

Statische Instandsetzung der Evang.-Luth. St. Martinskirche in Memmingen

Prof. Dr.-Ing. habil. Karl G. Schütz
DR. SCHÜTZ INGENIEURE GmbH, Kempten, Bayern

Dipl.-Ing. Jan Schubert
DR. SCHÜTZ INGENIEURE GmbH, Kempten, Bayern

Zusammenfassung

Die Evang.-Luth. St. Martinskirche, begonnen als hochgotischer dreischiffiger Bau auf romanischer Vorgängerkirche ist geprägt durch eine umfangreiche mittelalterliche Umgestaltung und Erweiterung mit neugotischer Überarbeitung. Die dabei erfolgten Eingriffe in das Tragwerk, insbesondere der nachträgliche Einbau von gemauerten Gewölben anstelle leichter Holzdecken, haben zu massiven Verformungen und deutlichen Schäden geführt. Mit Hilfe einer engen bauforscherischen Begleitung der Tragwerksbegutachtung konnten die über die Baugeschichte entstandenen Schadensmechanismen nachvollzogen werden. Basierend auf einer räumlichen Nachrechnung des Langhauses als Gesamtsystem wurden umfangreiche statische Sicherungsmaßnahmen der Gewölbe unter Berücksichtigung der Bauzustände entwickelt.

1. Einführung

Die Evang.-Luth. St. Martinskirche ist eine dreischiffige Stadtkirche der ehemaligen freien Reichsstadt Memmingen. In der wechselvollen Baugeschichte, insbesondere durch den nachträglichen Einbau von Gewölben als Umgestaltung des Langhauses wurde das Tragwerk gravierend geändert. Die hieraus resultierenden statischen Mängel sind am Verformungsbild deutlich abzulesen. Nachfolgend wird aufgezeigt, wie die einzelnen Tragwerkszustände zu den heute sichtbaren Verformungen und statischen Mängeln geführt haben und welche Lösungen zur Tragwerksinstandsetzung daraus abgeleitet wurden.

2. Baubeschreibung

Der Kirchenbau gliedert sich in das dreischiffige Langhaus mit Kapellenanbauten zu acht Jochen, den eingezogenen Chor zu vier Jochen mit 3/8-Schluss, die in Verlängerung des südlichen Seitenschiffs angeordnete Sakristei sowie den nördlich im Eck zwischen Langhaus und Chor befindlichen Turm.

Das maßgeblich raumbildende Element des Langhauses ist das Mittelschiff. Von einem freitragenden tonnenartigen Putzbohlengewölbe mit ausgeprägten Stichkappen überspannt, erheben sich die ziegelgemauerten Hochschiffwände über den Arkaden. Das Dachwerk bildet hier ein bauzeitlicher Sparrendachstuhl, welcher in jeder achten Achse einen durchgehenden Bundbalken, ansonsten Stichbalken, besitzt. In jeder vierten Achse ist

eine Art Hängesprengwerk ausgebildet. In Querrichtung ausgesteift mit in jeder Achse angeordneten Kopfbändern und Streben ruht der Dachstuhl auf einer doppelten Fußschwelle auf der Mauerkrone. Die zimmermannsmäßigen Verbindungen sind in der Regel als Überblatungen, meist schwalbenschwanzartig, ausgebildet. Die bauzeitliche Gewölbesituation als bis zur Kehlbalkebene hoch gezogenes Brettergewölbe mit sichtbaren Bundbalken lässt sich noch in Spuren erahnen.

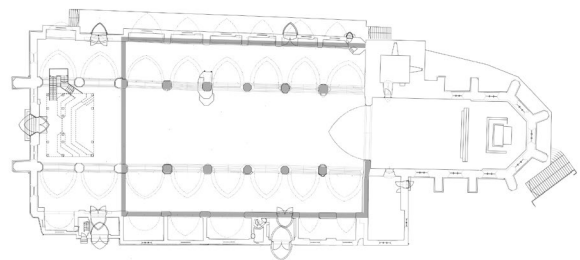


Abb. 1: Grundriss [2]; idealisierter Eintrag ursprünglicher Baukörper Langhaus um 1410 (grau) [1]

Beide Seitenschiffe wurden nachträglich von kugelartigen gemauerten Rippengewölben (Rippen später abgeschlagen) überspannt, welche ausgeprägte Stichkappen aufweisen. Die Geometrie der ursprünglichen trapezförmigen Brettertonnen, welche die Seitenschiffe bauzeitlich überspannten, ist noch in Spuren des Dachanschlusses zu erkennen. Im Zuge der Einwölbung des nördlichen Seitenschiffs wurde die Außenwand mit überwölbten Nischen zwischen den Wandpfeilern neu

gestaltet. Dabei stellen die Innenseiten der Wandpfeiler die Lage der ursprünglichen Außenwand dar. Nach der Einwölbung des südlichen Seitenschiffs wurden südlich vorgelagert Kapellenanbauten ergänzt, wobei die südliche Außenwand des Seitenschiffs arkadenartig durchbrochen wurde. Die südlichen Anbauten sind ebenfalls von gemauerten Gewölben überspannt. Über den Seitenschiffen sind Pfettendachstühle vorhanden. Der Dachstuhl über dem südlichen Seitenschiff ist von seiner Entstehung noch der Zeit der Einwölbung und Kapellenanbauten zuzuordnen, während der Dachstuhl über dem nördlichen Seitenschiff in der Nachkriegszeit erneuert wurde.

Der Chor wird von einem Tonnengewölbe mit netzförmig ausgebildeten Rippen und kleinen Stichkappen überspannt. Die Wände sind von kräftigen Vorlagepfeilern ausgesteift. Der zweilagige Kehlbalkendachstuhl mit zweifach liegendem Stuhl und Hängesprengwerk ruht auf einer doppelten Mauerschwelle.

3. Untersuchungsumfang

Basierend auf einem verformungsgerechten Aufmaß mittels Laserscanverfahren [2] wurden in die Balkenlagen und Querschnitte die zimmermannsmäßigen Verbindungen nach örtlichem Aufmaß ergänzt. Es folgte eine im Bereich der Dachtragwerke mit ergänzenden Bohrwidstandsmessungen handnahe Durchsicht des Gebäudes zur Schadenserfassung einschl. Dokumentation. Für die Beurteilung der Gründungsbauteile wurden Fundamentschürfen und ein Baugrundgutachten erstellt. Die statische Bewertung erfolgte für das Langhaus an einem räumlichen Gesamtsystem, während für den Chor ein ebener Gesamtquerschnitt ausreichend war [3]. Die statischen Untersuchungen wurden umfangreich bauforscherisch begleitet [1].

4. Baugeschichtliche Schadensentwicklung Langhaus

4.1 Ursprungszustand

Ursprünglich (um 1410) waren Mittel- und Seitenschiffe von hölzernen trapezförmigen Bretterdecken überspannt, welche direkt an den Dachtragwerken befestigt waren [1]. Im Bereich des Mittelschiffs waren damit die in regelmäßigen Abständen durchgehenden Bundbalken sichtbar. Diese leichten Deckenkonstruktionen führten wohl schon zu ersten leichten Verformungen der schlanken und nicht weiter ausgesteiften Hochschiff- und Außenwände des noch dreischiffigen und sechsjöchigen Langhauses (Abb. 1). Ursächlich hierfür ist einerseits die Einhäufigkeit der Seitendachstühle, in denen Bundbalken zur Verbindung der Mauern vollständig fehlen und andererseits der recht große Abstand der durchgehenden Bundbalken am Mittelschiffdachstuhl (alle 8 Achsen). Es ist davon auszugehen, dass die horizontalen Abtriebskräfte aus den Dachkonstruktionen somit zu großen Teilen von den Mauern aufge-

nommen werden mussten und zu entsprechenden Verformungen geführt haben.

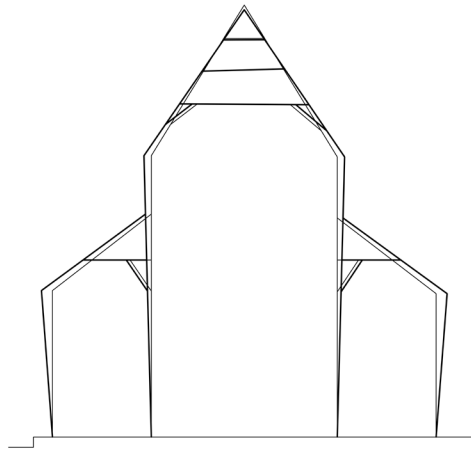


Abb. 2: Ursprüngliches Tragwerk mit Bretterdecken; überhöhte horizontale Verformung (10-fach), idealisiert unverformtes System (grau) mit qualitativem Verformungsbild (schwarz)

4.2 Umbauten und Erweiterungen des 15. Jh.

Recht bald nach der Fertigstellung wurden ab Mitte des 15. Jh. die Vorzeichen, Abseiten, Seitenschiffgewölbe und Kapellen ergänzt, zum Ende des Jahrhunderts hin das Langhaus um zwei Joche nach Westen verlängert und der Chor erneuert [1]. Diese Umgestaltungen bedeuteten drastische Eingriffe in das Tragwerk. Im Zuge des Einbaus der Seitenschiffgewölbe wurde die nördliche Außenwand abgetragen. Die zur Aufnahme des Gewölbes geplanten Wandpfeiler stehen mit ihrer Innenseite auf den bereits konsolidierten Vorgängerfundamenten auf, während die neue raumabschließende Außenwand in einem noch nicht konsolidierten Bodenbereich neu fundamementiert wurde. Dies hatte zur Folge, dass auf Grund der Konsolidierung des Bodens für das Wandeigengewicht und durch die Horizontalkraft des neuen gemauerten Gewölbes eine Kippbewegung der Wand nach außen erfolgte. Für die Hochschiffwände bedeutete der Einbau der gemauerten Gewölbe eine deutlich erhöhte horizontale Beanspruchung auf Höhe der durch die Arkaden geschwächten schlanken Wand. In der Folge ergaben sich Bewegungen der Hochschiffwände als Ausbauchung in das Mittelschiff. Auf der Südseite des Langhauses wurden nach der Einwölbung des Seitenschiffs sukzessive die Kapellen und Vorzeichen ergänzt, um vermutlich auch die durch die schweren Gewölbe in Bewegung geratenen Außenwände der Seitenschiffe zu stabilisieren. Zur Erschließung der Kapellen wurde die ehemals südliche Außenwand mit Bögen durchbrochen, was mit einem lokalen Teileinsturz der Mauer einherging. Im so geschwächten Bereich führt der Höhenunterschied der durch die Gewölbe eingeleiteten Kräfte zu einem deutlichen Knick in der Verformungslinie der ehemaligen südlichen Außenwand oberhalb des Gewölbeansatzes der Kapellen. Mit der

Erweiterung des Langhauses um zwei Joche nach Westen ergibt sich aus der leicht geänderten Dachwerkskonstruktion ein weiterer Hinweis auf die schon damals erkannten Mängel am Dachtragwerk des Mittelschiffs. Hier wurden die Abstände der durchgehenden Bundbalken halbiert (alle vier Achsen) und auch die Aussteifungselemente des Dachstuhls in Längsrichtung sind deutlich ausgeprägter vorhanden.

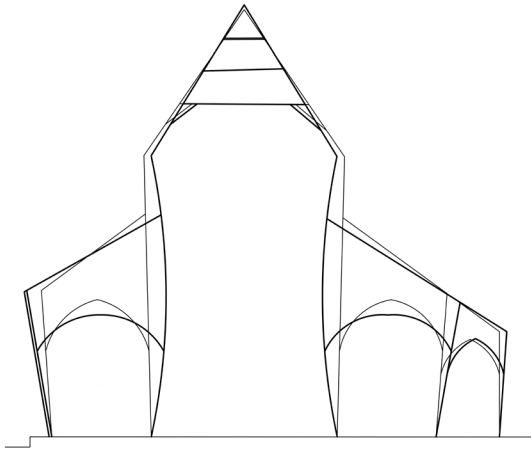


Abb. 3: Tragwerk mit gemauerten Gewölben und seitlichen Kapellenanbauten; überhöhte horizontale Verformung (10-fach), idealisiert verformter Ausgangszustand (grau) mit qualitativem Verformungsbild (schwarz)

Als Abschluss der mittelalterlichen Bautätigkeit wurde der Chor erneuert, welcher ein – vermutlich auch durch die bisherigen Bauerfahrungen begründet – deutlich robusteres Tragwerk für das netzförmige Tonnengewölbe mit kräftigen Strebepfeilern und durchgehender Bundbalkenlage aufweist.

4.3 Erneuerung Mittelschiffgewölbe 1845

Im Zuge einer neugotischen Umgestaltung wurde 1845 die 1655 durch eine Holztonne umgeformte Bretterdecke des Mittelschiffs entfernt (Reste sind im Dachtragwerk noch erhalten) [1]. Als Überdeckung des Mittelschiffs wurde ein mit kräftigen Stichkappen ausgebildetes Holzbohlen-Putzgewölbe konstruiert, welches unterhalb der Dachkonstruktion das Mittelschiff freitragend überspannt. Durch das deutlich höhere Eigengewicht gegenüber der bisherigen Bretterdecke ergeben sich hier zusätzliche horizontale Abtriebskräfte. Durch die neue Höhenlage vermag das Mittelschiffgewölbe damit zwar einen gewissen Gegendruck zu den nach innen bauchenden Hochschiffwänden aufzubauen, allerdings wird aufgrund des Höhenversatzes die Hochschiffwand stärker auf Biegung beansprucht. Durch die stärkere Biegung der Hochschiffwand wird die Mauerkrone nach außen gedrückt, was die Situation am Dachtragwerk verschärft. Die gestiegene Beanspruchung der Schwellen auf Querbiegung hat bereits vereinzelt zu Brüchen geführt. In den Bindergespärren ist zudem eine deutli-

che Verschiebung der Mauerkrone unter den Schwellen nach außen zu erkennen, so dass die Schwellen teilweise nicht mehr vollständig auf der Mauerkrone aufliegen. Auch für die Außenwände bedeutet das Mittelschiffgewölbe aufgrund des erhöhten Gegendrucks über die Hochschiffwände eine gesteigerte Beanspruchung und weitere Bewegung nach außen.

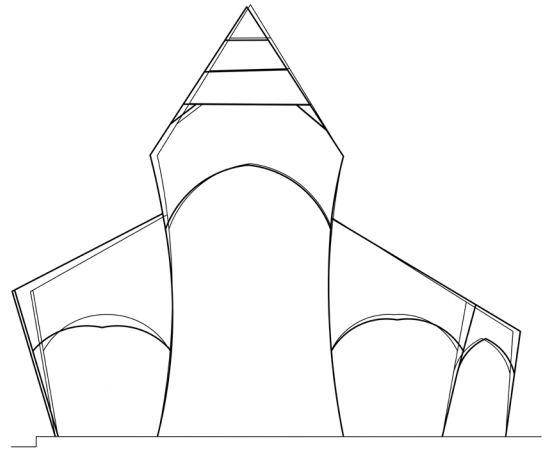


Abb. 4: Tragwerk mit gemauerten Gewölben und seitlichen Kapellenanbauten; überhöhte horizontale Verformung (10-fach), idealisiert verformter Ausgangszustand (grau) mit qualitativem Verformungsbild (schwarz)

Dies ist beispielsweise an der Neigung der nördlichen Außenwand zu erkennen, welche vermutlich im Zuge des Gewölbeeinbaus am Mittelschiff an der Außenseite lotrecht nachgearbeitet wurde. Dieser Schadensmechanismus dauert bis heute an und hat Kopfverschiebungen der Außenwände von etwa 25 bis 30 cm und Ausbauchungen der Hochschiffwände von etwa 10 cm ergeben.

5. Statische Nachrechnung

Zur Quantifizierung des beobachteten Schadensmechanismus und zur Auslegung des Instandsetzungsentwurfs wurde für das Langhaus ein idealisiertes statisches Gesamtmodell aufgebaut. Neben der Abbildung der Gründungselemente mit Bettungswerten für unterschiedliche Konsolidierungszustände wurde der Verbund der Mauerschwellen mit der Mauerkrone insbesondere im Mittelschiffdachstuhl mit Federn abgebildet. Abminderungen im E-Modul wurden für zugbeanspruchte Kopfbänder (Schlupf), Gewölbe- und Wandmauerwerk (Rissbildungen und Aufklaffungen) vorgenommen. Abtriebskräfte infolge der Lastausmitte durch die vorhandenen Schiefstellungen wurden als äußere Kräfte aufgebracht. Durch verschiedene Rechenläufe wurde so das System qualitativ auf den vorhandenen Verformungszustand „geeicht“.

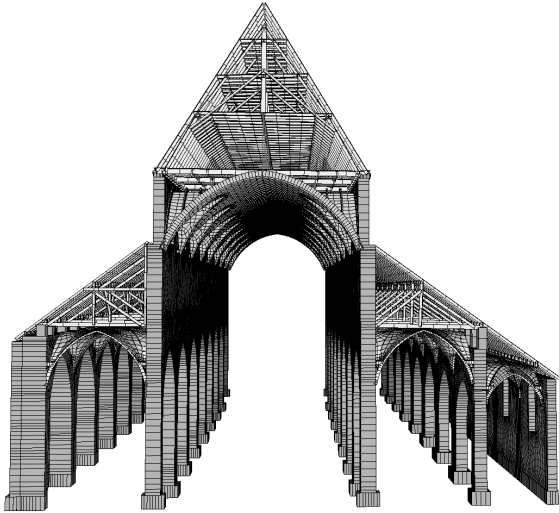


Abb. 5: Idealisiertes statisches Gesamtsystem (Giebel- und Chorbogenwand nicht dargestellt) [3]

6. Entwurf Statische Sicherungsmaßnahmen

Aufgrund der starken höhenmäßigen Gliederung der Gewölbe und des Mittelschiffdachs wurden Sicherungsmaßnahmen entwickelt, um die Gewölbe und das Mittelschiffdach unabhängig von einander statisch zu sichern. Dennoch wirken diese Subsidiärtragwerke im Verbund für das Gesamttragwerk, was im statischen Gesamtmodell insbesondere auch für die Anspannvorgänge nachvollzogen wurde.

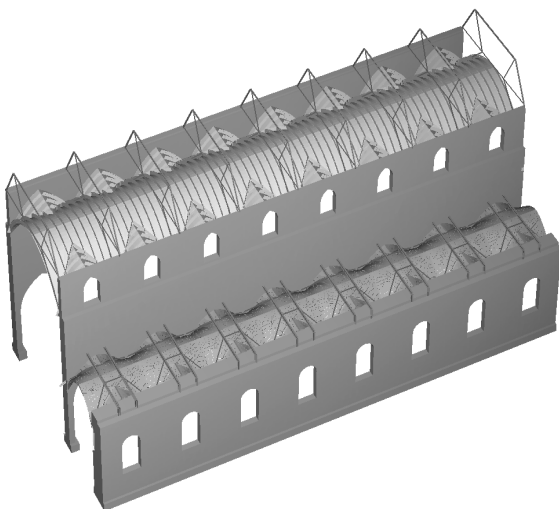


Abb. 6: Gewölbe mit Subsidiärtragwerken [3]

Für die Seitenschiffgewölbe wurde eine räumliche Verspannung entworfen, welche die Gewölbejoche entlang der Kreuzrippen im Dachraum diagonal verspannt und damit eine Sicherung in Quer- und Längsrichtung bewirkt. Für die südlichen Kapellenanbauten bot sich eine Aktivierung der bisher nicht angebotenen Querwände mit eingebohrlen Spannankern an. Das Mittelschiffgewölbe wird über ein ebenes hochgeführtes Zugband

gesichert, welches unabhängig von der Dachkonstruktion in einem Rahmen verspannt ist. Für die Dachkonstruktion wurden zur Entlastung der Schwellen auf Querbiegung zusätzliche Verspannungen der Stichbalken geplant. Aufgrund der geringeren Temperaturanfälligkeit gegenüber Stäben wurden für die Verspannungen Spiralseile gewählt. Um eine Sicherung für die Bauzustände bei der Tragwerksinstandsetzung zu bewirken, werden im ersten Schritt die Subsidiärtragwerke eingebaut, erst anschließend erfolgt die Instandsetzung der Dachtragwerke.

7. Instandsetzungsplanung

Die Instandsetzungsplanung erfolgte eng abgestimmt mit der Bauforschung, um die vielfältig noch vorhandenen Befunde der Baugeschichte weitestgehend zu erhalten und während der Bauzeit zu schützen. Basierend auf der detaillierten Schadenserfassung wurden je nach Schädigungsgrad der Holzsubstanz angepasste Sanierungsdetails entwickelt und detailliert ausgeschrieben [3]. Insbesondere für den bauzeitlichen Dachstuhl des Mittelschiffs wurden für die teilweise noch mit Fassungen und überkommenen Resten der Bretterdecke behafteten Stichbalken eine Reihe unterschiedlicher Details geplant. Die Instandsetzungen von Sparren, Streben, Kehlbalken, Kopfbändern, etc. wurden häufig nach Beanspruchungssituationen der vier unterschiedlichen Gespärretypen (Bindergespärre I und II sowie Normalgespärre I und II) getrennt ausgelegt. Dabei wurden bei niedrig ausgenutzten Bauteilen auch tragende Verbindungen mit Holznägeln bemessen. Eine weitere Anforderung an die Planung war die möglichst über den Winter kontinuierliche Bautätigkeit, da die Kirche in einem Zug saniert wird. Dazu wurden für die Dachstühle der Seitenschiffe überwiegend Sanierungsdetails für einen Einbau von innen geplant. Aufgrund des offensichtlichen statischen Handlungsbedarfs konnte unter Zusammenwirken aller Beteiligten die umfangreiche und diffizile Planungsaufgabe zügig abgeschlossen werden, so dass die Instandsetzungen bereits zwei Jahre nach Beginn der Begutachtungen begonnen wurden.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Uetz, K.; Bauhistorische Untersuchung der Dachräume: Befunde zur Bau- und Schadensentwicklung der Mauern und Gewölbe, 2013
- [2] Zimmermann & Meixner 3D WELT GmbH; Verformungsgerechtes Aufmaß, 2012
- [3] Schütz, K. G., Schubert, J.; Tragwerksbegutachtung und Instandsetzungsplanung der Evang.-Luth. St. Martinskirche, 2012 - 2014