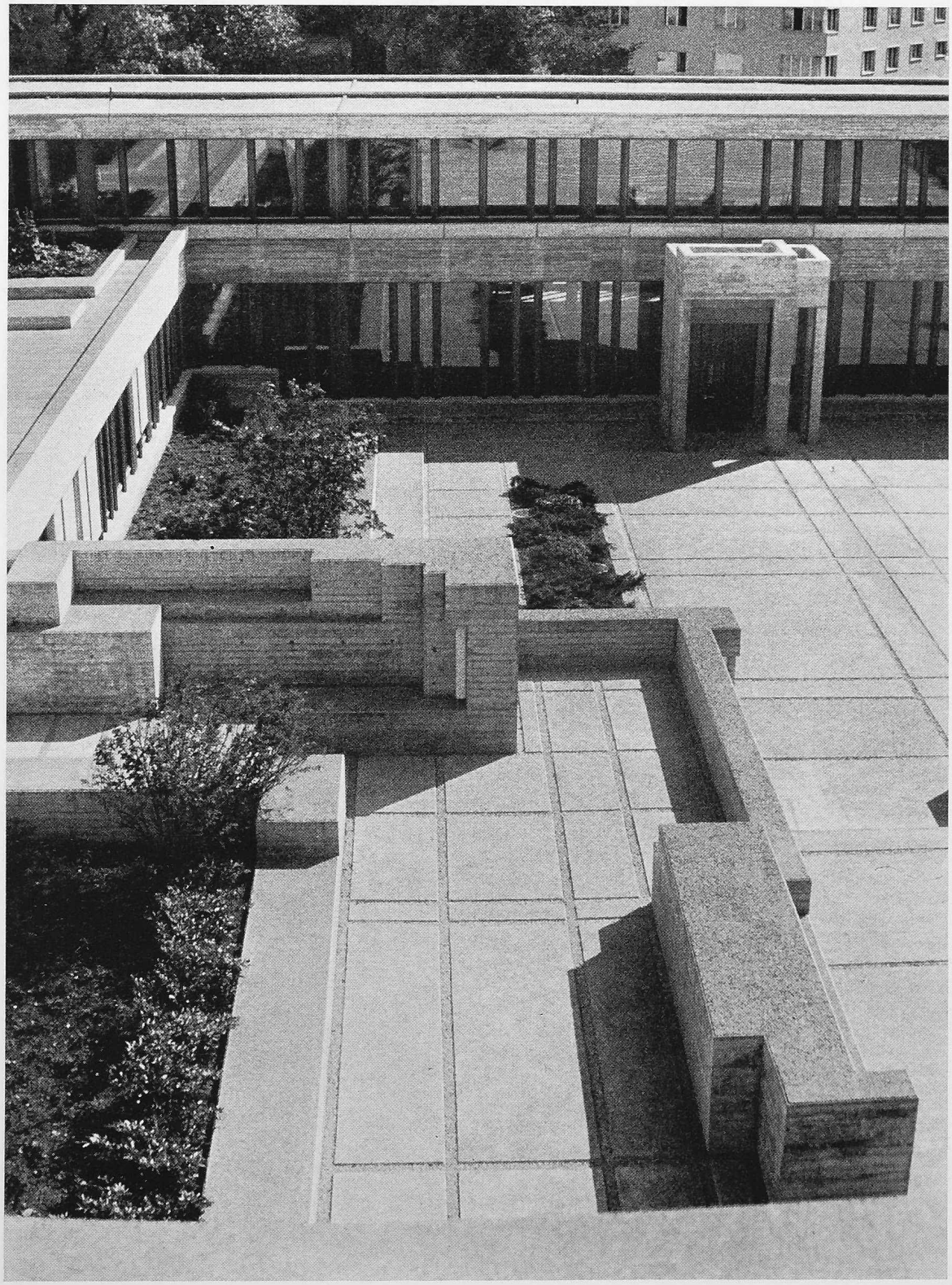
Erweiterungsbauten Kantonsschule St. Gallen

Architekten **Otto Glaus** und **Heribert Stadlin,** St. Gallen, Mitarbeiter **André Heller, Klaus Röricht**

Text siehe Seite 424

Photos Gross, St. Gallen

Blick in den Hof gegen den südöstlich liegenden Hallentrakt mit Windfang. Links die gestuften Mauernanlagen vor den Biologie-Unterrichtszimmern



Aula im Erweiterungstrakt der Kantonsschule St. Gallen mit Orchesterbestuhlung und Bühnenabschluss

Klassenzimmer mit Blick gegen Altbau

Restauration der Deckengemälde im Chor der Kathedrale St. Gallen

In den Jahren 1818 bis 1821 hatte Orazio Moretto in klassizistischer, eher nüchterner Malweise die ursprünglichen Barockgemälde von Joseph Wannenmacher übermalt. Im Chor (Mitteljoch) wurde während der Restaurierungsarbeit Morettos Darstellung der Hl. Drei Könige abgelöst und das darunter befindliche Gemälde Wannenmachers aus den Jahren 1764 bis 1767 freigelegt und wiederhergestellt. Die barocke Komposition (Personen des alten Bundes und St. Benedikt mit dem Gebetbuch) von J. Wannenmacher stellt die Verwandtschaft mit den luftig leichten Barockmalereien im Gewölbe des Langhauses her. Die Restaurationsarbeit hat hier zu einer grossartigen, originalen Bereicherung der Kathedrale geführt.

Oben: Die klassizistische Uebermalung durch Orazio Moretto (Anbetung) ist zum Teil bereits abgedeckt. Es kommt das Original Joseph Wannenmachers (alter Bund) zum Vorschein. Unten: Das vollständige Barockgemälde von J. Wannenmacher nach der Restauration