



bauen mit holz

Denkmalpflege

• Kehlriegeldach mit fünf Kehlriegeln

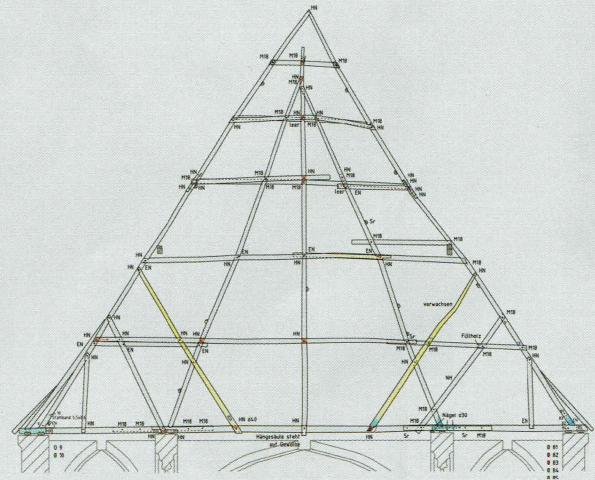
Erneuerung

Mit Wertschöpfung erhalten

Branche

Vor Ort bei den Landesverbänden

10 / 2007



Außergewöhnliches, gotisches Kehlriegeldach

Das Dachgespärre über dem Langhaus der Johanniskirche in Göttingen stellt mit fünf Kehlriegelebenen und knapp 17 m Sparrenlänge eine Seltenheit dar. Im 2. Weltkrieg zerstört, war die Dachkonstruktion über viele Jahre ungeschützt der Witterung ausgesetzt. Teilertüchtigungen der Dachkonstruktion in den Nachkriegsjahren konnten schwerwiegende Schäden nicht kompensieren. Die exakte Zustandsaufnahme und die denkmalgerechte Tragwerksplanung führten zu Planungs- und Kostensicherheit, ungestörtem Bauablauf und hohem, substantiellen Erhalt.

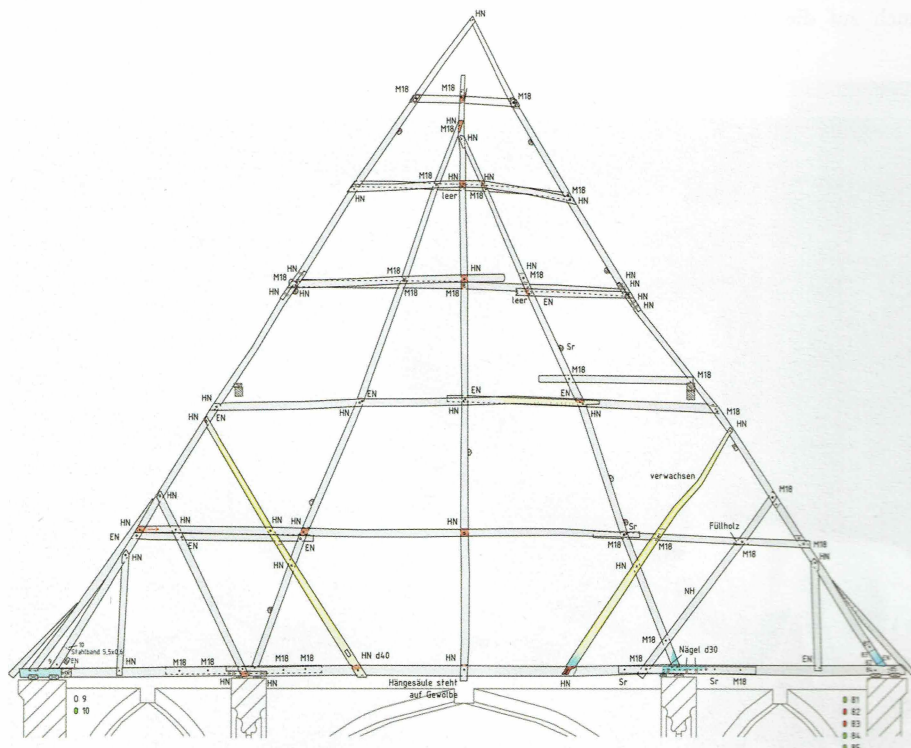


Bild 1 Verformungsgerechtes Aufmaß eines Gespärres

Schadensaufnahme, Kartierung,
Tragwerks- und Ausführungsplanung
Ingenieurbüro Götz & Ilseman,
31134 Hildesheim
Bautechnische Prüfung
Prof. Dr.-Ing Hinkes, 30159 Hannover
Natursteinarbeiten
Natursteinbetrieb Krause,
30167 Hannover
Zimmerarbeiten und Klempnerarbeiten
Bade Dächer, 29549 Bad Bevensen
Dachdeckung und Klempnerarbeiten
Gros + Zimmermann, 57074 Siegen
Gerüstbau
Gerüstbau Menke, 37079 Göttingen
Elektroinstallationen und Blitzschutz
Pröger Elektrotechnik, 37079 Göttingen
Fotos, Zeichnungen
Ingenieurbüro Götz & Ilseman

Das Langhaus unter dem Dach ist eine dreischiffige, klassisch gotische Säulenhalle ohne Strebepfeiler an den Außenwänden. Die Seitenschiffe sind – Wandachse zu Säulenachse – gut 4,3 m breit, das Mittelschiff misst rund 9,3 m zwischen den Stützenachsen. Die Breite des Langschiffes beträgt – Außenmaße – etwas über 19 m.

Dies sind für gotische Kirchenlangschiffe eher kleinere Abmessungen. Die Errichtung des Daches über dem Langhaus kann nach dendrochronologischer Untersuchungen auf 1348 datiert werden. Es ist ein einfaches, symmetrisches Satteldach zwischen zwei Giebelmauern ohne Dacheinbauten oder -aufbauten. Es scheint so, dass die gotischen Spitzbögen in Längsrichtung der Stützenreihen beim Aufrichten des Daches schon errichtet waren, weil sich das Dach durchgängig auch auf diesen Achsen auflagert. Kriegseinwirkungen zerstörten größere Teile der Dachdeckung. Freie Bewitterung über mehrere Jahre führten zu großen Fäulnisschäden an der hölzernen Dachkonstruktion. Die Schäden wurden nur notdürftig beseitigt und das Dach wieder gedeckt.

Kehlriegeldach mit innerem Strebenwerk

Die Dachkonstruktion besteht ausschließlich aus 26 geometrisch gleichen Gebinden in etwa 1,30 m Abstand. In die klassische Kehlriegeldachstruktur mit fünf Kehlriegeln in je etwa 3 m Höhenabstand zueinander ist zusätzlich, aufgestützt auf dem Bundbalken an der Basis, ein Strebenwerk eingefügt (Bild 1). Statisch ist das innere Strebenwerk einschließlich der Knechtstiele als mitwirkender

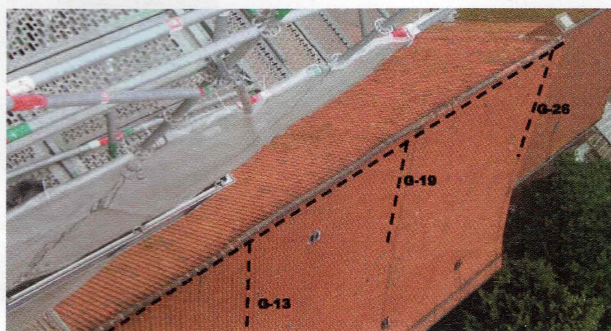


Bild 2 Verformte und ideale First- und Falllinien

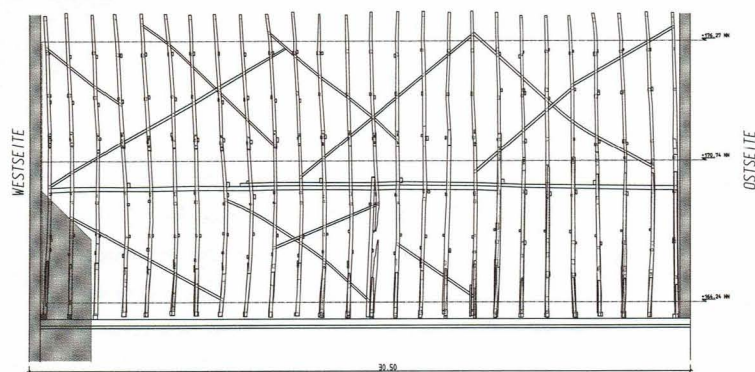


Bild 3 Längsschnitt durch das Dach mit nach dem 2. Weltkrieg eingebauter, unwirksamer Mittelpfette

Bestandteil des gesamten Gebindes zu betrachten. Die Dachneigung beträgt etwas weniger als 60° , woraus sich eine Höhe von etwas über 14 m und eine Sparrenlänge von rund 17 m ergibt.

Es sind ausschließlich einteilige Querschnitte eingesetzt. Die Sparren sind mit Zapfen und die Streben mit Schwalbenschwanzblättern und Versatz an den Bundbalken angeschlossen. Alle übrigen Hölzer sind mit Schwalbenschwanzblättern oder Überblattungen und Holznägeln miteinander verbunden. Die Stöße der Sparren sind in der Nähe von Kehrlriegelanschlüssen als lange, gerade Blätter mit schräger Stirn ausgeführt, wobei die Blätter in Dachebene liegen und an den Blättern jeweils zwei Holznägel eingeschlagen sind. In einem größeren Bereich liegen die Sparrenstöße bei dem dritten Kehrlriegel, in einem kleineren Bereich über dem zweiten. Die langen Kehrlriegel der unteren Riegelebenen sind in gleicher Weise gestoßen. Alle ursprünglichen Hölzer, von denen circa 60 % erhalten waren, sind aus Eiche. Die Querschnitte sind recht filigran (z. B. Sparren $14 \times 16 \text{ cm}^2$ bei 17 m Länge, 1.2.3. und 5. Kehrlriegel $10 \times 14 \text{ cm}^2$, 4. Kehrlriegel $12 \times 14 \text{ cm}^2$).

Es finden sich außer den Schwellen keine parallel zu den Traufen längs laufenden Hölzer wie Führungspfetten oder Ähnliches, auch nicht am First! Unter den Sparren gibt es sehr wenige, unsystematisch angeordnete Windrispen und ansonsten keinerlei Aussteifungs- oder Stabilisierungsstrukturen (Bild 3). Das Dach hat offenbar über die Jahrhunderte nur über die Dachlatten zusammengehalten.

Bei der Nachkriegsreparatur hatte man in etwa 7 m Höhe über den Säulenachsen Pfetten auf Stützen mit um rund 90 cm ausgestellten Kopfbändern eingefügt. Dieser Versuch, so muss nunmehr festgestellt werden, schlug aus mehreren Gründen fehl: Die verwendeten Mittelpfetten $b \times h = 18 \times 22 \text{ cm}^2$,

wurden bei einer Dachneigung von über 60° senkrecht gestellt. Nicht alle Sparren fanden ein Auflager. Dies war eine in sich unschlüssige, labile Konstruktion ohne stabilisierende Tragsystemverbesserung, weil sie weder längs noch quer nennenswerte Belastungen aufnehmen kann.

Schadensaufnahme und Kartierung

Es wurde ein ausführliches, verformungsgetreues Aufmaß des Ist-Zustandes in Auftrag gegeben. Die geometrische Aufnahme des Dachtragwerks mittels Digital-Elektronik-Theodoliten scheiterte an den Sichtschattenwirkungen der Stabfülle und den z. T. aufgerissenen und rundkantigen Querschnitten. So wurde die Konstruktion traditionell aufgemessen über ein Netzwerk von Schnüren, die

geodätisch definierte Festpunkte im räumlichen Koordinatensystem verbunden. Es war ein verformungsgerechtes Aufmaß der Genauigkeitsstufe II–III nach den bayerischen und baden-württembergischen LDA gefordert. Alle Hölzer wurden im Wesentlichen in Abständen von $a = 50 \text{ cm}$ in ihrer räumlichen Lage bestimmt und mit ihren Querschnitten aufgenommen. (Bild 4).

Nach Vorlage der geometrischen Aufmaßes wurden Schadensaufnahmen und besondere Erscheinungen an den Hölzern erfasst und kartiert. Die Aufnahme von Fehlstellen, aus denen mitunter auf Zweitholzverwendung geschlossen werden konnte, Fäulnis, Pilz und Insektenbefall bildeten die Basis für eine umfassende und zutreffende Leistungsbeschreibung. Bohrwiderstandsmessungen mittels Resistograph sowie endoskopische Untersuchungen in Bohrungen von $\geq 20 \text{ mm}$ ergaben eine sichere Zustandsbeschreibung.

Das Aufmaß ergab letztendlich die Genauigkeitsstufe III. In der Kartierung wurden alle Knoten maßlich über fotografische Orthogonalnetzsysteme mittels elektronischer

Historie – Geschichte der St. Johanniskirche

Das frühe Göttingen als Marktsiedlung und Stadt besaß drei Pfarrkirchen: St. Johannis, St. Jacobi und St. Nikolai und dazu das Gotteshaus des alten Dorfes Gutingi sowie St. Albani, vor der Stadt. St. Johannis als Ratskirche war die bedeutendste Predigerstätte in Göttingen. Vom Vorgängerbau der St. Johanniskirche aus dem 13. Jahrhundert ist nur das rundbogige Portal der Nordfassade erhalten. Der gotische Neubau der Kirche unter dem Patronat der Welfenherzöge begann um 1290 mit den Umfassungsmauern des Westbaus. Das von der Doppelturmanlage eingeschlossene Glockenhaus war 1348 nach dem ersten Glockenguss vollendet. Um 1400 erhielt der Nordturm die Stadtwächtertürmerwohnung. Diese blieb, mit zeitweise wechselnder Nutzung im 20. Jahrhundert, bis 2002 als höchste Studentenbehausung Deutschlands erhalten. Aus Brandschutzgründen musste diese allseitige Begehrlichkeit leider aufgegeben werden. Der Nord- und Südturm waren mit einer Brücke verbunden, die im 18. Jahrhundert verfiel. Heute sind davon nur am Südturm fragmentarische Ansätze zu finden. Das gotische Langhaus wurde um 1320 begonnen. Es wurde eingefügt zwischen dem vor-

handenen Westbau und dem östlichen Chor. Mitte des 14. Jahrhunderts konnte es eingewölbt werden, nachdem der fünfgeschossige, filigrane Dachstuhl gerichtet war. Erst in den 1950er Jahren der Nachkriegszeit wurde an der Sicherung und dem Wetzschutz des Langhauses gearbeitet. Nach 1970 wechselte die Trägerschaft der Türme von der Stadt Göttingen in das Eigentum der evangelisch-lutherischen Kirchengemeinde St. Johannis. In Vorbereitung dieses Wechsels fand eine städtische Sanierung der Turmanlagen statt. Bereits 30 Jahre später ergaben sich daraus große standsicherheitstechnische Probleme. Eine umfassende denkmalgerechte und statisch-konstruktiv notwendige Sicherung wurde nach 2000 erforderlich. In drei Bauabschnitten wurde der Westbau mit der Doppelturmanlage saniert. Vor deren Fertigstellung im Januar 2005 brannte der Nordturm als Opfer einer Brandstiftung nieder. Der Wiederaufbau konnte 2005 im November abgeschlossen werden (hierzu werden gesonderte Veröffentlichungen vorbereitet). Die Sanierung des Daches über dem Langhaus wird im November 2007 abgeschlossen sein.

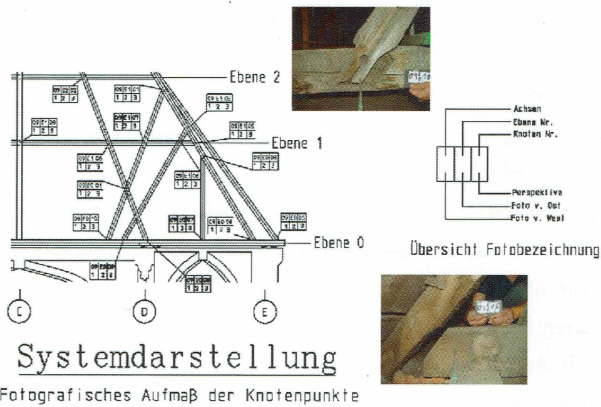


Bild 4 Systematisierung der fotografischen Aufnahme aller Knotenpunkte. Der „Klappblock“ liefert un-aufwändig die Positionsbeschreibung für die Abbildung und ist auf dieser festgehalten.

Hilfsmittel dokumentiert. Ein zuvor festgelegtes Achs- und Rastersystem einschließlich eines zugehörigen Ordnungssystems machte die Erfassung und Zuordnung von mehr als 4000 Fotos leicht möglich (Bild 4). Dabei wurde ein systematisiertes Dokumentationssystem eingesetzt, das die Abbildung, die Position der Aufnahme und die Merkmale des festgestellten Bestandes auf einfache Weise, aber eindeutig dokumentiert.

Die Abbildung gibt authentisch wider, der Metallstab ist an der Kamera befestigt und der Abstand zum Objekt ist bei allen Bildern gleich.

Rückschlüsse auf den Bauablauf aus dem Aufmaß

Aus den räumlichen Aufnahmen der Konstruktion und vielen Besonderheiten der Holzstrukturen konnten klare Erkenntnisse über den Richtvorgang im 14. Jh. gewonnen werden. So dienten offenbar die zuerst verlegten Bundbalken im 14. Jh. als Schnurboden für die Gespärre 1–17. Sie wurden über eine Zugvorrichtung, die wohl von den Türmen ausging, vertikal gestellt – gerichtet. Dabei erfuhren die Gespärre eine wesentliche Ausbauchung nach Osten (Bild 3). Für die folgenden Achsen reichte die Länge des Schnurbodens nicht mehr aus und es

wurde in zwei Ebenen gerichtet. Bis Kehltriegel 2 wurde liegend auf dem Bundbalken vorgefertigt. Auf dem zweiten Kehltriegel wurde dann eine Arbeitsebene eingerichtet und darauf die oberen Gespärreteile abgebunden und gerichtet. Die Lage der Stöße und die geringeren horizontalen Verformungen (Ausbauchungen) der Gespärre des zweiten Bauabschnitts weisen darauf hin.

Tragwerksanalyse

Insgesamt handelt es sich um ein statisch hochgradig unbestimmtes Tragwerk. Die großen Lastanteile werden durch die Sparren und die inneren Streben in den Bundbalken und von dort nach unten geleitet. Die Kehltriegel in Verbindung mit den inneren Streben mindern die Biegemomente in den Sparren und verkürzen deren Knicklänge bezüglich des Knickens aus der Dachebene. Die Holzquerschnitte sind verhältnismäßig klein, auch wenn man berücksichtigt, dass die Gebinde in dem engen Abstand von nur 1,30 m stehen und die Stützweiten klein sind. Die Dachkonstruktion ist knapp dimensioniert. Die Struktur ist besonders empfindlich gegenüber einseitigen Belastungen.

Schonende Restaurierung

Viele Verbindungen waren durch Holz-

strukturzerstörungen nicht mehr wirksam. Die am höchsten beanspruchten Fußpunkte der Gespärre zeigten die größten Fäulnisschäden. Die Schwellhölzer, das innere und das äußere, waren zu 90 % so weit verfault, dass nur noch Spuren des Holzes zu finden waren. Durch den Verlust der Stützungen an den Sparrenfüßen lagerten sich die Lasten über Biegebeanspruchungen der kürzeren Kehltriegel auf das innere Strebenwerk um. Eine Reihe der dadurch auf Biegung hoch beanspruchten oberen Kehltriegel zeigten große Biegeverformungen und zum Teil auch Biegebrüche (Bild 9). Dennoch blieb die Dachkonstruktion auf niedrigem Niveau standsicher.

Die Bilder 6 und 7 zeigen die Biegemomente und Normalkräfte für den symmetrischen Lastfall. Als nicht symmetrischer Lastfall ist der Wind maßgebend.

Die Tragwerksanalyse ergab, dass die Konstruktion in ihrer ursprünglichen Struktur trag-sicher wieder hergerichtet werden konnte. Zur Verbesserung der Struktur trägt in der Dachebene eine 40-mm-Lärchenschalung mit über 2 Felder versetzten Stößen erheblich bei. Die Schalung verteilt auf Grund ihrer Biegesteifigkeit die Windlasten auf mehrere Gebinde, so dass die nach DIN 1055 „alt“ erhöhte Last



Bild 5 Versackung des Dachfirses durch die zerstörten Sparrenfüße und Bundbalkenköpfe

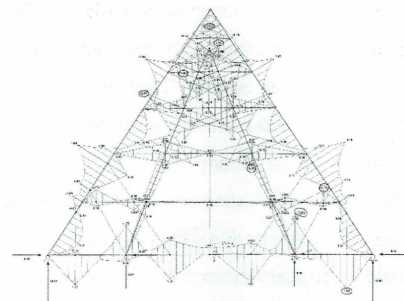


Bild 6 Momentenlinien des 5-geschossigen Kehltriegelgespärres

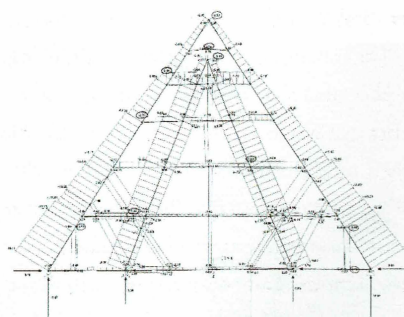


Bild 7 Normalkraftlinien des Gespärres

für das einzelne Tragglied nach dem Prinzip der „Nachbarschaftshilfe“ mehreren Gebinden zugewiesen werden kann („konstruktives Solidaritätsprinzip“). Die erhöhten Windlasten auf drei Gebinde wurden auf fünf verteilt. Durch die versetzten Stöße der Schalung entstand zudem eine solide Längsverbinding über alle Gespärre hinweg. Zusammen mit den inneren Diagonalen ist eine ausreichende Aussteifung und Stabilisierung in Dachlängsrichtung nachgewiesen.

So wurde ein Erhalt möglich. Ersatzhölzer wurden als Altholz in Eiche vorgesehen, so dass die Ursprünglichkeit wieder hergestellt werden konnte. Die eingezogenen Pfettenstränge waren, wie erwähnt, ohnehin wenig hilfreich und konnten entfernt werden.

Ebene Dachflächen waren notwendig

Die Tragwerksplaner schlugen vor, bei den in den Traufzonen arg zerstörten Bundbalken von der ursprünglichen Konstruktion schonend und kostengünstig abzuweichen: Die traufseitigen Abschnitte der Bundbalken wurden ersetzt. Die mittleren Bereiche der alten Bundbalken wurden um die Höhe der neuen, äußeren Ersatzhölzer angehoben und mit ausreichenden Übergreifungslängen über den Säulenachsen auf diese aufgelegt und zugfest mit Stabdübeln verbunden. Durch das Anheben des Bundbalkens über dem Mittelschiff ergab sich der Zusatzeffekt, dass die Fußanschlüsse des inneren Strebenwerks weitgehend durch Kürzungen der Streben auf die neue Höhe einwandfrei ohne Ersatzhölzer hergerichtet werden konnten.

Beim notwendigen Ersatz von Stabteilen oder Stäben konnte weitgehend mit Anlaschungen und Schraubenbolzen bewerkstelligt werden. Damit wurden die Schwächungen der intakten Hölzer minimal gehalten. Wo möglich und sinnvoll wurde die alte Konstruktion belassen und neue Hölzer zusätzlich eingebaut (Bild 9).

Ein möglichst vollständiges Geraderücken der Gebinde war von vornherein nicht vorgesehen. Um die Dachdeckung mangelfrei aufbringen zu können, musste jedoch eine ausreichende Ebenheit der Dachflächen hergestellt



Bild 8 Aufbringen des Schutzdaches



Bild 9 Hängesäule mit historischem oberstem Kehrlriegel und neu eingezogenem. Der alte Kehrlriegel wurde aus denkmalrechtlichen Gründen belassen. Das Bild zeigt die Ebene 5.



Bild 10 Blick in das sanierte 5-geschossige Kehrlriegeldach (hier unteres, inneres Strebenwerk)

werden. Folgende Festlegungen zur Höhenentwicklung der Dachflächen (Bilder 2 und 5) wurden getroffen:

$\Delta h_{HL} \leq 3 \text{ cm}$ von Achse zu Achse in der Höhenlinie

$\Delta h_{FL} \leq 4 \text{ cm}$ über 3 m Sparrenlänge in der Falllinie.

Die ursprüngliche Struktur ist technisch-funktional erhalten und substantiell wurde das noch Brauchbare genutzt.

Handwerkliche Umsetzung des Sanierungskonzeptes

Restauriert wurde in zwei, gleich großen Bauabschnitten. Nach Abnahme der Dachdeckung wurde 70 cm über den Gespärren ein

Foliendach installiert (Bild 8), so dass witterungsunabhängig gearbeitet werden konnte. Zunächst galt es die Gespärre auf ihre Sollhöhe zu bringen und die Bundbalkenebene in Ordnung zu bringen. Jedes Gespärre wiegt ungefähr 1,8 t. Jeweils drei Gebinde wurden en bloc mittels Pressen auf temporären Böcken gehoben, die beidseitig unter dem Übergang erster Kehlbalken – Sparren ansetzten. Zur Aufnahme der horizontalen Widerlagerkräfte wurden die Sparren- und Strebenfüße mittels Kettenzügen an mittlere Festpunkte angeschlagen. Nun mussten feinfühlig die Sollpositionen der Gebinde eingestellt werden und die Ersatzhölzer zugerichtet und eingebaut werden. Die Sanierungen der Kehlbalken- und Streben-

anschlüsse konnten dagegen in dem unbelasteten Zustand mit einfachen Fixierungen und Haltungen erfolgen. Die Arbeitsvorbereitung profitierte hier erheblich von der aufwändigen Gebäudeaufnahme. Im Zuge der Sanierung wurden Leitergänge und Laufstege fest eingebaut, die die Arbeiten erleichterten, die Arbeitssicherheit erhöhten und in Zukunft Inspektionen in Form von Begehungen ermöglichen.

Zusammenfassung

Das 650 Jahre alte Eichengesparre der St. Johanniskirche in Göttingen als fünfgeschos- sige Kehlriegelkonstruktion stellt eine besondere Seltenheit dar. Die Holzkonstruktion wurde besonders nach dem 2. Weltkrieg durch kriegsbedingte, langjährige freie Bewitterung geschädigt. Einige vorgenommene Reparaturen während der letzten 50 Jahre konnten eine langfristige Standsicherheit dieser, aus kleinen Querschnitten gebildeten Dachgespärre nicht gewährleisten.

Um die Sanierungsaufwände so genau wie möglich erfassen zu können, wurde einer for- mungsgerechten Aufmaß, Genauigkeitsstufe II bis III, gefordert. Als Basis für die Schadenskartierung sowie für die Festlegung der Leistungsumfänge diente dieses Aufmaß.

Die statische Nachweisführung zur Er- trüchtigung der Kehlriegelkonstruktion be- rücksichtigt das konstruktive Solidari- tätsprinzip der „Nachbarschaftshilfe“ im gesamten Gespärresystem. Durch diese wirk- lichkeitsnahe Betrachtung konnte für das fi- ligrane Gesamtsystem ohne gravierende Veränderungen die Standsicherheit nachge- wiesen werden.

Das außergewöhnliche Dachtragwerk konnte so sehr ursprünglich erhalten werden.

Es wurde kein „glattes“ Dach angestrebt. Die Wellen im Dach wurden durch verabre- dete Höhendifferenzen begrenzt. Die Sanie- rungsmaßnahme lief über 2 Jahre und wird im November 2007 abgeschlossen werden.

Quellen

- (1) D. Denecke, H.-M. Kühn: Göttingen, Geschichte einer Universitätsstadt, Band 1, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1987
- (2) Pflichtenheft: Digitale Bestandserfassung des hessischen Baumanagement, Ausgabe 2002
- (3) Sonderforschungsbericht 315 von Fritz Wenzel, Universität Karlsruhe (FH), Historische Holztragwerke 1999
- (4) Dendrologische Gutachten von 2006

Autor

Dipl.-Ing. Jürgen Götz ist Mitinhaber des Ingenieurbüros Götz & Ilsemann mit Büros in Hildesheim und Beelitz, das seit Jahrzehnten einen Tätigkeitsschwerpunkt in der Denkmalpflege, speziell bei Kir- chen hat.

Aktiv mit Erfolg: Passiv mit FrameWorks™!

- TJI™-Doppel-T-Träger aus Holz
- Timberstrand™ Furnierlangspanholz
- minimierte Wärmebrücken
- erprobte Details, hohe Dämmstärken
- die Alternative für energieeffizienten Bau

Das FrameWorks™ Bausystem: bewährten Komponenten, clever eingesetzt, schnell lieferbar. Erprobte Detaillösungen für diverse Konstruktionen stellen wir Ihnen gerne persönlich vor oder senden Ihnen unseren Passivhauskatalog. Sie wollen aktiv erfolgreich im Holz- und Passivhausbau sein? FrameWorks™!

Dazu passend: das grosse Sortimentsangebot „Holzbau“. Standardprodukte und intelligente Neuheiten plus Ingenieurberatung in-house! Einfach besser beraten. Und fair gehandelt. Testen Sie uns!

Noch Fragen? Senden Sie eine E-Mail an email@enno-roggemann-bremen.de oder rufen Sie uns an: **Telefon 04 21 - 51 85 - 49.**

 **Enno Roggemann**

Ahrensstraße 4 - 28197 Bremen

Weitere Informationen:
www.roggemann.de
www.rogshop.de

Energieschleuder wird Passivhaus!



WIR ZEIGEN, WIE'S GEHT.

Ehrgeizige Architekten, erstklassige Stuckateure und erfahrene Zimmerleute wissen: Mit dem diffusionsoffenen **IN THERMO** Wärmedämm-Verbundsystem lässt sich so mancher Altbau in ein bewunderns- und bewohnenswertes Passivhaus verwandeln. Der Effekt: Der Energiebedarf geht gegen null, der Wohnkomfort steigt spürbar und das Wetter bleibt auf Dauer draußen. Profitieren Sie vom gewachsenen Know-how, dem stimmigen Systemprodukte-Sortiment und der Dynamik einer innovationsfreudigen Marke: **IN THERMO!** Rufen Sie uns an: **Fon 0 61 54/71-16 69.** Wir informieren Sie gern näher.

IN THERMO AG - Roßdörfer Straße 50 · D-64372 Ober-Ramstadt
info@inthermo.de · www.inthermo.de


IN THERMO
Systemlösungen für den Hausbau