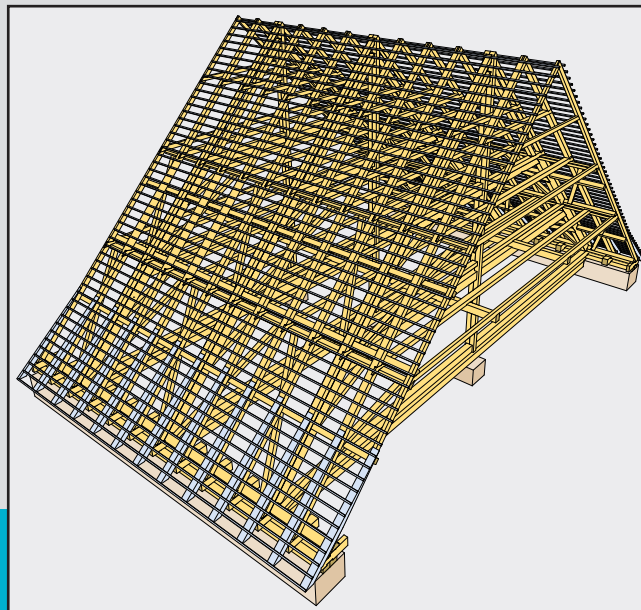


Instandsetzungshandbuch für historische Dachwerke und deren Verbindungen

MA-4-04/2014



Jérôme Ortner
Institut für Holzbau und Holztechnologie
Technische Universität Graz

MASTERARBEIT

INSTANDSETZUNGSHANDBUCH FÜR HISTORISCHE DACHWERKE UND DEREN VERBINDUNGEN

Masterarbeit von
Jérôme Ortner
aus Gralla / Steiermark

Eingereicht am
Institut für Holzbau und Holztechnologie



Fakultät für Bauingenieurwissenschaften
Technische Universität Graz

Erstprüfer:
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Schickhofer

Betreuer:
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Schickhofer
DDipl.-Ing. Andreas Meisel

Graz, am 18.03.2014

Eidesstattliche Erklärung:

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und/oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ich versichere, dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einem Beurteiler oder einer Beurteilerin) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Graz, am 18.03.2014



(Ortner Jérôme)

Dankesrede

Hiermit möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich in den Jahren meines Studiums unterstützt und mir immer mit Rat und Tat beiseite gestanden sind.

Allen voran, meiner Mutter, DGKS Josefa Ortner, die mir stets ein guter Gesprächspartner war, immer ein offenes Ohr für mich hatte und mich in allen Bereichen nach ihren Möglichkeiten unterstützte.

Hrn. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Schickhofer, der mich unter seine Fittiche nahm, mir die Chance gab, mich zu entfalten und weiterzubilden und mich immer unterstützte und förderte.

Hrn. DDipl.-Ing. Andreas Meisel, der mir zu jedem Zeitpunkt bei meiner Arbeit mit seinem gesamten Wissen zur Verfügung stand und für mich ein großartiger Kollege war.

Hrn. Dipl.-Ing. Manfred Augustin der mich ebenfalls immer unterstützte.

Hrn. Dipl.-Ing. Gregor Silly und Hr. Dipl.-Ing. Bernhard Wallner, mit welchen ich in den letzten Jahren eng zusammenarbeiten durfte und in welchen ich ebenfalls sehr hilfsbereite Kollegen fand.

Weiter möchte ich mich bei folgenden Bau- und Zimmermeistern für die sehr kompetenten Fachgespräche und die ihrerseits aufgebrauchte Zeit bedanken:

Dipl.-Ing. Oskar Beer, Holz&Bau Hirschböck, Hartberg

Bmstr. Max Dallago, Holzbau Max Dallago, Semriach

Zmstr. Gottfried Guster, Gottfried Gutster GmbH, St. Ruprecht

Zmstr. Rupert Haas, Holzbau Haas GmbH, Eggersdorf bei Graz

Zmstr. Josef Konrad, Konrad Zimmerei GmbH, Frohnleiten

Ing. Josef König, Holzbau König, St. Radegund

Bmstr. tech. Rat Ing. Rudolf Leitner bzw. Zmstr. Strunz, Leitner Zimmerei & Bau GesmbH

Bmstr. Zmstr. Prof. tech. Rat Ing. Herbert Majcenovic, Judendorf-Strabengel

Bedanken möchte ich mich auch noch bei Fr. Mag. Eva Kavelar und Fr. Hildegard Weißnar für die großartige Unterstützung bei allen zu erledigenden administrativen Belangen. Zu guter Letzt möchte ich noch meinen Geschwistern, Pascal Ortner und Rafaela Neuwirth sowie Anna Heigl und Sabrina Heinisch, die mich ebenfalls immer unterstützten und mir mit ihrer Meinung und Offenheit stets weitergeholfen haben, meinen Dank aussprechen.

Thomas Edison soll gesagt haben:

“Ich habe nicht versagt. Ich habe nur 10.000 Wege gefunden, wie es nicht funktioniert.“

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
Fachterminus / Begriffsdefinitionen	2
1 Geschichte, Systeme, Tragwirkung	6
1.1 Geschichtliche Entwicklung	6
1.2 Einteilung der Dachwerke und deren Dachformen bzw. -neigungen	8
1.3 Die grundlegenden Dachtragwerksarten: Das Sparren- und das Pfettendach	10
1.3.1 Das Sparren- bzw. Kehlbalkendach	10
1.3.2 Das Pfettendach	15
1.4 Gegenüberstellung der Lastabtragung eines Kehlbalken- und Pfettendachwerks	19
1.5 Sparren- und Kehlbalkendächer ohne Bundtram in allen Gespärren	25
1.5.1 Klassifizierung und Entwicklung historischer Dachtragwerke	27
2 Zimmermannsmäßige Verbindungen	30
2.1 Typische Verbindungsausbildungen und -geometrien	30
2.1.1 Stöße	32
2.1.2 Blätter	32
2.1.3 Kämme	34
2.1.4 Zapfen	35
2.1.5 Hälse	35
2.1.6 Versätze	36
2.1.7 Klauen	36
2.1.8 Kombinationen	37
2.2 Tragverhalten	38
2.2.1 Hölzerne und eiserne Verbindungsmittel in historischen Dachtragwerken	39
2.3 Verbindungen des Dachstuhls der Alten Universität Graz	41
2.3.1 Kurzbeschreibung des Dachtragwerkes	41
2.3.2 Detail Fußpunkt	43
2.3.3 Detail liegender Stuhl der 1. Ebene sowie 1. Kehlbalkenebene	44
2.3.4 Detail liegender Stuhl der 2. Ebene sowie 2. Kehlbalkenebene	45
2.3.5 Detail Hahnenbalken sowie Firstpunkt	46
2.3.6 Detail Firstpunkt des Leergespärre	47
2.3.7 Montagevorgang am Beispiel des Dachtragwerkes der Alten Universität Graz	48

3	Bestandserfassung, Schadensanalyse und Zustandsbeurteilung	56
3.1	Grundlagen zur Bestandserfassung	56
3.2	Vorgehensweise bei einer Bestandserfassung	58
3.3	Schadensanalyse	60
3.4	Typische Schäden historischer Dachtragwerke	62
3.4.1	Schadensarten und deren Ursachen	62
3.5	Erfassen, analysieren und bewerten von Schäden	69
3.6	Bewertung der Schäden bzw. des Zustandes historischer Dachtragwerke	71
4	Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungskonzepte	86
4.1	Begriffsdefinitionen	86
4.2	Instandsetzungskonzepte und deren Vorgehensweise	86
4.2.1	Beispiele zu den Vorgehensweisen	87
4.2.2	Grundsätze	90
4.3	Denkmalschutz	101
4.4	Gesetze / Normen	104
5	Instandsetzungsbeispiele für typische Schadensbilder	108
5.1	Allgemeines	108
5.1.1	Anmerkungen zur Anwendbarkeit von Verbindungsmittel	109
5.2	Schäden im Fußpunktbereich	110
5.2.1	Instandsetzungsbeispiele bei Schäden im Fußpunktbereich	114
5.2.2	Querschnittsschwächungen	135
5.2.3	Schäden an Kehlbalken – Sparrenverbindungen sowie Firstpunkten	136
6	Vereinfachte Berechnung historischer Verbindungen	140
6.1	Weißschwanzverbindung	140
6.1.1	Weißschwanzverbindung auf Zug belastet	140
6.1.2	Weißschwanzverbindung auf Druck belastet	142
6.2	Schwalbenschwanzverbindung – Anschlusswinkel $\alpha = 90^\circ$	143
6.2.1	Schwalbenschwanzverbindung auf Zug belastet	143
6.2.2	Schwalbenschwanzverbindung auf Druck belastet	144
6.3	Vereinfachte Berechnung typischer Kammverbindungen	145
6.3.1	Halb-, Mittel- und Vollkamm	145
6.3.2	Kreuzkamm	146
6.4	Umrechnungstabelle auf Designlasten	147

Anhang A	164
Anhang B	168
Anhang C	174
Anhang D	178
Anhang E	194
Anhang F	202

Einführung

Im Zuge der Bearbeitung des Bridge – Forschungsprojektes „HOLZ – HOLZ – Verbindungen“, wurde die Idee zu einem Instandsetzungshandbuch für historische Dachwerke und deren Verbindungen geboren und in den Antrag mit aufgenommen. Um in weiterer Folge den Inhalt dieses Buches genauer definieren zu können, wurde im ersten Schritt die aus vorangegangenen Forschungsarbeiten bekannte Literatur als Grundlage aufbereitet. Im nächsten Schritt wurden Bau- und Zimmermeister aufgesucht, welche bereits Erfahrung mit historischen Dachtragwerken sammeln konnten. Um eine gemeinsame Gesprächsbasis mit allen Beteiligten aufbauen zu können, wurde ein Fragenkatalog erarbeitet und sämtliche zuvor am Institut für Holzbau und Holztechnologie der Universität Graz erarbeiteten Instandsetzungsdetails zusammengetragen. Bei den Gesprächen konnten aufgrund dieser Unterlagen die Erfahrungen, Wünsche und sonstige Anmerkungen der Bau- und Zimmermeister aufgegriffen und in weiterer Folge in die Planung des Inhaltes des Instandsetzungshandbuches mit aufgenommen werden. Bei den Gesprächen wurde im Bezug auf die Ausbildung der Zimmermeisterlehrlinge seitens der Befragten durchwegs die zu kurze Behandlung des Themas Instandsetzung historischer Holztragwerke bemängelt.

Aufgrund dieser Informationen wurde beschlossen, das Instandsetzungshandbuch derart zu gestalten, dass sich ein Zimmermeisterlehrling im dritten Lehrjahr mit diesem Buch Grundkenntnisse zum Bereich Instandsetzung historischer Dachtragwerke aneignen kann. Dieses Instandsetzungshandbuch soll Hilfestellungen und Anregungen beinhalten. Zu diesem Zweck wird eingangs des Instandsetzungshandbuches ein Glossar zu den wichtigsten Begriffen angeführt. Weiter wird im ersten Kapitel ein Überblick zur geschichtlichen Entwicklung historischer Dachtragwerke und die über die Jahrhunderte entstandenen Systeme gegeben. Da es in der Praxis oft zu Problemen bei der Erkennung des statisch-konstruktiven Systems kommt, wird in weiterer Folge die Tragwirkung der zwei mit Abstand am häufigsten vorkommenden historischen Dachtragwerke in Mitteleuropa erläutert (das Kehlblechdach mit Stuhl und das Pfettendach mit zweifachem Hängewerk).

Das zweite Kapitel umfasst die typischerweise zur Anwendung gelangten zimmermannsmäßigen Verbindungen in historischen Dachtragwerken und deren Tragverhalten. Weiter wird ein für das 17. Jh. typisches Tragwerk inklusive der Verbindungen vorgestellt. Anhand dieses Tragwerkes wird beispielhaft der Montagevorgang historischer Dachwerke im Detail grafisch erläutert.

Das dritte Kapitel umfasst die Themen Bestandsaufnahme, Schadensanalyse und Zustandsbeurteilung. Dabei werden Grundkenntnisse zur Bestandsaufnahme und Schadensanalyse gegeben und eine mögliche Vorgehensweise aufgezeigt, welche im Anhang mit guten Beispielen aus der Praxis ergänzt wird. Weiter werden die typischen Schäden und Schadensschwerpunkte, welche in historischen Dachtragwerken häufig vorzufinden sind und deren Ursachen erläutert. Abschließend wird eine Methodik zur Zustandsbeurteilung historischer, hölzerner Dachtragwerke, welche am Institut für Holzbau und Holztechnologie der Technischen Universität Graz entwickelt wurde, angeführt.

Die Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungskonzepte, der Denkmalschutz sowie die zu berücksichtigenden Gesetze und Normenwerke werden im vierten Kapitel behandelt.

Das fünfte Kapitel beinhaltet die Instandsetzungsbeispiele zu den in historischen Dachtragwerken typischerweise auftretenden Schadensbildern. Diese werden zu Beginn des Kapitels erläutert und in weiterer Folge dazu werden mehrere mögliche Instandsetzungsbeispiele, abhängig vom Schädigungsgrad, angeführt.

Abschließend werden im sechsten Kapitel Diagramme zur näherungsweisen Ermittlung der Tragwiderstände historischer zimmermannsmäßiger Verbindungen angeführt. Zusätzlich werden computergestützte Berechnungen mittels dem Office Programm Excel zur Verfügung gestellt. Diese Dateien sind auf der beigelegten CD zu finden.

Fachterminus / Begriffsdefinitionen

Um ein einheitliches Verständnis zu den in historischen Dachwerken verwendeten Begriffen zu erreichen, werden im Folgenden die wichtigsten Begriffe angeführt und erläutert.

Abbund

Abbinden ist das maßgerechte Anreißen, Bearbeiten und Kennzeichnen von Schnitt- und Rundholz für Tragwerke (vgl. MÖNCK (1999)). Man unterscheidet den traditionellen, den zeichnerischen, den rechnerischen und den computergestützten Abbund. Diese Verfahren werden in der Praxis heutzutage auch kombiniert.

Abbundzeichen

Abbund- oder Bundzeichen sind Buchstaben, Ziffern, Symbole oder Muster, welche in das Holz meist eingeschlagen oder eingeschnitzt werden und die zusammengehörigen Bauteile markieren. Dies ermöglicht ein Abbinden des Dachtragwerks oder anderen Holzbauten am Abbundplatz und ein später am Bestimmungsort leichteres Auffinden der zusammengehörigen Bauteile.

Anbau

Ein Anbau ist die Erweiterung eines Gebäudes in horizontaler Richtung.

Anschluss

Der Anschluss bezeichnet die Lage eines Stabes an einen anderen genauer. Anschlüsse können stumpf, bündig oder abgesetzt sein. Dies gibt wiederum Aufschluss zur Verbindung selbst.

Ausbau

Unter Ausbau versteht man sämtliche Arbeiten an einem Bauwerk (Neu- als auch Altbau), dessen Rohbau einschließlich Dachtragwerk und Dachdeckung bereits fertiggestellt wurde (z. B. der Ausbau eines ursprünglich nicht genutzten Dachraumes).

Bauschaden

Bauschäden sind Auswirkungen von Fehlern (z. B. Mängeln), welche die Tragsicherheit bzw. die Funktions- und/oder Gebrauchssicherheit innerhalb der normalen Nutzungsdauer des Bauwerkes beeinträchtigen.

Bestandsschutz, rechtmäßiger Bestand

Bestandsschutz besteht für alle Gebäude, welche mit einer gültigen Baugenehmigung errichtet worden und somit als „rechtmäßig“ einzuordnen sind. Auch wenn diese Baugenehmigung zum Zeitpunkt ihres Erteilens rechtswidrig gewesen ist, hat diese Tatsache keinen Einfluss auf den Bestandsschutz (vgl. STMK. BAUG § 40).

Einheit

Jedes Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, jede Funktionseinheit, jedes Betriebsmittel oder System, das für sich allein betrachtet werden kann. (vgl. ÖNORM EN 13306:2001)

Instandhaltung

Die Instandhaltung ist lt. ÖNORM EN 13306:2001 die: „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so daß sie die geforderte Funktion erfüllen kann.“

Auf das Bauwesen bezogen bedeutet das, dass die Instandhaltung alle Maßnahmen beinhaltet, welche zur Erhaltung des Sollzustandes eines Bauwerkes erforderlich sind.

Die Instandhaltung kann vollständig in folgende Grundmaßnahmen unterteilt werden (siehe Abb. 0.1; vgl. ÖNORM M 8100):

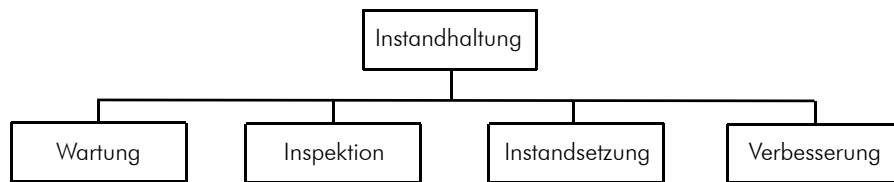


Abb. 0.1: Unterteilung der Instandhaltung (vgl. DIN 31051:2003 S. 2)

Inspektion

Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes einer Betrachtungseinheit einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung (vgl. DIN 31051:2003).

Instandsetzung

(siehe Kapitel 4 / Abb. 4.1)

Maßnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand, mit Ausnahme von Verbesserungen.

Das allgemeine Ziel einer Instandsetzung ist die Wiederherstellung der Tragsicherheit. Dazu werden bei der Instandsetzung nicht mehr ausreichend funktionstüchtige Bauteile repariert bzw. ausgetauscht, um die gestellten Anforderungen an das Dachtragwerk erfüllen zu können (z. B. Tragsicherheitsnachweis; vgl. GIEBELER U. A. (2008)).

Knoten

Bei einem Knoten treffen mehrere Stäbe aufeinander und interagieren miteinander. Es werden ebene Knoten (alle Stäbe liegen in einer Ebene) und räumliche Knoten unterschieden.

Mangel

Ein Mangel ist im Bauwesen als eine nicht erfüllte, vorgeschriebene oder vereinbarte Forderung bzw. Eigenschaft anzusehen. Mängel können bereits bei Fertigstellung des Gewerkes vorliegen, aber auch nach Fertigstellung kann es zu einem späteren Zeitpunkt zu einem augenscheinlichen Mangel (versteckter Mangel) kommen (vgl. MEISEL (2009A)).

Modernisierung

Die Modernisierung ist grundsätzlich ein Begriff aus dem Mietrecht und beinhaltet z. B. eine Teilsanierung in Form von Ertüchtigung des Wärme- oder Schallschutzes (vgl. GIEBELER U. A. (2008)).

Nutzungsänderung

Unter Nutzungsänderung versteht man die Veränderung der genehmigten Bauart eines Gebäudes (z. B. Dachbodenausbau).

Redundanz – redundantes Verhalten

Vorhandensein von mehr als einer für die Funktionserfüllung zu einem gegebenen Zeitpunkt erforderlichen gleichartigen Einheit in einem System (vgl. ÖNORM EN 13306:2001).

Rekonstruktion

Unter Rekonstruktion versteht man den Nachbau eines zerstörten, nicht mehr vorhandenen Bauteils bzw. -werks und somit eines „Neubaues“. TICHELMANN U. A. (1993 – 1) empfiehlt ab einem Schädigungsgrad von 50 Prozent eine Rekonstruktion der geschädigten Bauteile.

Reparatur

Physische Maßnahmen, die ausgeführt werden, um die geforderte Funktion einer fehlerhaften Einheit wiederherzustellen (vgl. ÖNORM EN 13306:2001).

Sanierung

Bei Sanierungen werden keine Änderungen an der Tragstruktur oder der Raumbildung vorgenommen. Hier wird zwischen Teilsanierung und Sanierung unterschieden, wobei die Teilsanierung im Gegensatz zur Sanierung nur einen bestimmten Bau- bzw. Gebäudeteil umfasst. Sanierungen umfassen üblicherweise das gesamte Gebäude.

Umbau

Unter Umbau wird das bauliche Verändern eines bestehenden Bauwerks verstanden. Dabei wird stets in die Tragstruktur des Dachtragwerkes eingegriffen und beinhaltet den Anbau (z. B. Tragwerkserweiterung) wie auch den Abriss von Teilen des Dachtragwerkes.

Verbesserung

Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Funktionssicherheit einer Einheit, ohne die von ihr geforderte Funktion zu ändern (vgl. ÖNORM EN 13306:2001).

Verbindung

Bei einer Verbindung werden zwei Stäbe zum Zweck der Kraftübertragung zusammengefügt.

Nach Gerner (2000) können folgende Verbindungsarten unterschieden werden: Stöße, Blätter, Kämme als Sonderform des Blattes, Zapfen, Hälse, Versätze und Klauen.

Nach Graubner (1986) können folgende Verbindungsformen (beschreibt die Lage der Hölzer zueinander) unterschieden werden: Längsverbindungen, Winkel- und Kreuzverbindungen, Eckverbindungen.

Weitere Klassifizierungsmöglichkeiten sind beispielsweise Opperbecke (1913) und Zwerger (1997) zu entnehmen.

Verbindungsmittel

Bei den Verbindungsmitteln gibt es verschiedene Arten wie z. B. historische Holznägel, Keile, Schmiedeeisen usw., welche unterschiedliche Aufgaben erfüllen.

Wartung

Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrates (vgl. DIN 31051:2003).

Im Bauwesen bedeutet das eine regelmäßige Kontrolle und Instandhaltung der baulichen Anlage.

Erläuterung zu Anschluss, Knoten und Verbindung

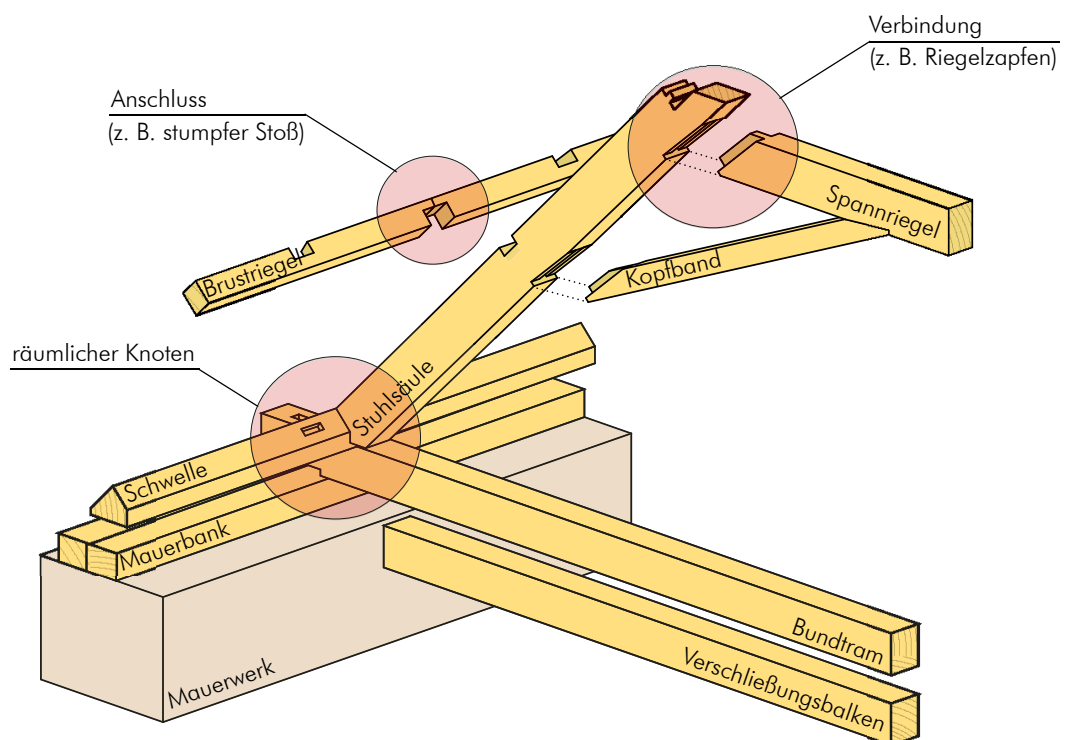


Abb. 0.2: Auftreten der einzelnen oben angeführten Begriffe in einem Dachtragwerk

1 Geschichte, Systeme, Tragwirkung

In diesem Kapitel werden nach einem kurzen Exkurs in die geschichtliche Entwicklung von Dachtragwerken und der Bearbeitung der Bauhölzer, die grundsätzlichen Unterschiede der zwei, allen anderen Dachtragwerken zu Grunde liegenden, in Mitteleuropa entstandenen Tragsysteme erklärt. Weiterhin wird die Lastabtragung der einzelnen Systeme erklärt, mögliche Ausbildungen der verschiedenen Knotenpunkte eines Dachtragwerkes aufgezeigt, sowie deren Lastabtragung erläutert. Am Ende dieses Kapitels sollen die unterschiedlichen Dachtragwerke erkennbar und deren Lastabtragung für jeden Baufachmann verständlich sein.

1.1 Geschichtliche Entwicklung

Von Anbeginn der Menschheit lebte dieser als Jäger und Sammler. In der Mittelsteinzeit (Mesolithikum), vor etwa 12.000 Jahren, begann sich in Mitteleuropa der Mensch geografisch niederzulassen und mit Beginn der Jungsteinzeit (Neolithikum), vor etwa 8.000 Jahren, begann der Mensch sesshaft zu werden. Dieser Zeitpunkt gilt im Allgemeinen auch als Beginn des Ackerbaus und der Viehzucht in Mitteleuropa. Infolge der Sesshaftigkeit stiegen die Anforderungen an Behausungen, welche die Menschen, aber auch ihre Nutztiere und Vorräte vor Witterungseinflüssen schützten. Um diese Behausungen zu bauen, benötigte man anfangs leicht zu bearbeitende Materialien, da man zu Beginn nur über einfache, primitive Werkzeuge verfügte. Die Wahl der Materialien war stark vom Angebot der Natur abhängig. In erster Linie wurden Steine und, aufgrund der guten Bearbeitbarkeit, Holz verwendet. Anfangs wurden die einzelnen Hölzer nur mit Seilen verbunden und vorhandene Wuchsmerkmale, z. B. Astgabeln zur Lagesicherung, für die primitiven Behausungen genutzt. Der Grundstein für den dörflichen Hausbau war gelegt. (vgl. DEINHARD (1963), ERLER (2004), WEINER (1992), WEIXLER (1980), ZWERGER (1997))

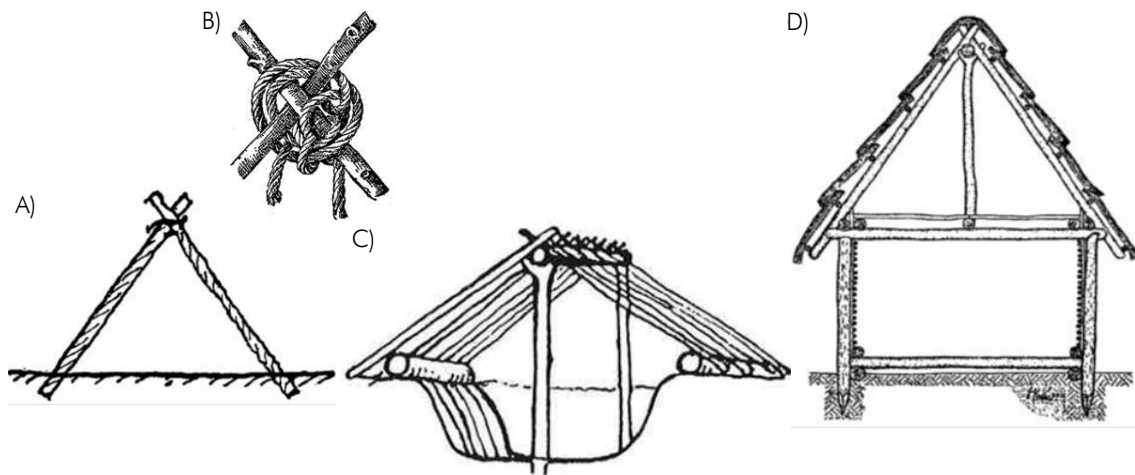


Abb. 1.1: A): „Dachhütte“ (vgl. LEHRMANN (1960) S. 112); B): „Nurdach-“ beziehungsweise Grubenhaus (vgl. ERLER (2004) S. 139); C): „Steinzeitknoten“ von Dullenried im Federseemoor (vgl. GERNER (2000) S. 22); D): Pfostenbau um 1100 vor Christus (vgl. WEIXLER (1980) S. 2.13)

Aufgrund der Vorratshaltung war es nun möglich, ein kontinuierliches Nahrungsangebot bereitzustellen und dies wiederum ermöglichte eine höhere Bevölkerungsdichte. Durch die Entwicklung besserer Werkzeuge, entstanden aus den primitiven Behausungen und Hüttenkonstruktionen die ersten Pfostenhäuser. Später wurden diese Pfostenhäuser zum heute bekannten Fachwerkhaus weiterentwickelt, welches von der Antike bis in das 19. Jh. in Mitteleuropa eine der vorherrschenden Bauweisen war (vgl. BRÄNDLE U. A. (1997 S. 118)).

Die zwei, den in Mitteleuropa zu Grunde liegenden, aus der Bautradition heraus entstandenen Dachtragssysteme sind das römische Pfettendach und das germanische Sparrendach. Bereits vor Christi Geburt war es den Römern möglich, mit flachgeneigten Hängewerken, lichte Weiten bis zu 15 Metern zu überspannen. Das germanische Dach war im Gegensatz dazu viel steiler geneigt und wurde den klimatischen Bedingungen und vorhandenen Dachdeckungsmaterialien Mittel- und Nordeuropas besser gerecht.



Abb. 1.2: Links: römisches Pfettendach (vgl. ERLER (2004) S. 140); Rechts: frühmittelalterliches Sachsenhaus – Germanisches Sparrendach (FOTO ROELAND PAARDEKOOPEER)

Die Spezialisierung der Menschen auf unterschiedliche Berufe machte es in weiterer Folge möglich, die Qualität der erlernten Arbeitstechniken auf einem gleichbleibenden Niveau zu halten und weiter zu verbessern. Ab dem Mittelalter war der Zimmererberuf vor allem in Städten unentbehrlich. Die Baukunst der Zimmermannszunft wuchs über die Jahrhunderte und beruhte hauptsächlich auf über Generationen weitergegebene Erfahrungen und Versuche sowie der Intuition der Zimmerleute. Auch die verwendeten Materialien wurden aufgrund von jahrelanger Erfahrung gewählt, da es aufgrund fehlender Kenntnis, keine Möglichkeit der Berechnung gab. Erst ab dem 15. Jh. begannen Wissenschaftler sich mit dem Bereich der Festigkeitslehre auseinanderzusetzen. Der überwiegende Teil der historischen Dachtragwerke ist aus diesem Grund, nach heutigem Stand der Technik, nicht berechenbar und als statisch hochgradig unbestimmt zu beurteilen. Die Erfahrung mit historischen Dachtragwerken zeigt jedoch, dass aufgrund der Redundanz der Tragwerke diese als besonders „sicher“ angesehen werden können.

Bis etwa Mitte des 19. Jh. wurden Bauhölzer fast ausschließlich händisch bearbeitet. Es gab zu diesem Zeitpunkt zwar bereits die Möglichkeit gesägte Bretter zu erwerben, jedoch waren diese für die normale Bevölkerung kaum leistbar. Dies beruht einerseits auf der Tatsache, dass diese Art der Holzbearbeitung aufwendig und die Herstellung von brauchbaren Metallsägen kostenintensiv war und andererseits die Längen der Bauhölzer technologiebedingt auf fünf bis sechs Meter begrenzt waren. Zur Erstellung eines historischen Dachtragwerkes wurden jedoch durchwegs längere Balken benötigt. Aus diesem Grunde wurde das zur Herstellung eines Dachtragwerkes benötigte Holz mit Beilen behauen. Dazu mussten die Baumstämme, welche oft von weit her angekart oder geflößt wurden, entrindet, entastet und auf Länge gekappt werden. Danach wurde mit Hilfe einer Schlagschnur der Verlauf der fertigen Kante markiert und das überflüssige Holz entfernt. Um Material und Arbeit zu sparen, wurden die einzelnen Bauteile meist konisch behauen. Dies hat aus heutiger Sicht den Vorteil, dass die Randfasern nicht angeschnitten wurden und das Holz somit eine höhere Festigkeit aufweist. Nach dem Behauen der Rundstämme, konnten diese nun in weiterer Folge am Schnürboden angezeichnet und abgebunden werden (vgl. AHNERT U. A. (2002); BÖHM (1911); ERLER (2004); LACHNER (1885); LISSNER ; RUG U. A. (1993); MEISEL (2009A)).

1.2 Einteilung der Dachwerke und deren Dachformen bzw. -neigungen

Die Beschreibung der Tragwirkung historischer Dachwerke erfordert solide Basiskenntnisse der existierenden Tragsysteme von Dächern. Es zeigt sich, dass die realitätsnahe Berechnung dieser Tragwerke in der Praxis häufig schwierig ist. Daher wird zuerst eine Übersicht der historischen Dachtragwerkssysteme, deren Dachneigungen sowie auftretende Dach- und Gaubenformen aufgezeigt.

Abb. 1.3 bietet eine Übersicht, wie die vorherrschenden historischen Dachtragwerke eingeteilt werden können. Auf diese wird auch in den folgenden Abschnitten näher eingegangen.

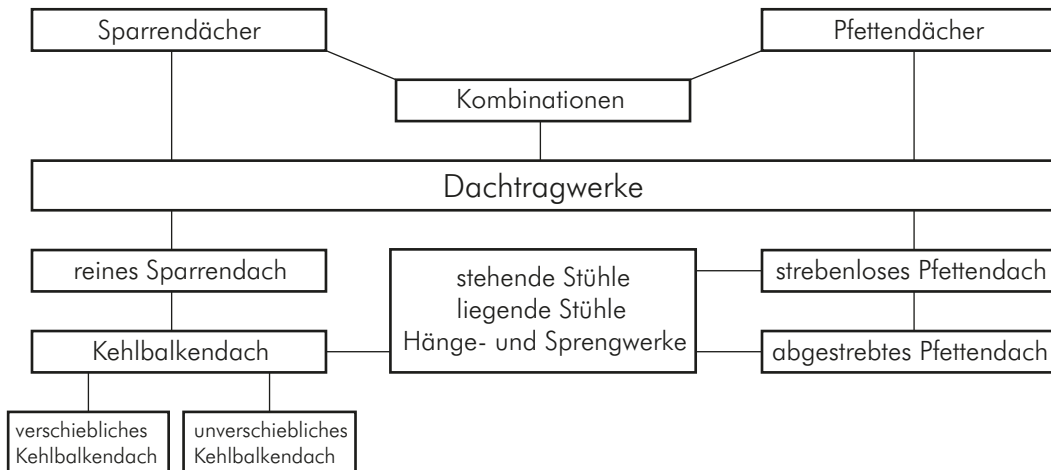


Abb. 1.3: Übersicht zur Einteilung historischer Dachtragwerke

Sparrendächer werden im Allgemeinen auch als Steildächer bezeichnet. Diese Bezeichnung entstand aufgrund der Neigung der Sparren und folglich der Dachhaut. Es erscheint daher sinnvoll, an dieser Stelle eine Darstellung von MEISEL (2009A) als Ergänzung anzuführen. Abb. 1.4 zeigt den Zusammenhang der Tragwerksart mit den unterschiedlichen Dachneigungen auf. Auf diesen Zusammenhang wird noch mehrmals verwiesen.

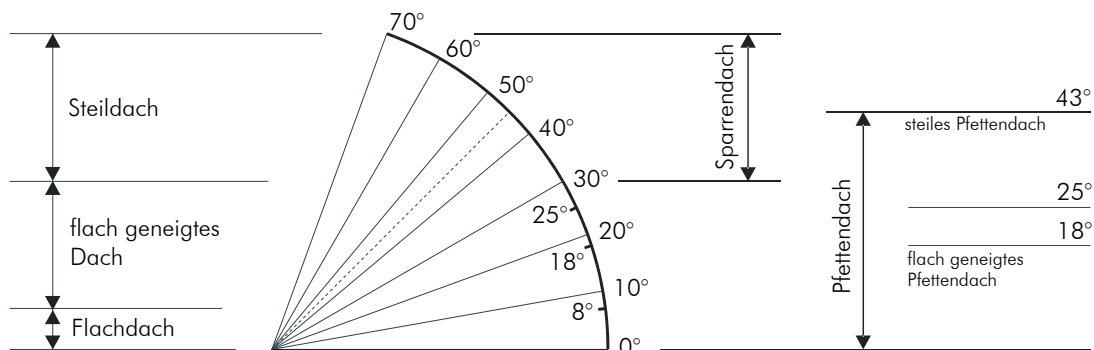
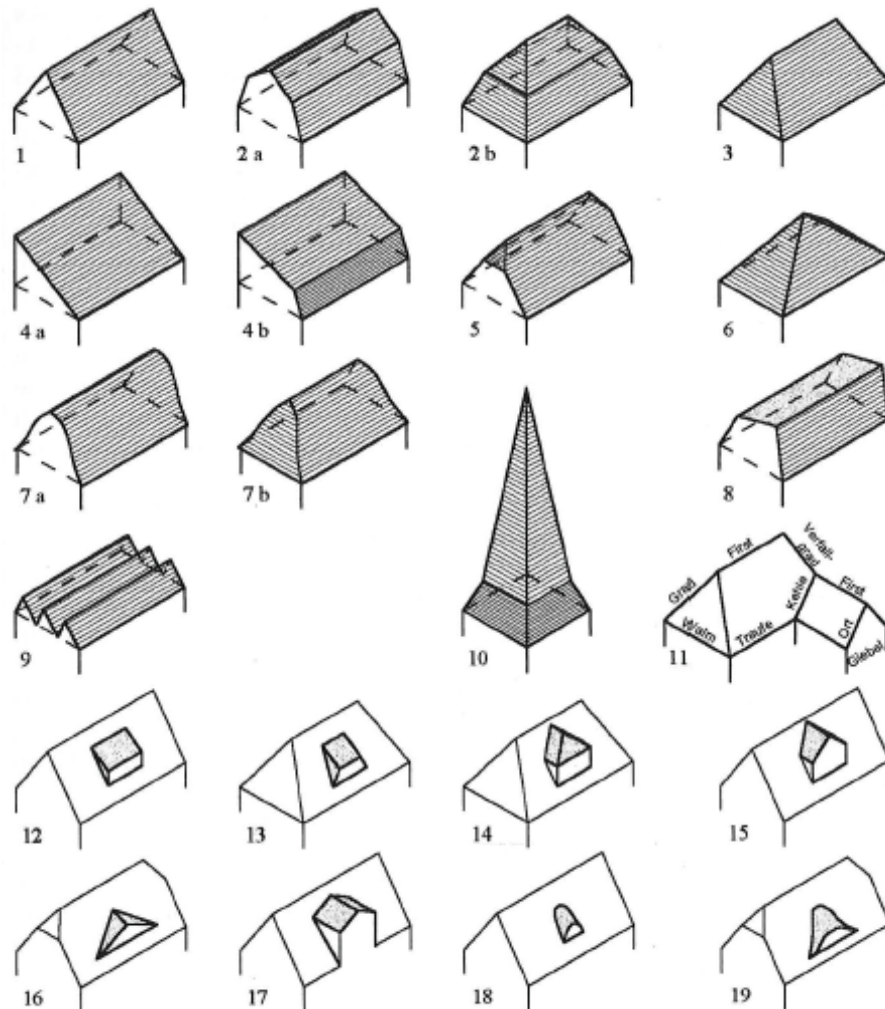


Abb. 1.4: Anhaltswerte für die Einordnung der Dächer nach der Dachneigung (MEISEL (2009A S. 23))

Über die Jahrhunderte entwickelten sich eine Vielzahl an unterschiedlichen Dach- und Gaubenformen. Diese wurden von LISSNER ; RUG U. A. (1993) übersichtlich zusammengefasst und werden in Abb. 1.5 dargestellt.



Dachformen:

1 Satteldach

4 a Pultdach

7 a Bogendach

9 Sägedach

2 a Mansarddach

4 b Pultdach

7 b Bogenwalmdach

2 b Mansardwalmdach

5 Krüppelwalmdach

10 Turmdach

3 Walmdach

6 Zeltedach

8 Berliner Dach

11 zusammengesetzte Dachform

Gaubenformen:

12 Schleppgaube

16 Spitzgaube

13 Trapezgaube

17 Dacherker, Zwerchgiebel

14 Walmgaube mit First

18 Rundgaube, "Ochsenaug"

15 Giebelgaube

19 Fledermausgaube

Abb. 1.5: Dach- und Gaubenformen (vgl. LISSNER ; RUG U. A. (2000 S. 21))

1.3 Die grundlegenden Dachtragwerksarten: Das Sparren- und das Pfettendach

Wie bereits erwähnt, existierten schon in den Jahren um Christi Geburt die zwei Dachtragwerksarten, welche die Grundtypen für nahezu alle in Mitteleuropa entstandenen historischen Dachtragwerke darstellen. Auf diese zwei Tragwerksarten wird nun im folgenden eingegangen und deren Bauteile und unterschiedliche Tragwirkung erläutert. Vertiefende und ergänzende Literatur hierzu bieten z. B. die Werke von AHNERT u.A. (2002), BÖHM (1911), HOLZER U. KÖCK (2009), KRAFT (1998), MEISEL (2009A), MEISEL U. A. (2011), LISSNER ; RUG U. A. (2000), MÖNCK (1999), PECH U. HOLLINSKY (2005).

1.3.1 Das Sparren- bzw. Kehlbalkendach

Das Sparrendach war bis Anfang des 19. Jh. das in Mitteleuropa am weitesten verbreitete Dachtragwerk (vgl. Lissner u. a. (2000 S. 20). Es eignet sich vor allem für stark geneigte Dächer (vgl. Abb. 1.4). Das Grundprinzip der Lastabtragung beruht auf dem eines Dreigelenkrahmens. Die Dreigelenkrahmen, welche mehrfach hintereinander angeordnet werden, bestehen aus den beiden Sparren und dem Bundtram. Die Sparren sind ein wesentlicher Teil des Dachtragwerkes. Der Bundtram wirkt wie ein horizontales Zugband. Um das Sparrendach in Firstrichtung auszusteifen, werden an der Innenseite der Sparren schräg angeordnete Windrispen befestigt. Um die horizontale Auflagerkraft gleichmäßiger in das Mauerwerk leiten zu können wurden Mauerbänke angeordnet. Dies hatte jedoch auch konstruktive Gründe, da somit nicht in jedem Gespärre ein Bundtram benötigt wurde. Abb. 1.6 zeigt ein frühes Sparrendach der Klosterkirche St. Maria in Reichenau – Mittelzell aus dem Jahre 1235.

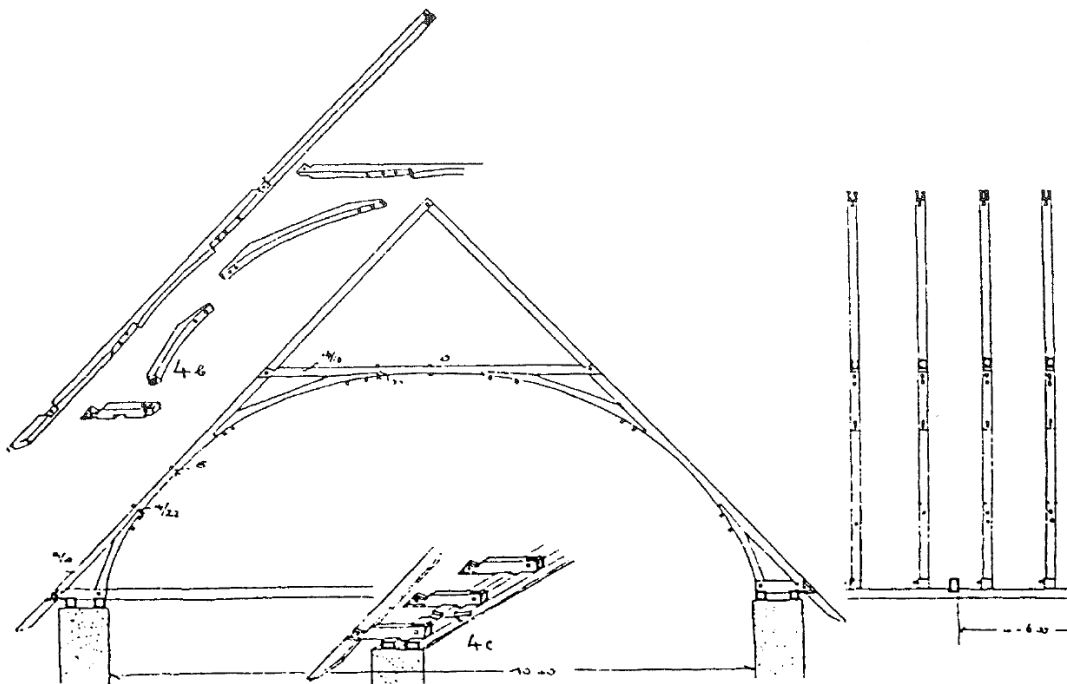


Abb. 1.6: Sparrendach um 1235 der Klosterkirche St. Maria in Reichenau – Mittelzell (Binding (1991 S. 42))

Entscheidend für das Sparrendach ist, dass die Sparren Biegemomente, Querkkräfte und wesentliche Normalkräfte aufnehmen. Der als Zugband wirkende Bundtram hingegen nimmt nur den Horizontalschub und in untergeordneter Weise auch auftretende vertikale Lasten (z. B. aus Begehung oder Lagerung) auf. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass aufgrund dieser Tatsache in den Fußpunkten der Sparrendächer vergleichsweise große Kräfte, auch in horizontaler Richtung, auf die Verbindungen wirken.

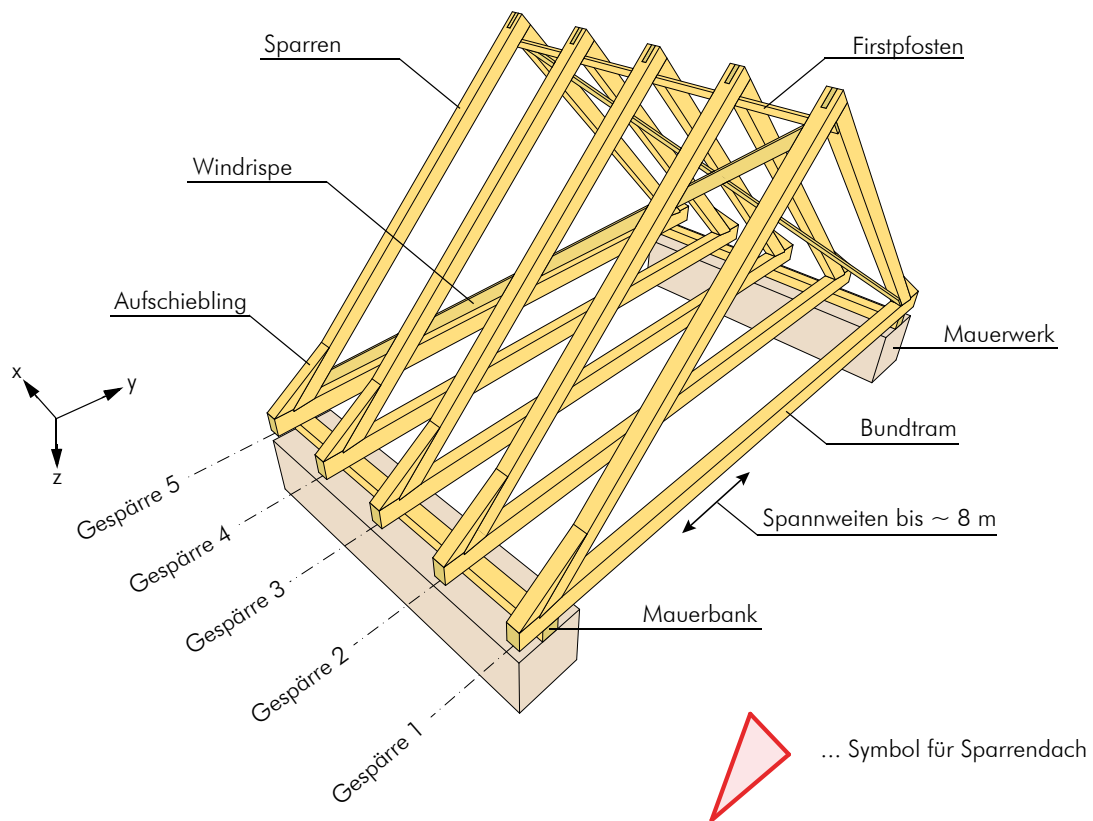


Abb. 1.7: Darstellung eines einfachen Sparrendachs in der Perspektive

Das einfache Sparrendach ist ein statisch bestimmtes System. Die globale Lastabtragung erfolgt ausschließlich über das geschlossene Dreieck, welches von den Sparren und dem Bundtram gebildet wird. Dieses Dreieck muss jedoch nicht zwingend durch einen als Zugband wirkenden Bundtram geschlossen sein. Dieses „geschlossene“ Dreieck kann auch durch horizontal nachgiebig gehaltene Sparrenfußpunkte erreicht werden (vgl. Abb. 1.6, Abb. 1.10, Abb. 1.25 und Abb. 1.26). Sämtliche Lasten werden über die äußeren Auflagerpunkte der Gespärre abgeleitet. Daher sind hier auch die größten Kräfte zu erwarten. Um die aus den Sparren resultierende Horizontalkraft in die Bundträme einleiten zu können, benötigte man an dieser Stelle am Bundtram ausreichend Vorholz zur Krafteinleitung. Daraus resultiert wiederum, dass der Anschluss der Dachhaut an den Dachfuß in der Regel einen Aufschiebling benötigt.

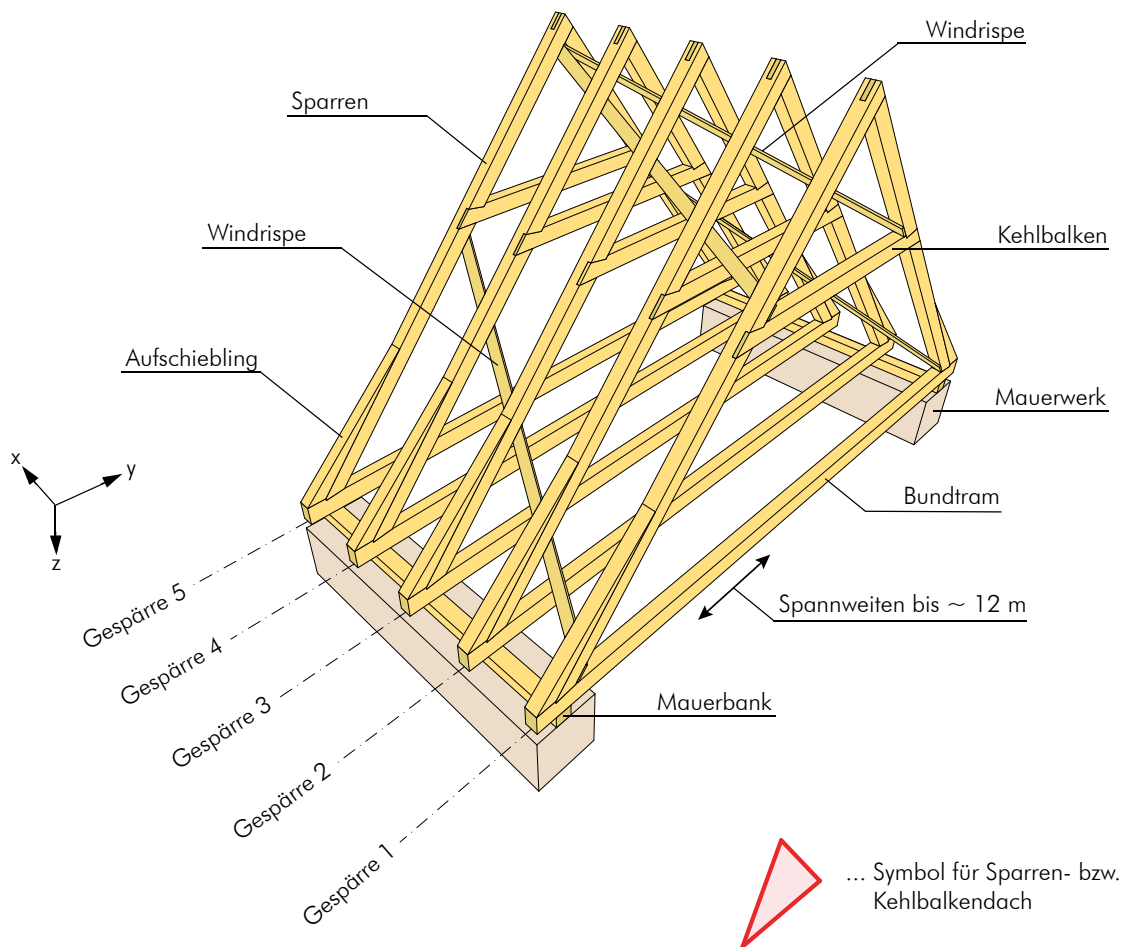


Abb. 1.9: Darstellung eines einfachen Kehlbalkendachs in der Perspektive

Um größere Spannweiten realisieren zu können und um die Errichtung zu erleichtern, begann man ab dem Ende des 14. Jh. stehende Stühle in die Tragwerkskonstruktion einzubauen. Später wurden diese Stühle aufgrund der Anforderung eines freien Dachraumes, in die Dachebene gelegt und es entstanden die liegenden Stühle. Mit Hilfe dieser Stuhlkonstruktionen war man in der Lage, bei Errichtung des Dachtragwerkes eine geeignete Plattform für den Zusammenbau der einzelnen Gespärre zu errichten (vgl. Kapitel 3 - Abschnitt 2.3.7). Ein weiterer Vorteil der Stühlwände war die Möglichkeit, nun auch die Windverbände in dieser Ebene zu führen. Diese stehenden und liegenden Stühle sowie andere innenliegende Konstruktionselemente, tragen bei der Lastabtragung symmetrischer Lasten (z. B. Eigengewicht und/oder Schnee) kaum mit. Bei asymmetrischen Lasten (z. B. einseitiger Wind) jedoch, tragen diese Stühle in der Regel wesentlich zur Lastabtragung bei und werden durch ihren hohen Grad an Nachgiebigkeit erst nach großen Verschiebung aktiv. Aufgrund des hohen statischen Unbestimmtheitsgrades, kann die komplexe Tragwirkung dieser Dachtragwerke nur schwer nachvollzogen werden. Im Falle von Schäden an Stäben und/oder Knoten sind aufgrund der Redundanz der Tragwerksglieder (statisch hochgradig unbestimmt) Lastumlagerungen möglich. Somit kann die Tragfähigkeit lange Zeit erhalten bleiben. An dieser Stelle bleibt noch anzumerken, dass die Dachlattung zur Lastverteilung bzw. Stabilisierung des Dachtragwerkes beitragen kann (VGL. MEISEL (2009A)).

Über die Jahrhunderte entstanden somit eine Vielzahl an unterschiedlichen Sparren- bzw. Kehlbalkendächern, welche jedoch alle auf diese grundlegende Konstruktionsprinzipien des einfachen Sparrendachs zurückzuführen sind.

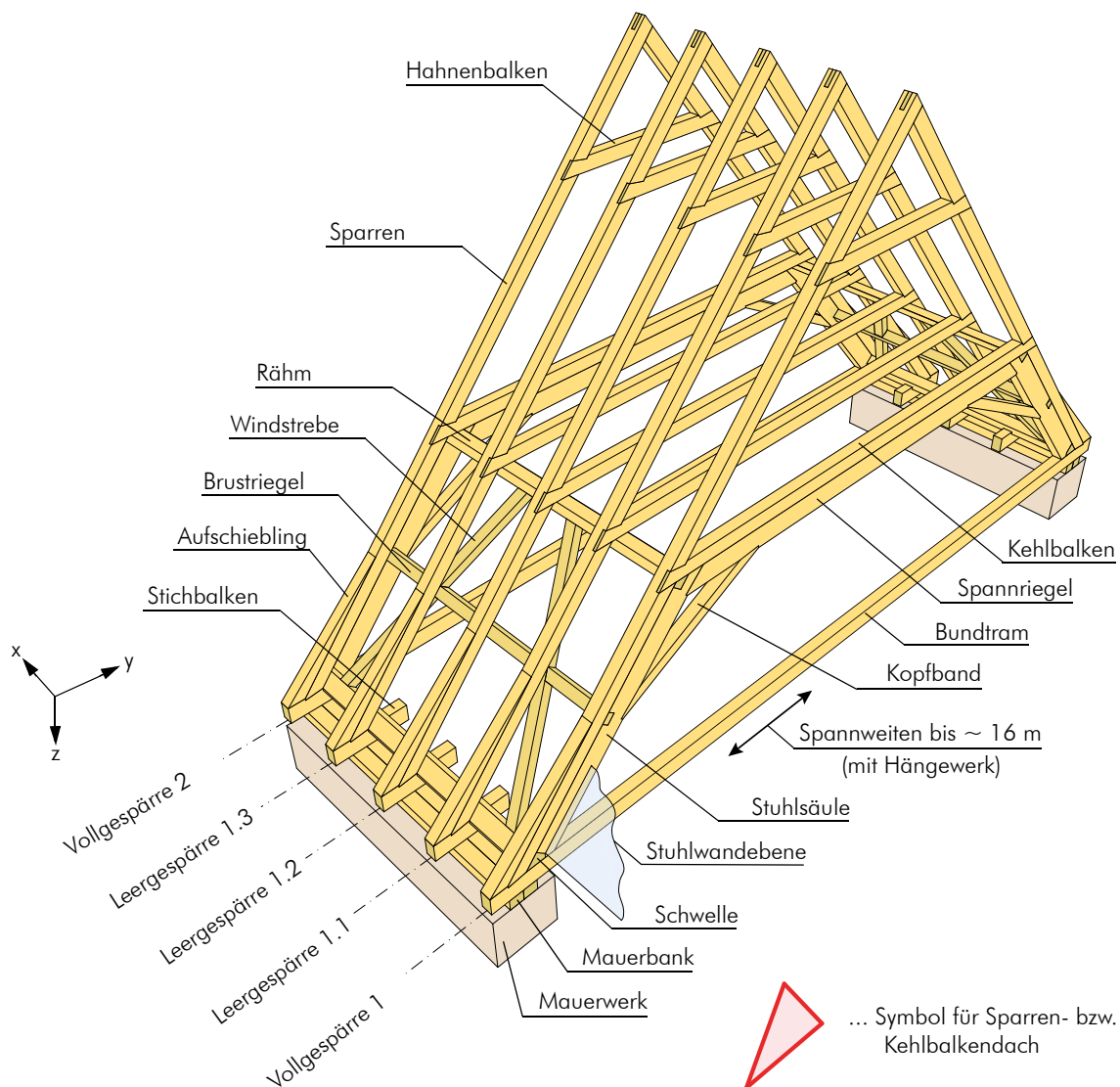


Abb. 1.10: Darstellung eines Kehlbalkendachs mit liegendem Stuhl in der Perspektive

Der große Vorteil dieser Art von Dachtragwerken insbesondere mit liegenden Stühlen, lag vor allem im stützenfreien Dachraum. Die Rähme sind bei Kehlbalkendächern stets unter den Kehlbalken angeordnet und werden von den Stuhlsäulen getragen. Sie steifen das Dachtragwerk in Verbindung mit den Schwellen und Windverbänden in Firstrichtung aus.

Der größte Nachteil der Sparren- bzw. Kehlbalkendächer liegt in der Konstruktion selbst, da es nur schwer möglich ist vereinzelt Tragglieder auszutauschen oder aber z. B. nachträglich Dachgauben einzubauen. Auch wurde für die Konstruktion eines Kehlbalkendaches viel Holz benötigt. Da der Aufbau von Sparren- bzw. Kehlbalkendächer aus der Grundidee heraus, auf die symmetrische Ausbildung des Dachtragwerkes beruht, ist bei unsymmetrischen Ausbildungen meist mit statisch konstruktiven Problemen zu rechnen (BÖHM (1911); LEHRMANN (1960); LISSNER ; RUG U. A. (2000); MEISEL (2009A)).

Merke:

Ein gutes Erkennungsmerkmal von einfachen Sparren- und Kehlbalkendächern, ist das Fehlen von jeglichen firstparallelen Traggliedern mit Ausnahme der Lattung und der Mauerbänke. Sind Stühle vorhanden, ist darauf zu achten, dass diese unterhalb der Kehlbalken angeordnet sind.

1.3.2 Das Pfettendach

Das Pfettendach verdrängte ab dem 19. Jh. das bis zu diesem Zeitpunkt vorherrschende Sparrendach weitestgehend und wurde in Form des Pfettendachs mit zweifachem Hängewerk zur Standardkonstruktion in Mitteleuropa (vgl. LISSNER ; RUG U. A. (2000)). Es eignet sich im Gegensatz zum Sparrendach vor allem für flach geneigte Dächer (vgl. Abb. 1.4). Der wesentliche Unterschied zum Sparrendach besteht in der Lastabtragung. Beim Pfettendach übertragen die Sparren nur geringe Normalkräfte, die aus Eigengewicht und Wind resultieren. Vorrangig jedoch werden die Sparren auf Biegung und Querkraft belastet und konstruktiv als Teil der Dachhaut angesehen (vgl. MEISEL (2009A)).

Das Haupttragssystem des Pfettendachs besteht aus in Firstrichtung des Dachtragwerkes verlaufenden Kanthölzern bzw. Balken, den sogenannten Pfetten, welche auf stehenden bzw. liegenden Stühlen oder direkt auf Wänden gelagert werden. Die Pfetten werden mittels Kopfbänder oder Streben mit den Stützen der Stühle verbunden. Somit wird eine Aussteifung in Längsrichtung des Dachtragwerkes erreicht. Die Stützen der Stühle werden vorrangig auf Normalkraft beansprucht. Diese Stühle wiederum können systemabhängig direkt auf Innen- bzw. Außenwänden oder auf Bundträmen aufgelagert werden. Die Sparren werden auf die Pfetten meist mit Hilfe einer Klauenverbindung aufgelagert und überwiegend mit Eisennägeln gesichert. Die folgende Abbildung stellt den Fall des einfachen Pfettendachs dar.

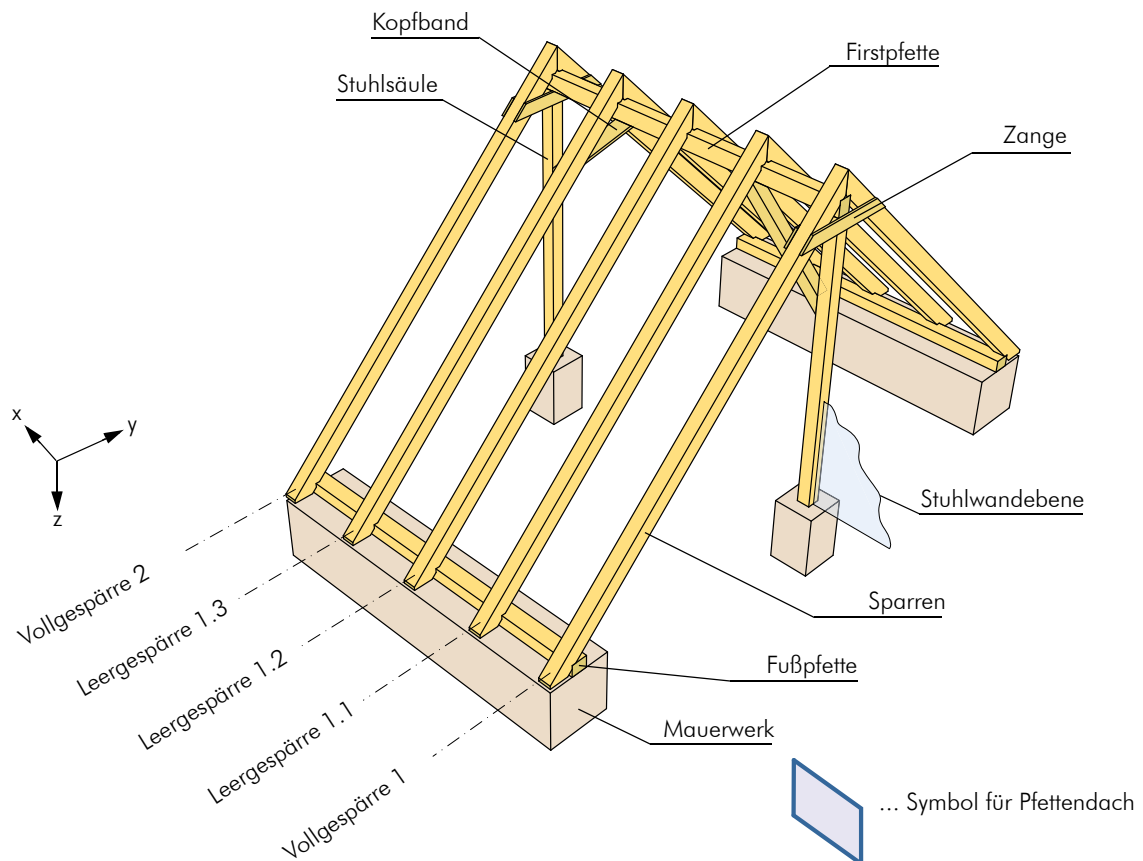


Abb. 1.11: Darstellung eines einfachen Pfettendachs

Das einfache Pfettendach ist aufgrund des einzelnen Stuhls, in Längsrichtung der Gespärre verschieblich und wird von den Sparren nachgiebig gehalten. Es ist für sich alleine nicht standsicher. Deshalb ist beim einfachen Pfettendach darauf zu achten, dass der Sparrenfuß als festes Auflager angesehen wird und der Eisennagel, welcher den Sparren mit der Pfette verbindet, auf Abscheren und Herausziehen beansprucht werden kann.

Die globale Lastabtragung des Pfettendachs erfolgt über die Biegetragwirkung der Pfetten.

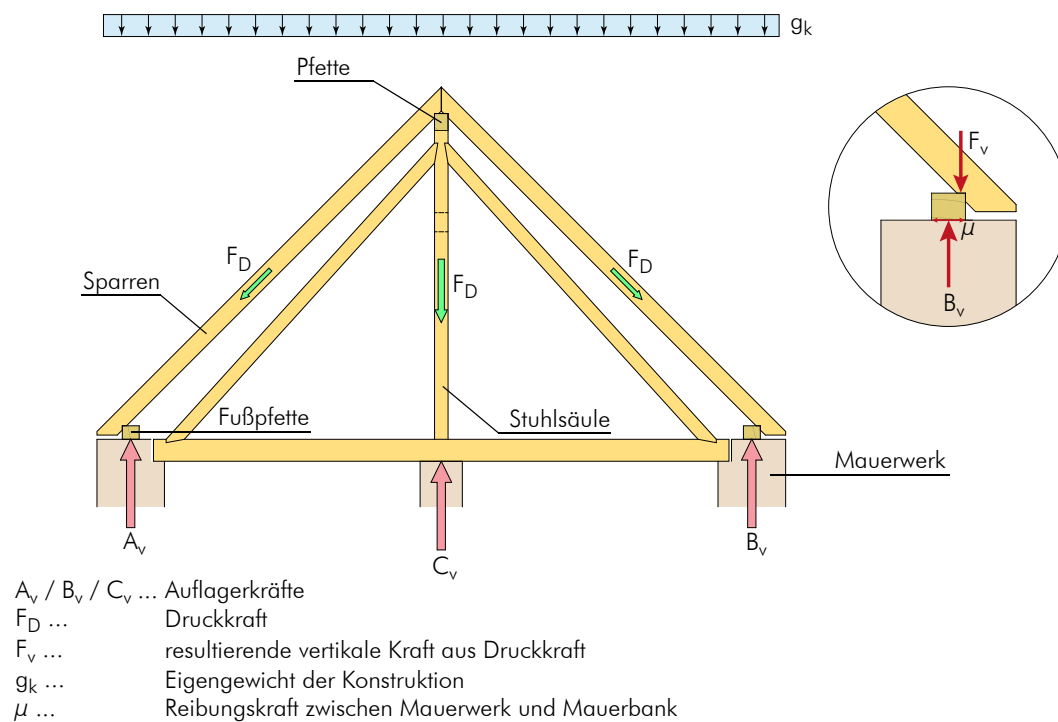


Abb. 1.12: Allgemeiner Kraftfluss eines Pfettendachs mit abgestrebten einfach stehendem Stuhl unter Eigengewicht

Bei größeren Spannweiten wurden die Lasten typischerweise über aufwendigere Stuhlkonstruktionen abgetragen. Am häufigsten wurde dies mit Abstreibungen, Hängewerken oder Hängesprengwerken realisiert. Abb. 1.13 zeigt den Unterschied eines Hängewerks zu einem Hängesprengwerk auf. Ein wesentliches Merkmal der Sprengwerke sind die unverschieblichen Auflager und die ausschließlich über die Streben abgetragene Last. Im Gegensatz dazu befindet sich die Last bei einem Hängewerk unterhalb der Streben und die Last wird über die auf Zug beanspruchte Hängesäule in die Streben geleitet.

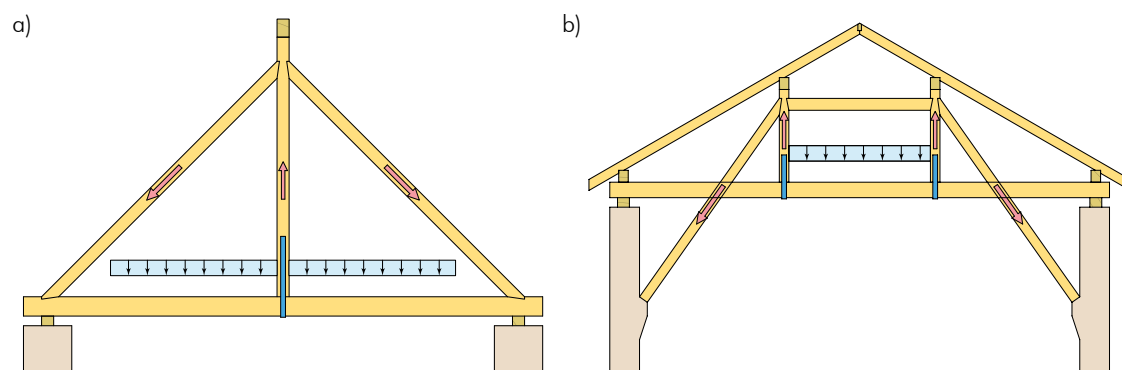


Abb. 1.13: Darstellung des Unterschiedes eines a) Hängewerks und b) Sprengwerks

Mit Hilfe solcher Spreng- bzw. Hängewerke wurden üblicherweise Spannweiten zwischen zehn und zwölf Meter realisiert (vgl. BÖHM (1911 S. 342)). Abb. 1.14 zeigt ein Beispiel für den möglichen Einsatz eines Hängewerks in einem Pfettendach auf. Dieses Dachtragwerk wurde in der Kronesschule in Graz, ca. 1890 errichtet und wird als Pfettendach mit zweifachem Hängewerk bezeichnet.

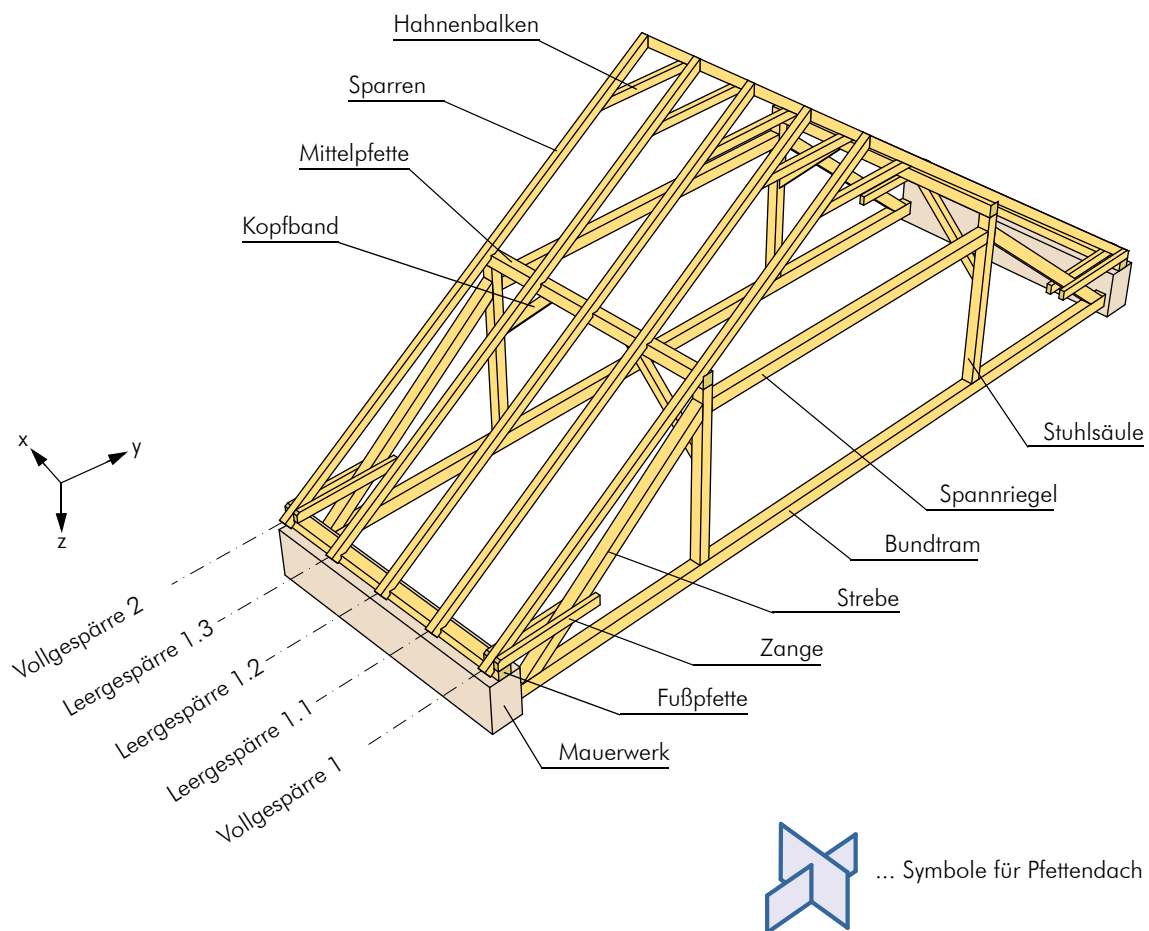


Abb. 1.14: Pfettendach mit zweifachem Hängewerk am Beispiel des Dachwerks der Kroneschule in Graz

Der große Vorteil dieser Dachtragwerkskonstruktion liegt in der Möglichkeit, die Sparren flexibel anzuordnen. Dieser Vorteil kommt auch in der konstruktiven Ausgestaltung von verwinkelten Grundrissen (z. B. mit Walmbereichen) zum Tragen. Durch die geringen Normalkräfte in den Sparren ist es auch möglich, Kniestöcke auszubilden und große Dachdurchdringungen herzustellen. Der geringere Holzbedarf für ein Pfettendach ist ein weiterer Vorteil. In den Vollgespärren werden die Sparren meist mit Hilfe von Zangen verbunden. Die übrigen Sparren werden im Firstbereich nur stumpf gestoßen oder liegen nebeneinander und sind nicht miteinander verbunden. Der Austausch einzelner Tragglieder ist im Gegensatz zum Sparren- bzw. Kehlbalkendach leichter zu realisieren.

Ein großer Nachteil des Pfettendachs mit stehenden Stühlen besteht einerseits im meist nicht stützenfreien Dachraum und andererseits in der geringeren Redundanz des Dachtragwerkes gegenüber den Sparren- bzw. Kehlbalkendächern (BÖHM (1911); LEHRMANN (1960); LISSNER ; RUG U. A. (2000); MEISEL (2009A)).

Merke:

Ein eindeutiges Erkennungsmerkmal von Pfettendächern ist die Lagerung der Sparren auf den in Firstrichtung verlaufenden Pfetten, welche wiederum auf den Außenmauern und Stühlen gelagert sind. Die Sparren sind mit eventuell vorhandenen Bundträmen nicht unmittelbar verbunden.

Über die Jahrhunderte entstanden somit eine Vielzahl an unterschiedlichen Dachtragwerken, welche jedoch alle auf dem Grundprinzip der Lastabtragung der beiden grundlegenden Dachtragwerksarten beruhen. Teilweise wurden auch Dachtragwerke entworfen und gebaut, welche die Art und Weise der Lastabtragung der Sparren- und Pfettendächer vereinen. Diese kombinierten Systeme sind in weiterer Folge genauer zu betrachten und zu analysieren (vgl. MEISEL U. A. (2012))

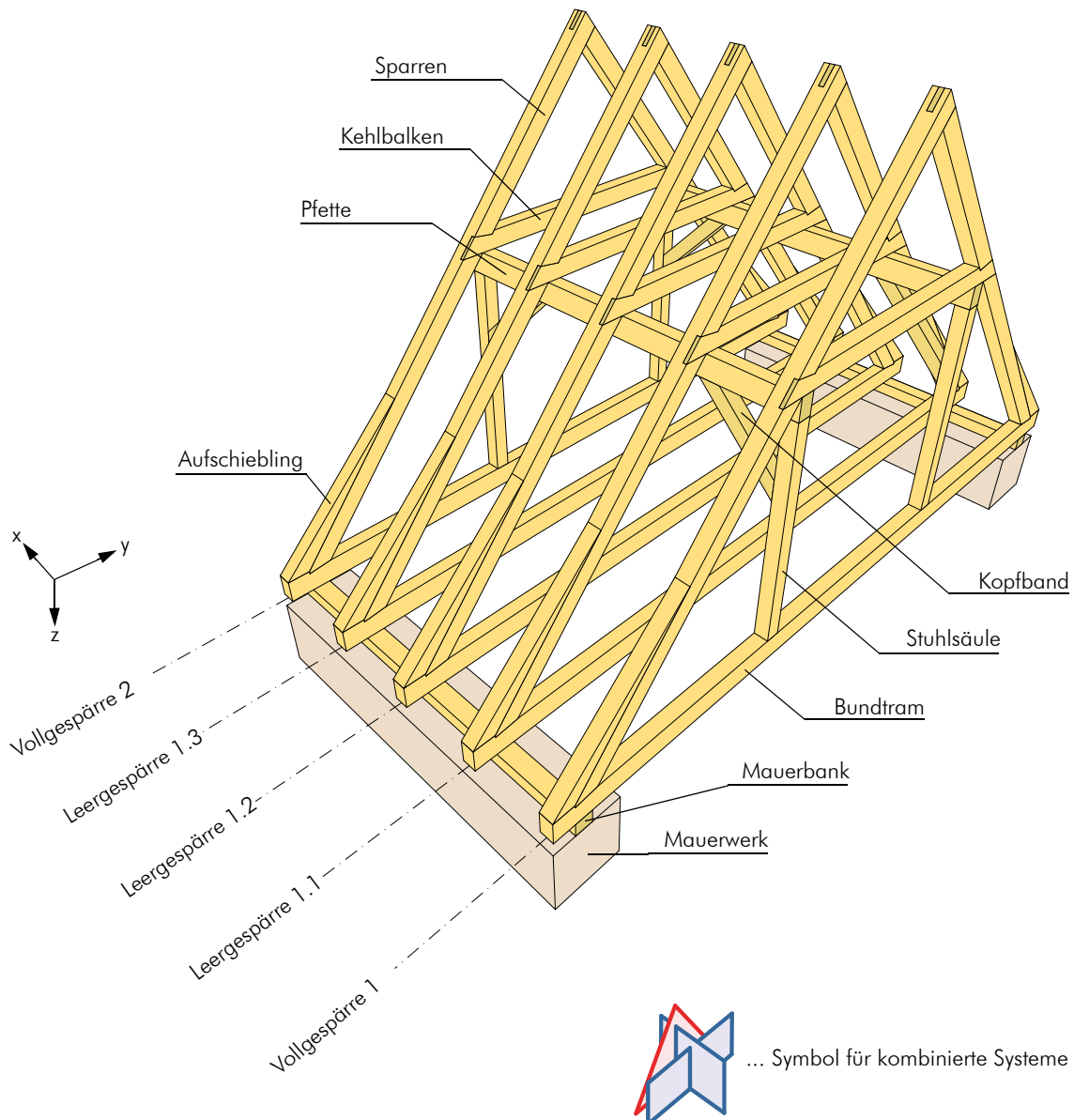


Abb. 1.15: Skizze eines Sparren- bzw. Kehlbalkendachs mit zweifach stehendem Stuhl

Ob das Dachtragwerk die asymmetrischen Lasten vorwiegend sparrendachartig oder pfettendachartig abträgt, hängt vom Steifigkeitsverhältnis des Sparren- bzw. Kehlbalkendachs zum Pfettendach ab. Hier entscheiden die Nachgiebigkeiten der einzelnen Verbindungen, die Steifigkeitsverhältnisse der Stäbe bzw. Bauteile, sowie die Art der Lagerung darüber, wieviel Lastanteil von welchem System abgetragen wird.

1.4 Gegenüberstellung der Lastabtragung eines Kehlbalken- und Pfettendachwerks

Im Folgenden wird die Tragwirkung eines Sparren- bzw. Kehlbalkendachs der eines Pfettendachs gegenübergestellt. Dies soll zum besseren Verständnis der unterschiedlichen Tragwirkung der verschiedenen Systeme beitragen, da es hier oft zu Unklarheiten kommt. Die Konzeption und Bemessung von Instandsetzungen hängt wesentlich davon ab, welches der beiden Grundtypen von Dachwerken vorliegt.

Die zwei Referenzsysteme, welche in Abb. 1.17 dargestellt werden, sind in ihren äußeren Abmessungen so gewählt, dass diese nahezu identisch sind. Die im Folgenden dargestellten qualitativen Schnittkraftverläufe zeigen nur den allgemeinen Fall des Verlaufes an und geben keinen Aufschluss über die Größe der Beanspruchung. Generell werden Druck- und Zugkräfte sowie Momente unterschieden. Diese werden in den Gegenüberstellungen (siehe Abb. 1.21 und Abb. 1.24) auf ein, auf den Bauteil bezogenes Koordinatensystem bezogen. Abb. 1.16 zeigt den angenommenen Schnittkraftbezug zum Bauteil.

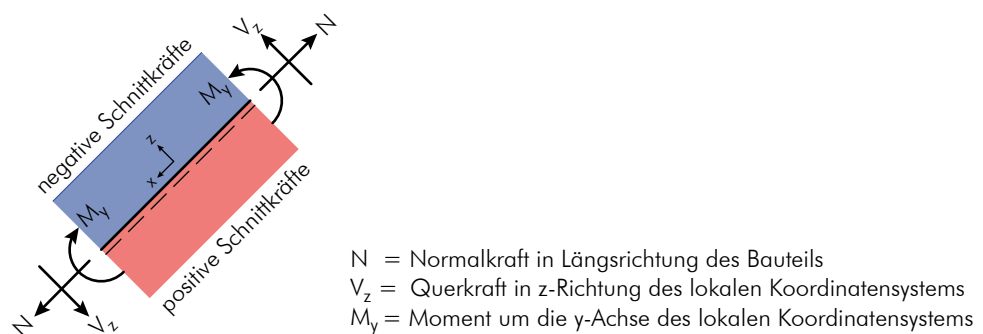
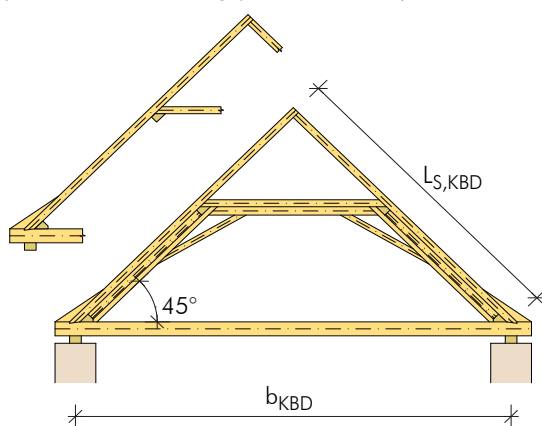


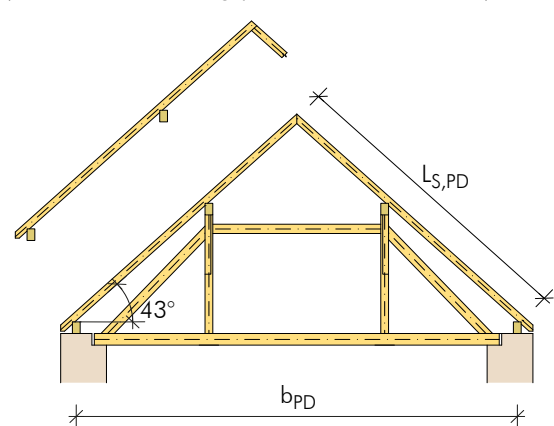
Abb. 1.16: Annahme der Schnittkraftrichtungen sowie des positiven und negativen Schnittkraftbereiches.

Als Referenzsysteme wurden ein Kehlbalkendach mit liegendem Stuhl sowie ein Pfettendach mit zweifachem Hängewerk als eindeutig erkennbare Dachtragwerke gewählt. Die Darstellung zeigt im Vordergrund die Vollgespärre und im Hintergrund angedeutet, die Leergespärre der gewählten Referenzsysteme.

Kehlbalkendach mit mehrfach liegendem Stuhl
 (... als Standard – Tragsystem im Barock)



Pfettendach mit zweifachem Hängewerk
 (... als Standard – Tragsystem in der Gründerzeit)



$b_{KBD} \sim b_{PD} \sim 9$ Meter
 $L_{S,KBD} \sim L_{S,PD} \sim 6,5$ Meter

Abb. 1.17: Ausgewählte Referenzsysteme zur Gegenüberstellung der qualitativen Schnittkraftverläufe

Der liegende Stuhl des Kehlbalkendachs diente einerseits zum Aufbau des Dachtragwerkes und andererseits übernimmt dieser die Aussteifung in Firstrichtung, da in Stuhlwandebene die Windverbände angeordnet wurden. Die globale Lastabtragung erfolgt über das geschlossene unverschiebliche Dreieck, welches die Sparren in Verbindung mit dem Bundtram bilden. In Richtung der Gespärre, können die meisten Sparren- bzw. Kehlbalkendächer, aufgrund ihrer globalen Nachgiebigkeit, als verschieblich angesehen werden. Der Kehlbalken bewirkt eine günstigere Verteilung der Biegemomente.

Beim Pfettendach mit zweifachem Hängewerk übernimmt die Pfette, welche Teil der Stuhlwand ist, sämtliche horizontalen und vertikalen Belastungen über seine Biegetragwirkung und leitet diese über die Stuhlwandstützen weiter in das Mauerwerk ab.

In weiterer Folge werden die beiden Referenzsysteme auf Ihre Systemachsen reduziert, um die qualitativen Schnittkraftverläufe in den Bauteilen in einer zweidimensionalen Darstellung, aufzeigen zu können (siehe Abb. 1.18). Die Systemachsen der einzelnen Bauteile wurden jeweils bis zur nächsten verlängert, um diese an das folgende Bauteil mit Hilfe eines Stabendgelenks anschließen zu können.

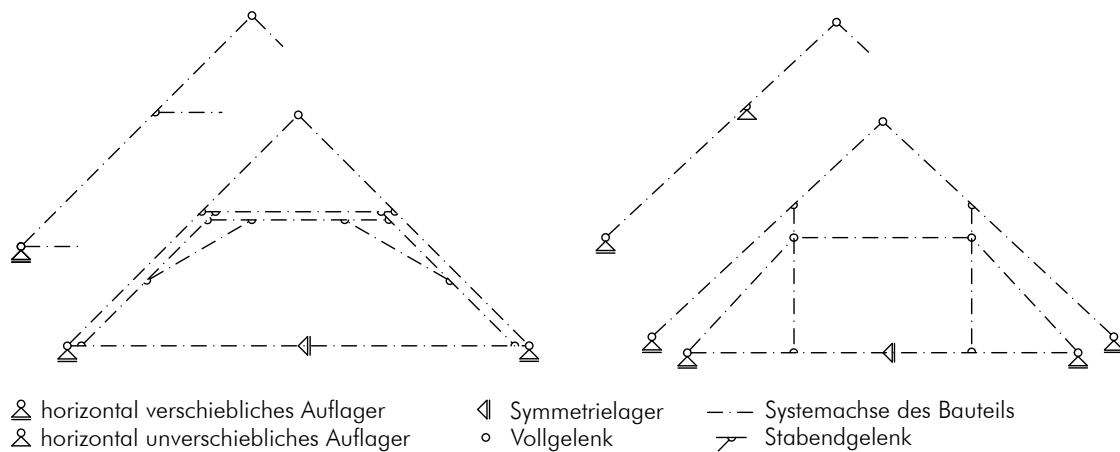


Abb. 1.18: Zweidimensionale Berechnungsmodelle der Referenzsysteme

Zur Darstellung der unterschiedlichen Verformungen und qualitativen Schnittkraftverläufe der Referenzsysteme, werden im Folgenden die zwei ungünstigsten Lastgruppen dargestellt:

Lastgruppe 1 (LG1): symmetrische Belastung aus „Schnee voll“ + Eigengewicht

Lastgruppe 2 (LG2): asymmetrische Belastung aus Wind von links + Eigengewicht

Diese beiden Lastgruppen bewirken die ungünstigsten Schnittkräfte in den Bauteilen und sind somit bemessungsmaßgebend.

Abb. 1.19 zeigt den Lastfall „Schnee voll“. In Abb. 1.20 werden die unterschiedlichen Verformungen der Referenzsysteme aufgrund der Belastung aus der Lastgruppe 1 aufgezeigt.

symmetrische Belastung aus „Schnee voll“

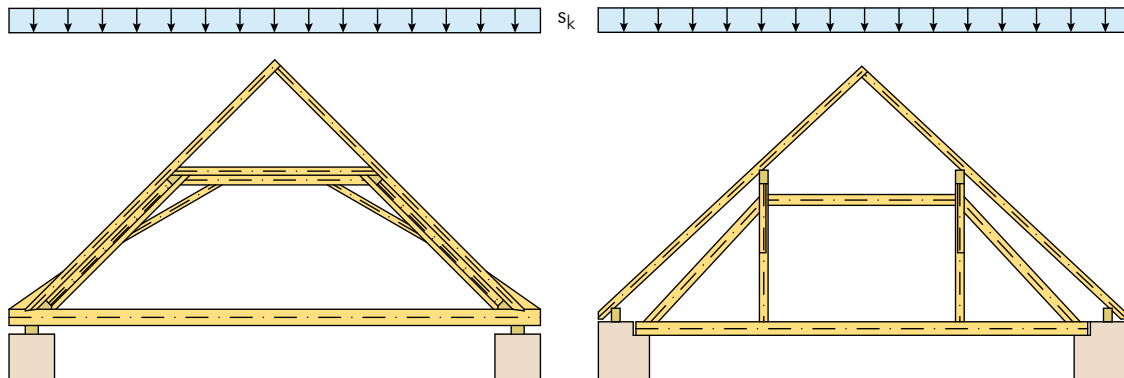


Abb. 1.19: Darstellung der Referenzsysteme und der Belastung „Schnee voll“

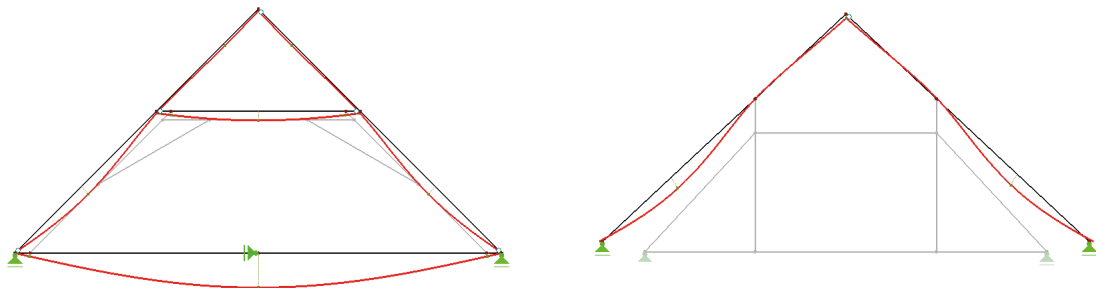


Abb. 1.20: Verformungen der Referenzsysteme (Stuhl jeweils ausgeblendet) aufgrund Eigengewicht + „Schnee voll“ (LG1)

Da die Belastung aus Eigengewicht und „Schnee voll“ symmetrisch erfolgt, ist auch die Verformung (in Abb. 1.20 rot dargestellt) der Referenzsysteme symmetrisch. Im Gegensatz zum Pfettendach erfährt jedoch der liegende Stuhl des Sparrendachs nur unwesentliche Verformungen aufgrund der Lastgruppe 1. Die Sparren verformen sich durch die unmittelbare Biegebeanspruchung am stärksten.

Die folgenden Abbildungen zeigen die qualitativen Schnittkräfte in den Sparren bzw. im Falle des Kehlbalkendachs auch im Bundtram sowie im Kehlbalken, da diese nur als Einheit betrachtet werden können.

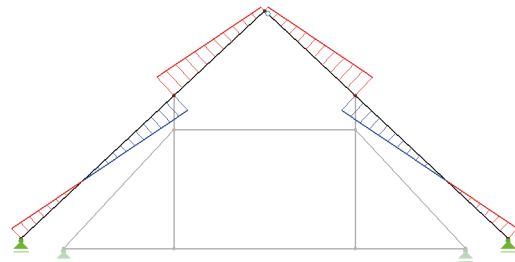
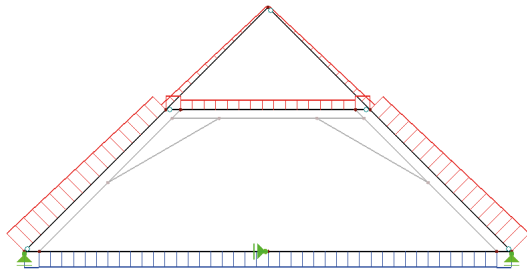
Deutlich ist zu erkennen, dass die Normalkräfte im Kehlbalkendach mit liegendem Stuhl, nach unten hin zunehmen. Sie erreichen ihren Maximalwert am Sparrenfußpunkt. Als Zugband wirkend stellt der Bundtram das horizontale Gleichgewicht zwischen den beiden Sparrenfußpunkten wieder her. Im Gegensatz dazu wird beim Pfettendach ein Großteil der Normalkräfte über die Pfetten in die Stuhlwand geleitet. Die Auflagerkräfte an der Fußpfette sind daher wesentlich geringer und Horizontalkräfte treten planmäßig nicht auf.

Die Querkräfte und Momente der Referenzsysteme aufgrund der Lastgruppe 1 sind nahezu identisch und weisen bei diesen Referenzsystemen keine besondere Charakteristik auf. Anzumerken bleibt an dieser Stelle noch, dass die hohe Querkraftbelastung zwischen den beiden Auflagern des Bundtrames beim Kehlbalkendach in der Realität in dieser Form nicht auftritt. Dies beruht auf der Tatsache, dass einerseits die Verbindung Bundtram – Mauerbank auf Zug ausfällt und andererseits die Bauteile sich durch geringe Verdrehungen der Lastaufnahme entziehen. Diese Effekte können bei einer Berechnung ohne Nichtlinearitäten und/oder Nachgiebigkeiten nicht berücksichtigt werden.

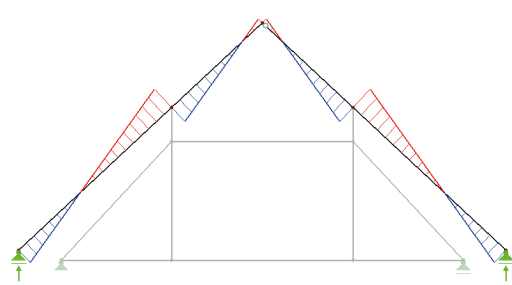
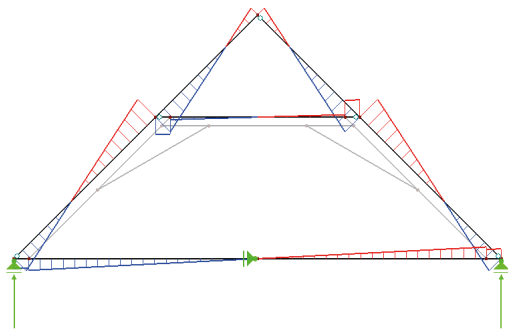
Kehlbalkendach mit liegendem Stuhl

Pfettendach mit zweifachem Hängewerk

Normalkraftverlauf



Querkraftverlauf



Momentenverlauf

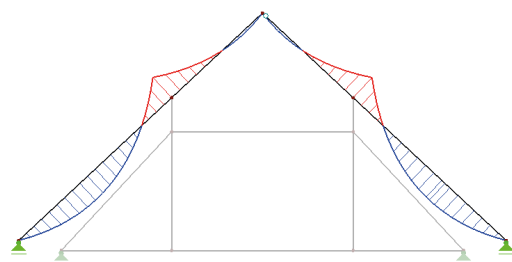
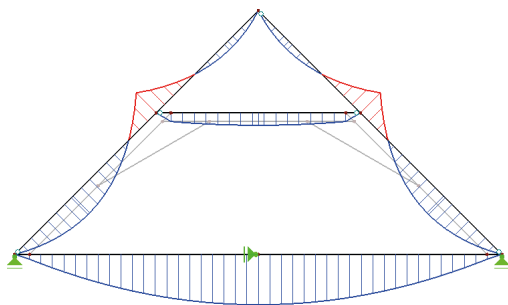


Abb. 1.21: Qualitative Schnittkraftverläufe (Stuhl jeweils ausgeblendet) an den Referenzsystemen aufgrund der Lastgruppe 1

Abb. 1.23 zeigt die Referenzsysteme mit der Belastung aus einseitigem Wind. Dieser bewirkt an der Wind zugewandten Seite eine Druckkraft und an der gegenüberliegenden Seite eine Zugkraft rechtwinkelig zur Dachfläche. Die Belastung erfolgt somit, durch den Winddruck auf der einen und dem Windsog auf der anderen Seite, asymmetrisch. Abb. 1.23 zeigt die Verformungen (in rot dargestellt) der Referenzsysteme aufgrund der Belastung aus der Lastgruppe 2.

Belastung aus einseitigem Wind

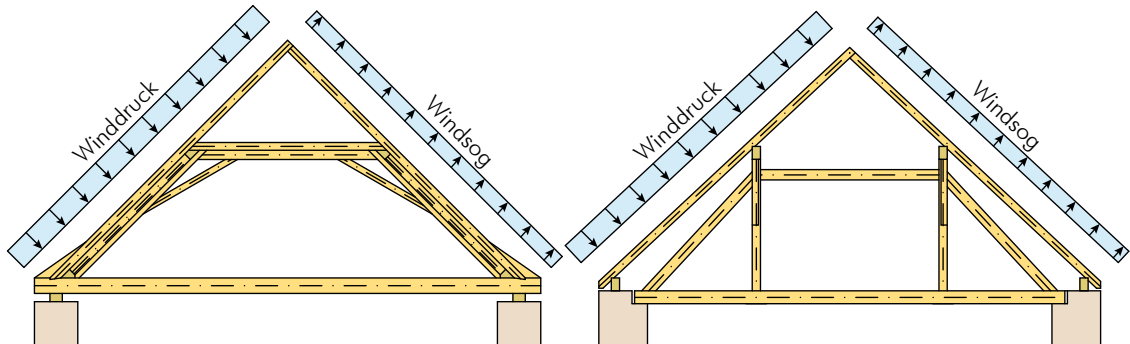


Abb. 1.22: Darstellung der Referenzsysteme und der Belastung einseitiger Wind

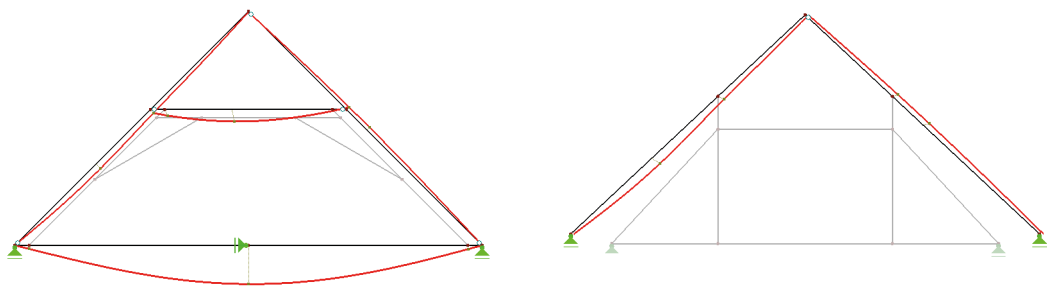


Abb. 1.23: Verformungen der Referenzsysteme (Stuhl jeweils ausgeblendet) aufgrund Eigengewicht + einseitigem Wind (LG2)

Die folgenden Abbildungen zeigen, wie schon zuvor, die qualitativen Schnittkräfte an den Sparren bzw. im Falle des Kehlbalkendachs auch am Bundtrame sowie am Kehlbalken.

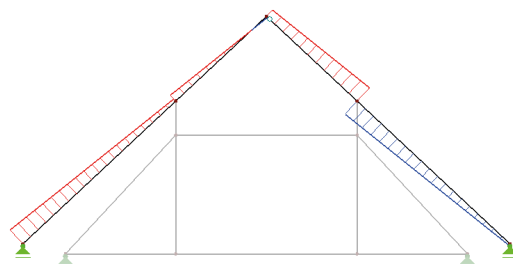
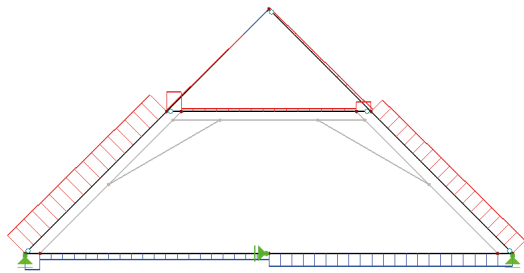
Generell ist festzustellen, dass bei der Lastgruppe 2 die Schnittkräfte durchwegs geringer ausfallen als dies bei der Lastgruppe 1 der Fall ist. Jedoch kommt es durch die asymmetrische Belastung nun bei bestimmten Verbindungen zu Zugkräften (z. B. Kehlbalken – Sparren Anschluss beim Kehlbalkendach). Diese müssen von der Verbindung übertragen werden können. Bei Pfettendächern wurden zur Verbindung der Sparren an die Pfetten meist Nägel verwendet. Diese werden bei dieser Lastgruppe nicht nur auf Abscheren beansprucht, sondern auch auf Herausziehen.

Die hohe Querkraftbelastung zwischen den beiden Auflagern des Bundtrames beim Kehlbalkendach verhält sich wie zuvor bei der Lastgruppe 1 und wird an dieser Stelle nicht mehr weiter ausgeführt.

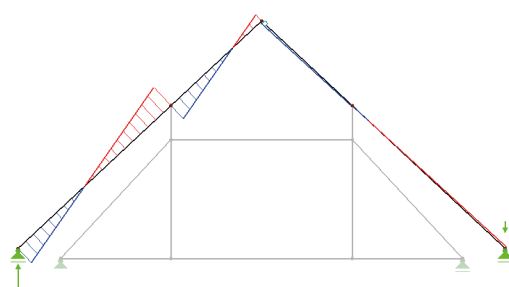
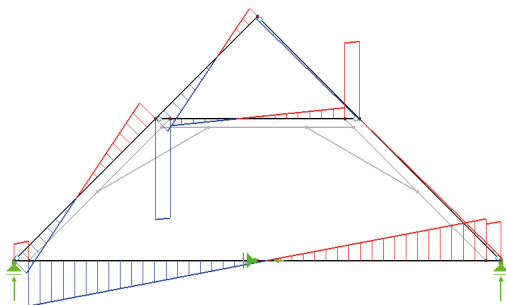
Kehlbalkendach mit liegendem Stuhl

Pfettendach mit zweifachem Hängewerk

Normalkraftverlauf



Querkraftverlauf



Momentenverlauf

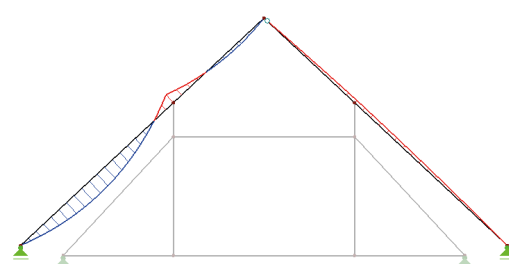
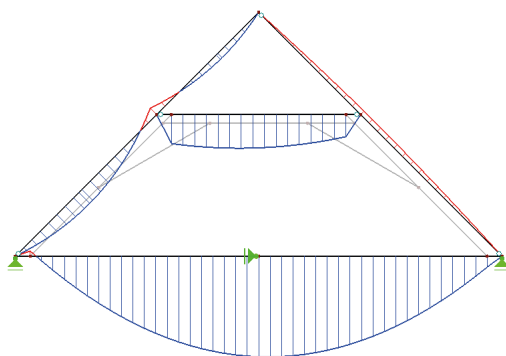
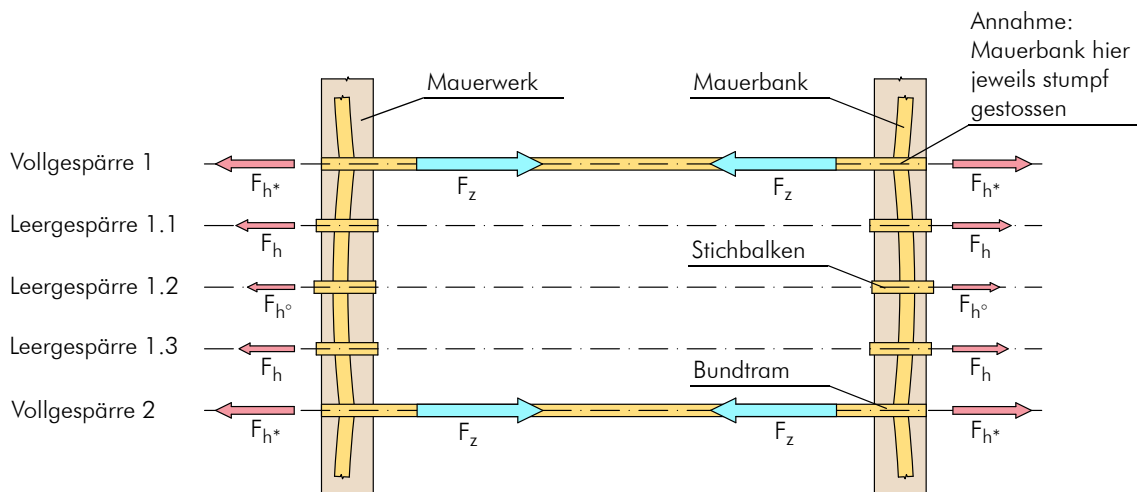


Abb. 1.24: Qualitative Schnittkraftverläufe (Stuhl jeweils ausgeblendet) an den Referenzsystemen aufgrund Lastgruppe 2

1.5 Sparren- und Kehlbalkendächer ohne Bundtram in allen Gespärren

Ergänzend wird an dieser Stelle noch ein Hinweis zu Sparren- bzw. Kehlbalkendächern ohne Bundträme in allen Gespärren gegeben. Die horizontalen Kräfte, welche aus den verschiedenen Lastfällen resultieren, werden bei einfachen Systemen von den Sparren in die Bundträme, welche diese horizontalen Kräfte aufnehmen und als Zugband wirken, geleitet. Diese Bundträme leiten die Kraft weiter in die Mauerbänke und diese schlussendlich über Reibung in das darunter liegende Mauerwerk. In einigen Kehlbalkendächern sind die Bundträme aber nur in den Vollgespärren vorhanden und in den Leergespärren wurden Stichbalken angeordnet. Dies führt dazu, dass in den Leergespärren scheinbar keine Dreigelenkrahmen existieren, welche die horizontalen Kräfte „kurzschließen“ können. In diesen Fällen werden die Horizontalkräfte am Sparrenfußpunkt über die Biegetragwirkung der Mauerbank in die Bundträme der Vollgespärre übertragen. Die Bundträme der Vollgespärre schließen dann auch die Horizontalkräfte aus den Leergespärren „kurz“. Je nach Ausbildung der Mauerkrone, können auch Horizontalkraftanteile über Reibung unmittelbar an das Mauerwerk weitergeleitet werden.



F_h = horizontale Kraft aus den Gespärren
(„Sparrenschub“)

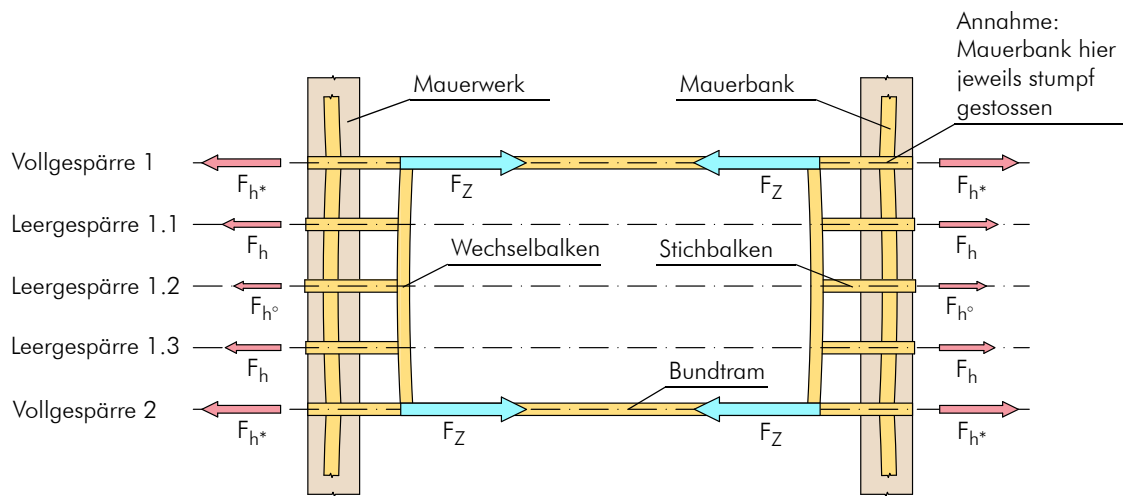
F_z = Zugkraft im Bundtram wirkend

F_{h^*} = maximale horizontale Kraft aus den Gespärren, da der Dreigelenkrahmen hier steif ist.

F_{h^o} = geringere horizontale Kraft, da sich aufgrund der Nachgiebigkeit des Auflagers die Lasten umlagern.

Abb. 1.25: Darstellung der Verformungen eines Kehlbalkendachs mit Stichbalken im Grundriss

Um diese horizontale Verformung zu verringern, wurden die Stichbalken oftmals durch in Längsrichtung angeordnete Wechselbalken, welche wiederum an die Bundtrame angeschlossen wurden, gehalten.



F_h = horizontale Kraft aus den Gespärren („Sparrenschub“)

F_Z = Zugkraft im Bundtram wirkend

F_{h^*} = maximale horizontale Kraft aus den Gespärren, da der Dreigelenkrahmen hier steif ist.

F_{h^o} = geringere horizontale Kraft, da sich aufgrund der Nachgiebigkeit des Auflagers die Lasten umlagern.

Abb. 1.26: Darstellung der Verformung eines Kehl balkendachs mit Stichbalken und Wechselbalken

1.5.1 Klassifizierung und Entwicklung historischer Dachtragwerke

Die nächsten beiden Abbildungen geben einen nahezu vollständigen Überblick über die möglichen, unterschiedlichen Dachtragwerke Mitteleuropas. Sie zeigen einerseits die Art der Lastabtragung auf und andererseits deren zeitliche Entwicklung anhand von Beispielen (siehe MEISEL U. A. (2012)).

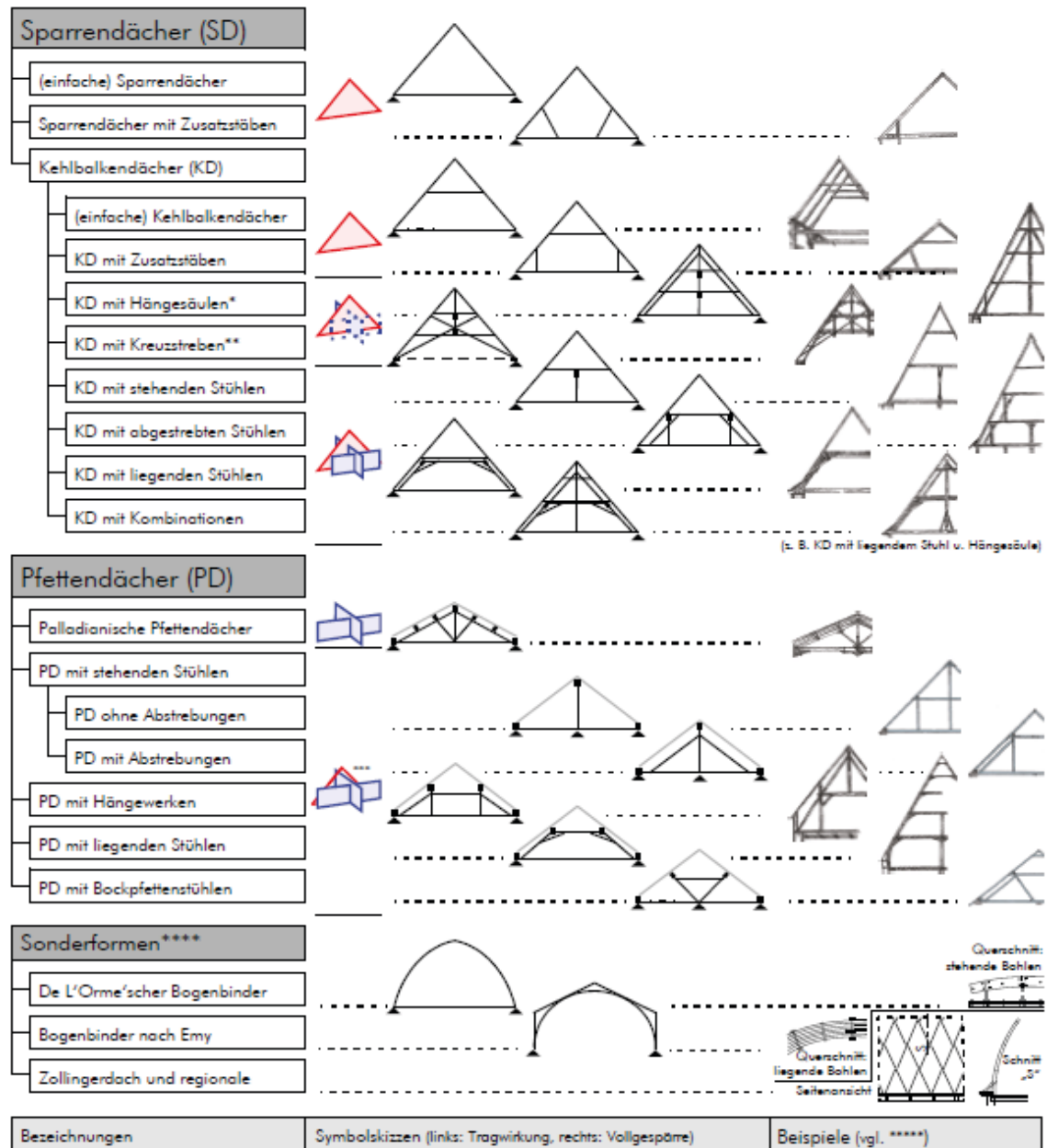


Abb. 1.27: Klassifizierung historischer, hölzerner Dachtragwerke (die Symbolskizzen der Kehlbalkendächer mit Stuhl und die der Pfettendächer stellen jeweils die Vollgespärre dar) in Mitteleuropa (MEISEL U. A. (2012))

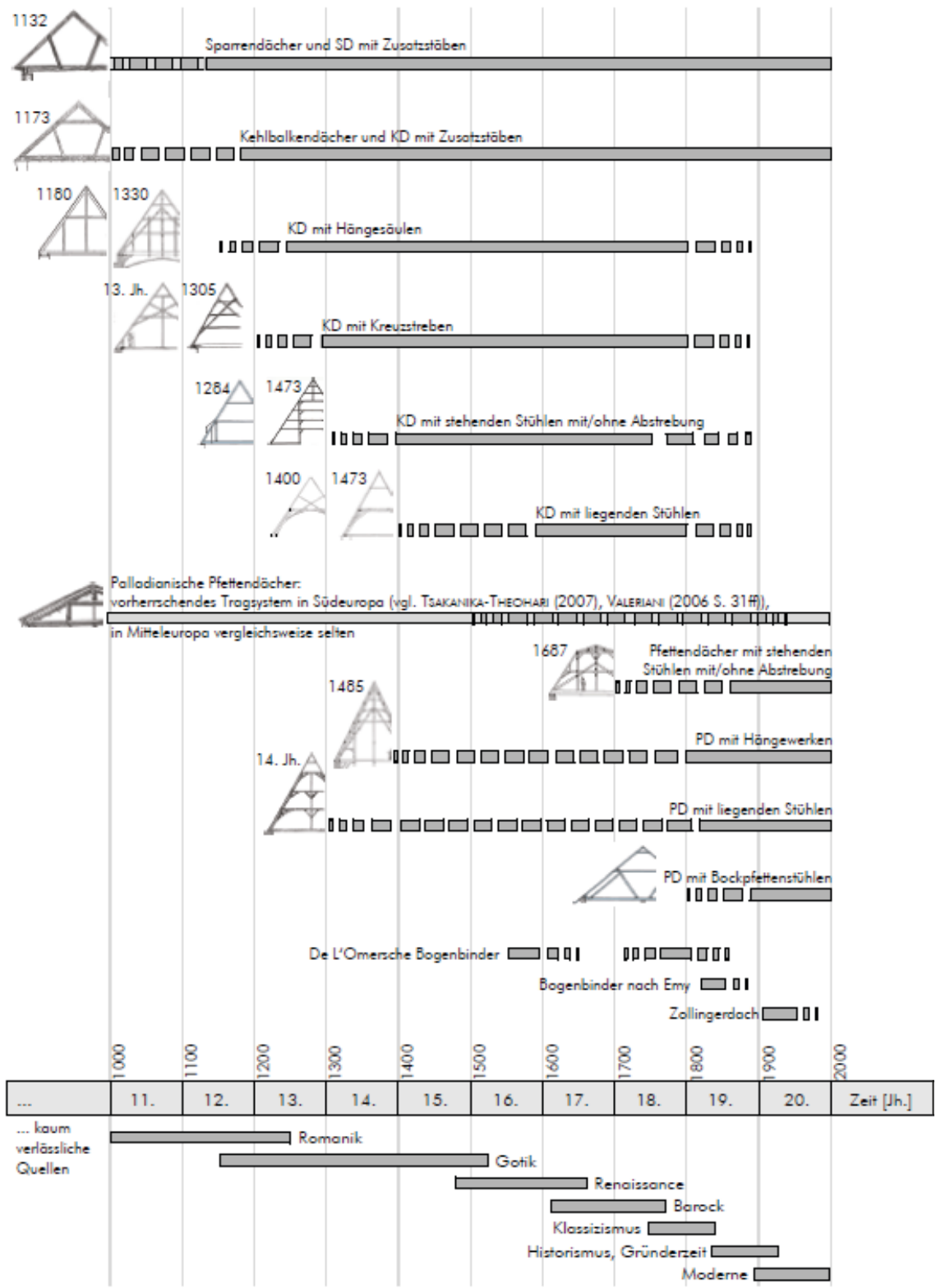


Abb. 1.28: Schematische Zeittafel der Entwicklung historischer Dachtragwerke in Mitteleuropa mit Beispielen (MEISEL U. A. (2012))

2 Zimmermannsmäßige Verbindungen

Dieses Kapitel gibt einen Überblick zu den wichtigsten zimmermannsmäßigen Verbindungen, welche in historischen Dachtragwerken vorwiegend zur Anwendung gekommen sind. Zudem werden die Verbindungen im Folgenden beschrieben und deren häufigste Art der Anwendung und Ausbildung in einem Dachtragwerk erörtert.

Zuletzt wird anhand des historischen Dachtragwerkes der Alten Universität Graz beispielhaft erläutert, wie der Aufbau eines solchen historischen Dachtragwerkes zur damaligen Zeit erfolgt sein könnte.

2.1 Typische Verbindungsausbildungen und -geometrien

Grundsätzlich können Holzverbindungen heutzutage in zimmermannsmäßige und ingenieurmäßige Verbindungen unterschieden werden. In historischen Dachtragwerken wurden je nach Aufgabe des Anschlusses bei der Herstellung verschiedene Arten von zimmermannsmäßigen Verbindungen und vereinzelt auch schmiedeeiserne Verbindungsmittel verwendet. Letztere wurden auf Basis von Erfahrung dimensioniert und können somit nicht zu den ingenieurmäßigen Holzverbindungen gezählt werden. Einen Überblick zu den verschiedenen Verbindungsformen sowie Verbindungsarten gibt Abb. 2.1 (vgl. BÖHM (1911 S. 23 – 54); LEHRMANN (1960 S. 32 – 66); LISSNER ; RUG U. A. (2000 ANLAGE 1); (MÖNCK (1999 S. 24); SCHICKHOFER (2005 B.4); STADE (1904 S. 4 – 25); ZWERGER (1997 S. 88 – 92)).

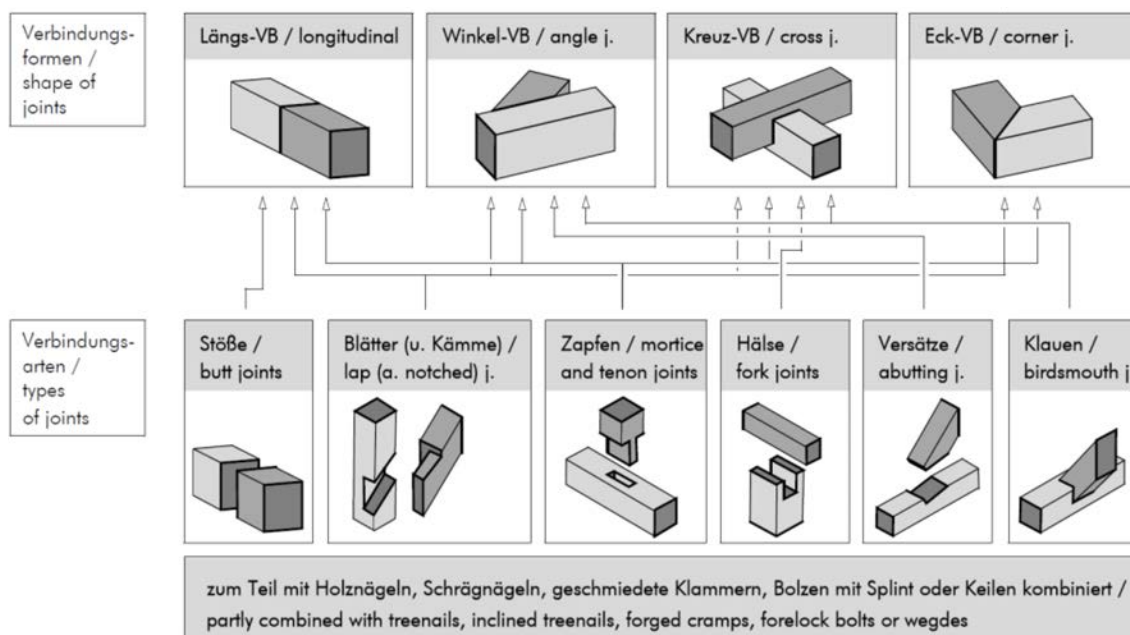


Abb. 2.1: Klassifizierung von zimmermannsmäßigen Holzverbindungen (MEISEL (2013))

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen und der daraus resultierenden Ausbildung zimmermannsmäßiger Holzverbindungen, kann man diese meist bestimmten Knotenpunkten oder „Regionen“ in einem Dachtragwerk zuordnen. Abb. 2.2 zeigt die mögliche Lage der Verbindungen in einem Dachtragwerk.

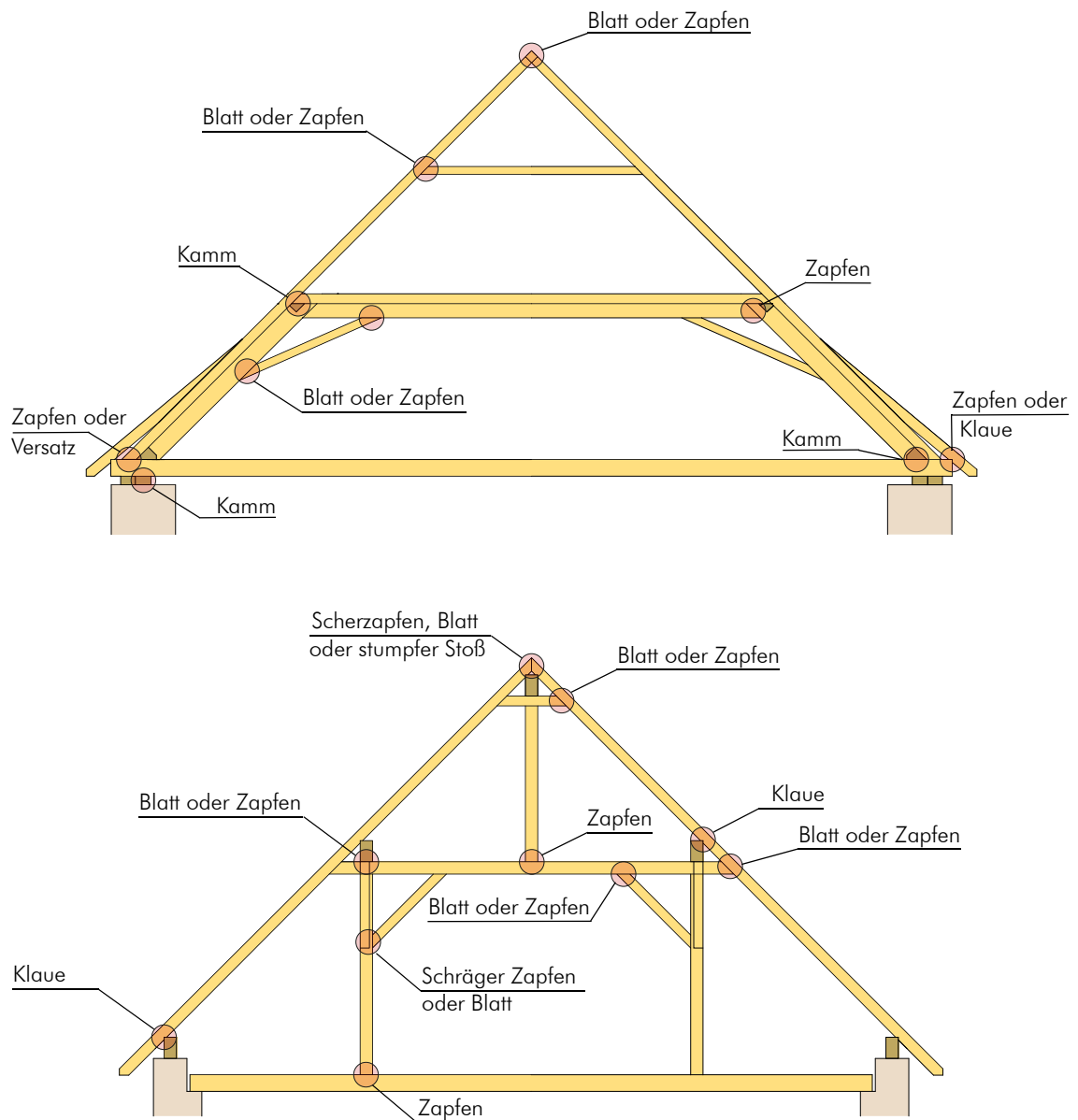


Abb. 2.2: Mögliche Lage verschiedener Verbindungsarten in Dachtragwerken, oben: Kehlbalkendach mit liegendem Stuhl und Hahnenbalken, unten: Pfettendach mit mehrfach stehendem Stuhl

Im Folgenden wird eine Übersicht zu den unterschiedlichen Verbindungsarten und deren Anwendung in einem Dachtragwerk anhand von Beispielen erläutert. Für weitere Informationen zu zimmermannsmäßigen Holzverbindungen können folgende Quellen empfohlen werden: BÖHM (1911 S. 23 – 46), GERNER (2000), LEHRMANN (1960) und STADE (1904 S. 4 – 25).

2.1.1 Stöße

Die einfachsten Stoßverbindungen stellen der gerade und der schräge Stoß dar. Diese können nur Druckkräfte in Längsrichtung übertragen und stellen eine der rudimentärsten Verbindung dar. Stöße wurden meist zur Verlängerung von Hölzern, teilweise auch bei z. B. Anschlüssen von Hängesäulen an einen Bundtram eingesetzt. Um beim geraden Stoß in Längsrichtung des Balkens nicht nur Druckkräfte sondern auch geringe Zugkräfte übertragen zu können, wurden entweder an der oberen Fläche oder an den zwei Seitenflächen Klammern (vgl. Abb. 2.17) oder im Falle eines Hängesäulen – Bundtramanschlusses ein um den Stoß verlaufendes schmiedeeisernes Band (vgl. Abb. 2.18) angebracht. Schräge Stöße dienen ausschließlich der Verlängerung, können nur unwesentlich Kräfte übertragen und benötigen direkt unter der Verbindung ein Auflager (z.B. Mauerwerk oder Sattelholz – vgl. BÖHM (1911 S. 23 – 46), GERNER (2000), LEHRMANN (1960), STADE (1904 S. 4 – 25)).

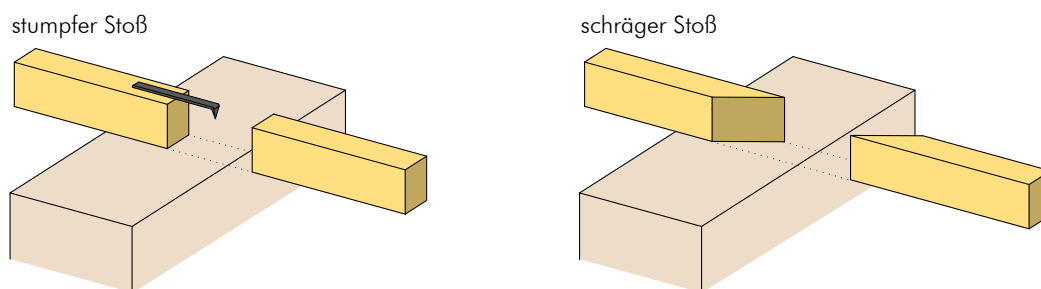


Abb. 2.3: Links: einfacher stumpfer Stoß; Rechts: einfacher schräger Stoß (vgl. BÖHM (1911))

2.1.2 Blätter

Blattverbindungen zählen zu den ältesten und universellsten Verbindungsarten. Es existieren Blätter für Längsverbindungen, Eckverbindungen, Querverbindungen und Kreuzverbindungen.

Für die Verlängerung von Hölzern bedeutete das Blatt eine qualitativ höhere Verbindung als die eines stumpfen oder schrägen Stoßes. Das liegt vor allem daran, dass Blattverbindungen, welche mit stiftförmigen Verbindungsmitteln verbunden sind, auch Zugkräfte und Momente übertragen können. Zu Längsverbindungen gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Ausbildungsmöglichkeiten. Blätter sind bis heute die am häufigsten zur Anwendung gekommenen Verbindungen für das Verlängern von Hölzern. Die typischerweise in Dachtragwerken zur Anwendung gekommenen Verbindungen werden im folgenden aufgezeigt (vgl. BÖHM (1911 S. 23 – 46), GERNER (2000), LEHRMANN (1960), STADE (1904 S. 4 – 25)).

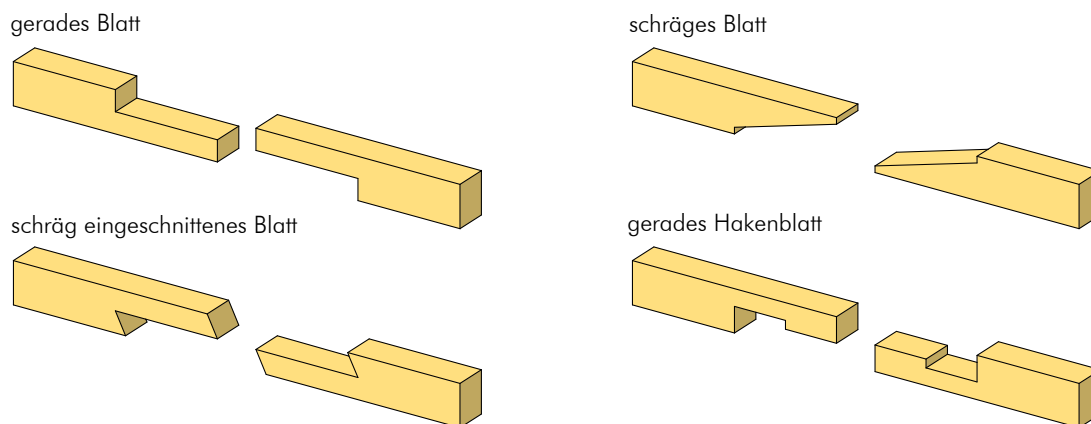


Abb. 2.4: Links oben: gerades Blatt; Links unten: schräg eingeschnittenes Blatt; Rechts oben: schräges Blatt, Rechts unten: gerades Hakenblatt (vgl. GERNER (2000))

Abb. 2.5 zeigt zwei typische Beispiele für die Anwendung von Blattstößen in einem Dachtragwerk.

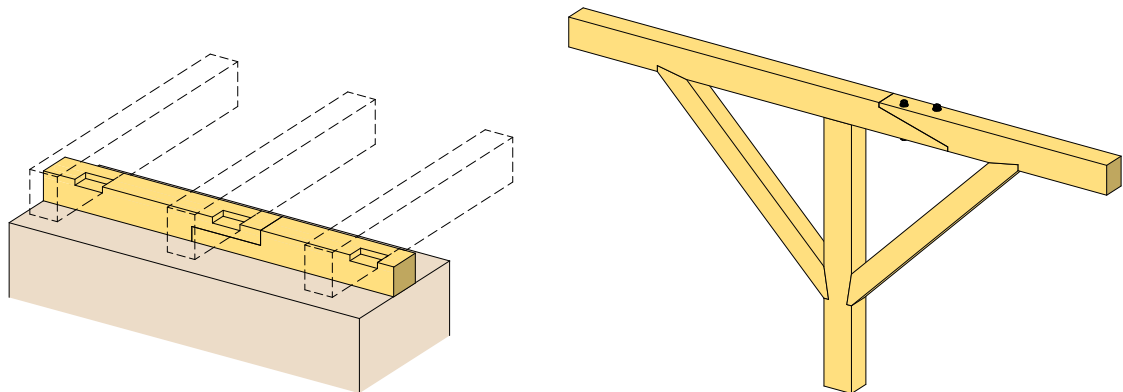


Abb. 2.5: Beispiele für Anwendungen von Blattverbindungen, Links: Verlängerung einer Mauerbank mit geradem Blatt; Rechts: Verlängerung einer Pfette mit schrägem Blatt

Wie schon bei den Längsverbindungen mit Blatt, gibt es auch bei den Querverbindungen eine große Vielfalt an unterschiedlichen Ausbildungsmöglichkeiten. Die wohl bekanntesten Varianten dieser Verbindung sind die Kreuzüberblattung, der Schwalbenschwanz und der Weißschwanz. Diese werden in Abb. 2.6 beispielhaft für ausgewählte Verbindungen dargestellt. Je nach Ausbildung können über Blattverbindungen Druck- oder in geringerem Maße Zugkräfte übertragen werden (vgl. GERNER (2000), LEHRMANN (1960)).

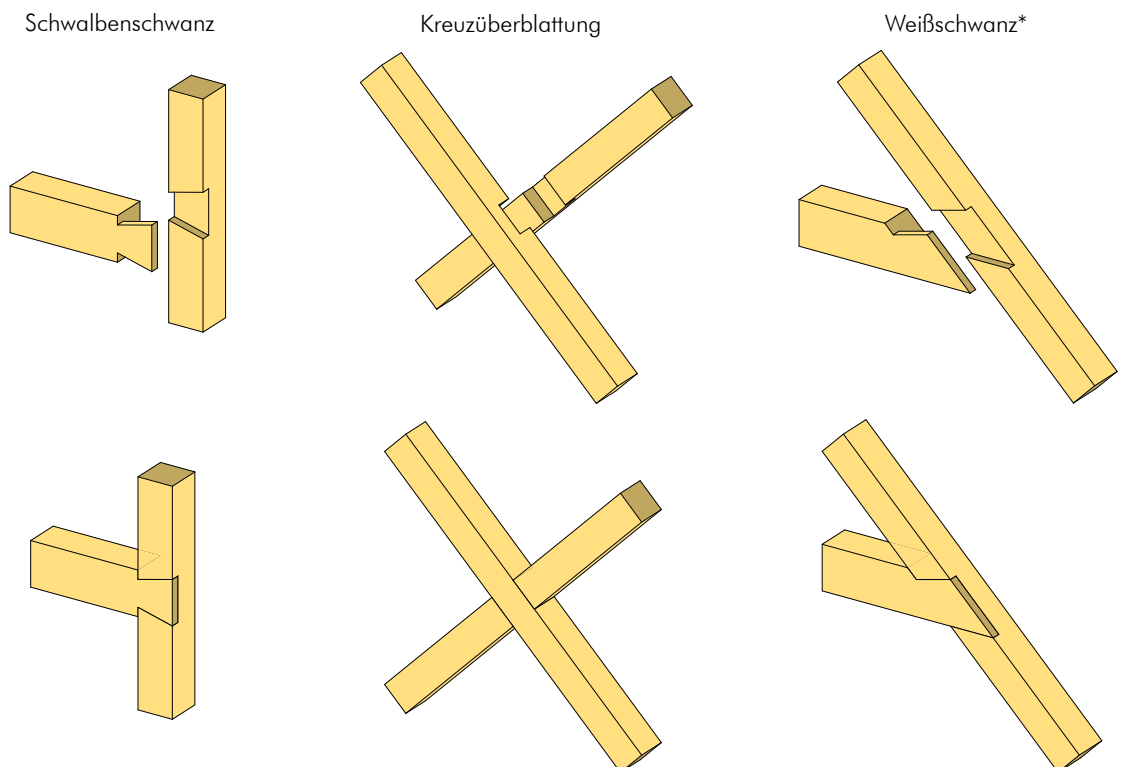


Abb. 2.6: typische Beispiele zur Anwendung von Querverbindungen mit Blatt, Links: Schwalbenschwanzverbindung zwischen Rähm und Schwelle; Mitte: Kreuzüberblattung von Windverbänden; Rechts: Weißschwanzverbindung* zwischen Sparren und Kehlbalken (vgl. GERNER (2000))

* ... lt. Gerner (2000) als „einseitiges Schwalbenschwanz – Querblatt“ bezeichnet

2.1.3 Kämme

Die Kammverbindung stellt eine Sonderform der Blattverbindung dar. Sie kommt nur in liegenden Verbindungen vor und zählt zu den Verbindungen von Hölzern, welche nicht in einer Ebene liegen. Dies ist das besondere Merkmal der Kämme und gleichzeitig Unterscheidungsmerkmal zu den Blättern. Die am häufigsten auftretenden Kammverbindungen sind der Vollkamm, Halbkamm, Mittelkamm, Kreuzkamm und Schwalbenschwanzkamm (vgl. BÖHM (1911 S. 23 – 46), GERNER (2000), LEHRMANN (1960), STADE (1904 S. 4 – 25)).

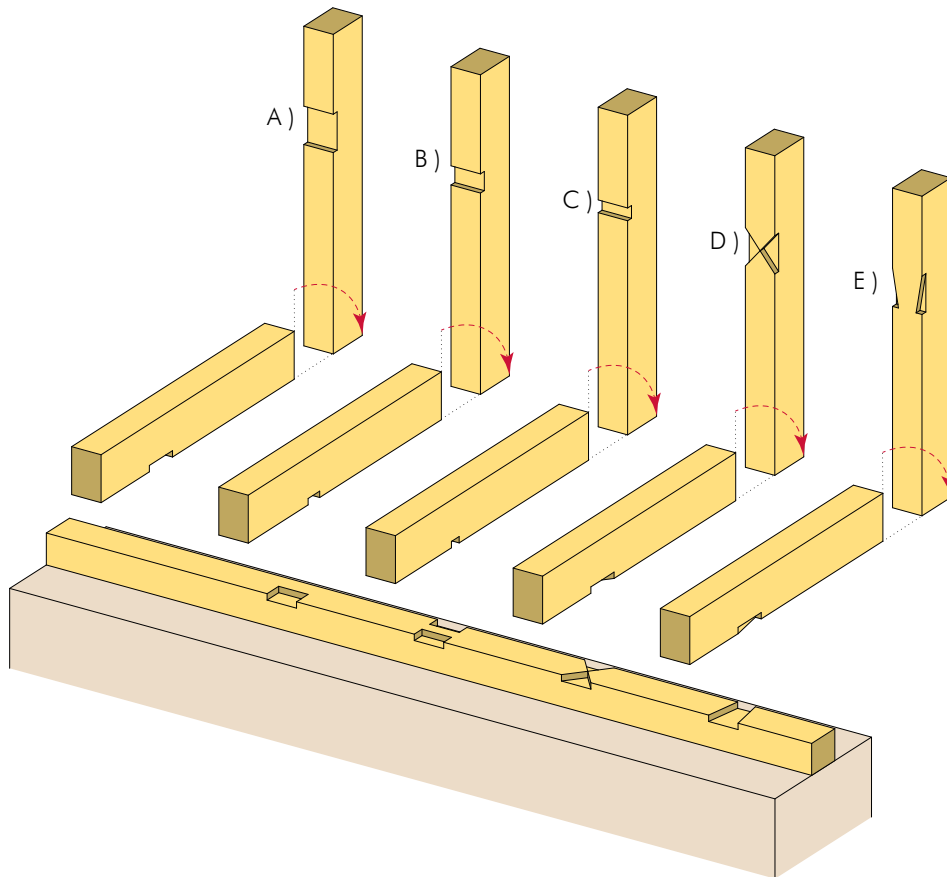


Abb. 2.7: typische Kammverbindungen in Dachtragwerken, A): Vollkamm; B): Halbkamm; C): Mittelkamm; D): Kreuzkamm; E): Schwalbenschwanzkamm (vgl. GERNER (2000))

2.1.4 Zapfen

Die Verzapfung ist die typischste Art der Holz-Holzverbindungen (vgl. GERNER (2000 S. 38)). Sie zählt neben den Blättern zu den ältesten Verbindungen und kommt, wie schon das Blatt, in den unterschiedlichen Variationen vor. Am häufigsten kommt die Zapfenverbindung in historischen Dachtragwerken in Form des geraden Zapfens, des abgesetzten Zapfens, des schrägen Zapfens sowie von Zapfenschlössern vor. Diese werden im Folgenden beispielhaft aufgezeigt.

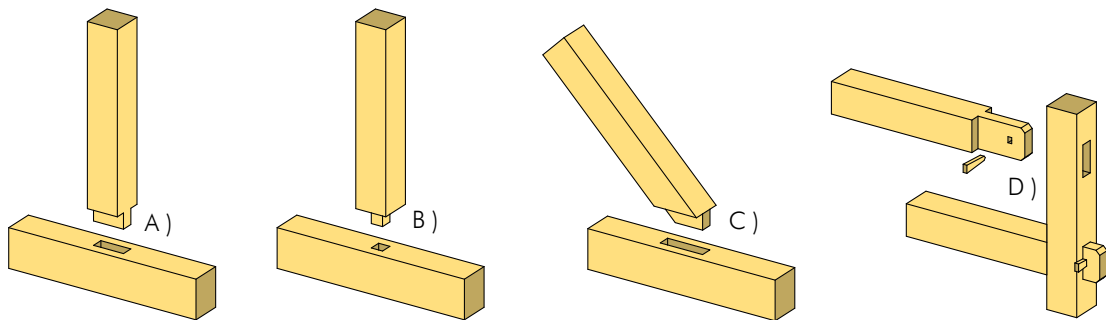


Abb. 2.8: A): gerader Zapfen; B): abgesetzter Zapfen; C): schräger Zapfen; D): Zapfenschloss (vgl. GERNER (2000))

Da Zapfen nur Drucknormalkräfte und Querkräfte aufnehmen können, müssen diese zur Lagesicherung mit zusätzlichen Verbindungsmitteln gegen ein Herausziehen, aufgrund von z. B. starken Verformungen des Dachtragwerkes, gesichert werden. Als Verbindungsmittel zur Lagesicherung wurden in historischen Dachtragwerken bis ins 20. Jh. fast ausschließlich Holznägel verwendet (vgl. BÖHM (1911 S. 23 – 46), GERNER (2000), LEHRMANN (1960), STADE (1904 S. 4 – 25)).

2.1.5 Hälse

Die Halsverbindungen (Einhalsung, Hals) beruhen auf dem Prinzip der Astgabel, welche schon in der Altsteinzeit ca. 10.000 v. Chr. verwendet wurde. Erst durch die Entwicklung der Holzbearbeitungswerkzeuge ab der Bronzezeit, konnten die Halsverbindungen in der uns heute bekannten, passgenauen Form hergestellt werden. Hauptsächlich findet der Hals in diversen Hängesäulenanschlüssen und in Fachwerk-wänden seine Anwendung. Folgende Abbildung zeigt die häufigsten Halsverbindungen beispielhaft auf (vgl. GERNER (2000), LEHRMANN (1960)).

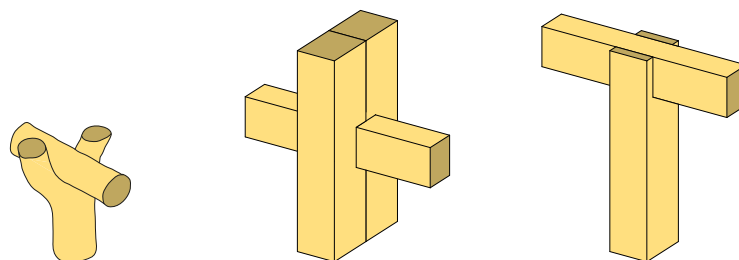


Abb. 2.9: Links: die Astgabel als Urprinzip der Hälse; Mitte: Halsung einer Hängesäule – Kehlbalkenverbindung; Rechts: eingeschnittener Hals einer Stuhlsäule – Pfettenverbindung (vgl. GERNER (2000))

2.1.6 Versätze

Der Versatz ist seit dem frühen Mittelalter eine durchaus gängige Verbindung. Diese Verbindungsart wurde in historischen Dachtragwerken meist mit Zapfen und seltener mit Blättern kombiniert und kommt als Versatz alleine kaum vor (vgl. Abschnitt 2.1.8). Im heutigen Ingenieurholzbau wird der Versatz für technisch anspruchsvolle Lösungen verwendet. Anwendung fand die Versatzverbindung in historischen Dachtragwerken im Allgemeinen für Hänge- und Sprengwerke. Die Grundtypen dieser Verbindung sind der Stirnversatz, Fersenversatz, Stirn- und Fersenversatz sowie der Riegelzapfen (vgl. Abb. 2.10 – BÖHM (1911 S. 23 – 46), GERNER (2000), LEHRMANN (1960), STADE (1904 S. 4 – 25)).

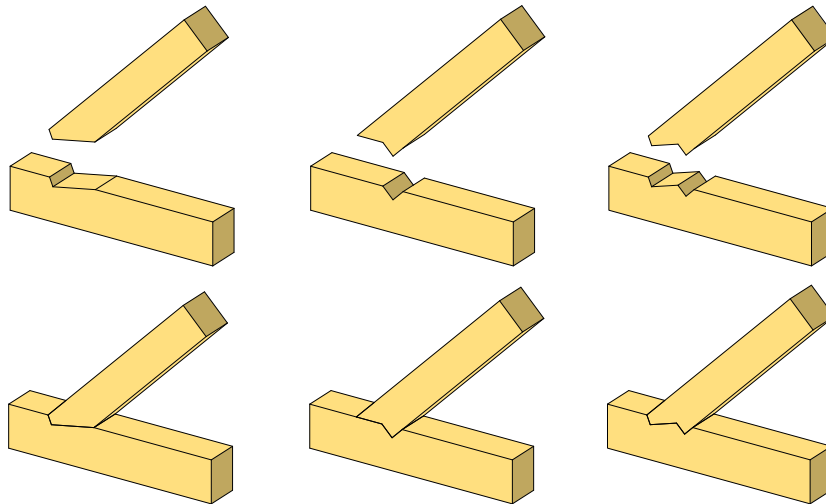


Abb. 2.10: Grundtypen der Versatzverbindung, Links: Stirnversatz; Mitte: Fersenversatz; Rechts: Stirn- und Fersenversatz (vgl. GERNER (2000))

2.1.7 Klauen

Seit Anbeginn der Verbindung von Hölzern existieren verschiedene Variationen von Klauen. Klauenverbindungen fanden fast ausschließlich ihre Anwendung bei der Befestigung der Sparren auf den Pfetten. Hierbei wurden verschiedene Variationen der Klaue entwickelt, abhängig davon, ob der Sparren am Auflager aufhört oder nicht. Zur Lagesicherung sind Klauenverbindungen stets mit Hilfe von zusätzlichen Verbindungsmitteln zu sichern. Dazu wurden ursprünglich Seile, später eiserne Nägel und schließlich vor allem Eisenklammern verwendet. Zwei Beispiele für eine Auflagerausbildung mittels Klaue am Ende eines Sparren zeigt Abb. 2.11.

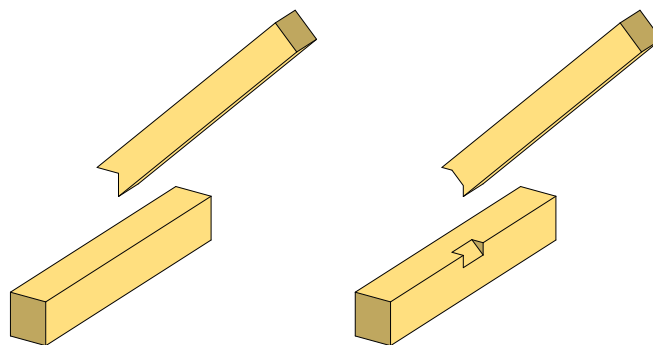


Abb. 2.11: Beispiele für Klauenverbindungen am Ende eines Sparren, Links: Aufklauung durch Hirnschnitt im Sparren (Stirnklauung); Rechts: Aufklauung mit Anschnitt der Pfette (vgl. GERNER (2000))

Wurde der Sparrenquerschnitt durch die Klaue zu sehr geschwächt, bildete man am Sparren eine Vertiefung aus, in welcher der Sparren dann gelegt werden konnte (vgl. Abb. 2.12 – (vgl. BÖHM (1911 S. 23 – 46), GERNER (2000), LEHRMANN (1960), STADE (1904 S. 4 – 25)).

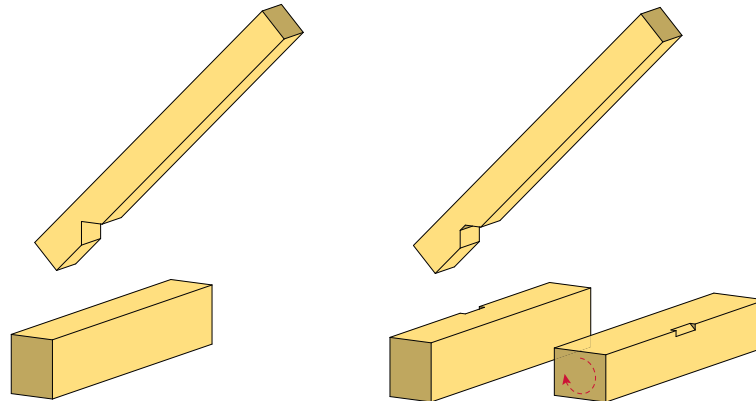


Abb. 2.12: Klauenverbindungen an Zwischenauflagern von Sparren, Links: Überklauung durch Kantenschnitt des Sparrens; Rechts: Überklauung durch Kantenschnitt des Sparrens und Anschnitt der Pfette

2.1.8 Kombinationen

Funktionstüchtige zimmermannsmäßige Verbindungen sind unverzichtbare Bestandteile jedes dauerhaften Holzbaus. Um ihrer Funktion gerecht zu werden, entstanden über die Jahrhunderte diverse Kombinationen zwischen den einzelnen Verbindungsarten. Eine häufig auftretende Variation dieser Kombinationen stellt der schräge Zapfen mit abgesetztem Versatz oder der eingeschnittene Hals mit Zapfen dar. Zweck dieser Verbindungen war neben der Kraftübertragung auch eine Lagesicherung (vgl. Abb. 2.13 – (vgl. BÖHM (1911 S. 23 – 46), GERNER (2000), LEHRMANN (1960), STADE (1904 S. 4 – 25)).

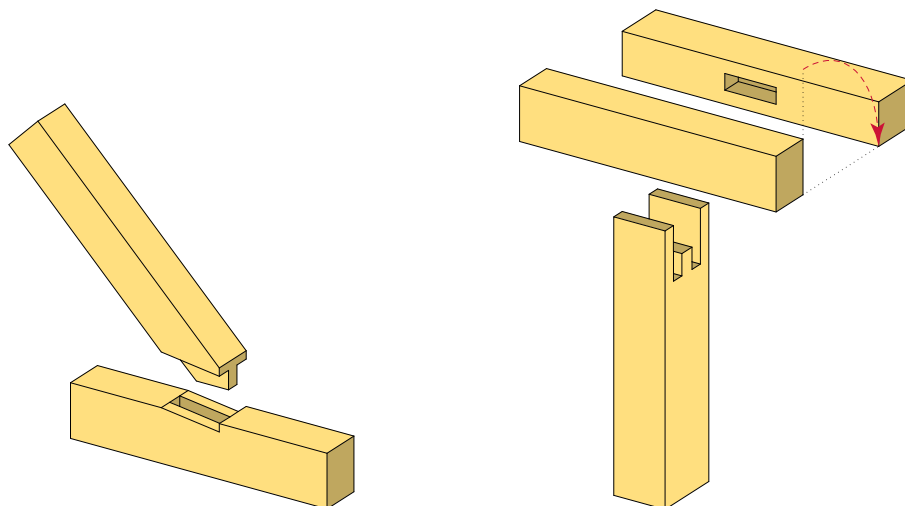


Abb. 2.13: Links: schräger Zapfen mit abgesetztem Versatz; Rechts: eingeschnittener Hals mit Zapfen (vgl. GERNER (2000))

2.2 Tragverhalten

Historische zimmermannsmäßige Holzverbindungen können hauptsächlich Drucknormalkräfte und/oder Querkräfte und im geringen Umfang Momente und Torsionsmomente übertragen. Auftretende Zugkräfte können nur stark eingeschränkt übertragen werden. Ein Beispiel dafür ist die Weißschwanzverbindung, welche nur über die schräg verlaufende Kontaktfläche des Weißschwanzblattes und, so dieser vorhanden ist, von einem im Schnittpunkt der Systemlinien angeordneten Holznagel, Zugkräfte in das angeschlossene Bauteil übertragen kann. Die Druckkräfte werden über, von der Verbindungsart abhängigen, Kontaktflächen auf den angeschlossenen Stab übertragen. Eine richtige und passgenaue Ausbildung der Verbindung ist maßgeblich für die Tragfähigkeit einer zimmermannsmäßigen Verbindung. Die zumeist zur Lagesicherung vorhandenen Holznägel sind im weitesten Sinne als stiftförmige Verbindungsmittel anzusehen und auf Abscheren, sowie die Bohrlochwandung auf Lochleibung beansprucht. Obwohl die Querschnitte in historischen Dachtragwerken meist überdimensioniert sind, können diese nur vergleichsweise geringe Druck- und noch geringere Zugkräfte aufnehmen. Dies beruht auf der durch die Verbindungsausbildung selbst verursachten großen Querschnittsschwächungen und der exzentrischen Kraftübertragungen. Lokal auftretende große Querdruck- bzw. Querkzugbeanspruchungen, welche sich meist aus geometrischen Gründen ergeben, begrenzen ebenfalls stark die Tragfähigkeit von zimmermannsmäßigen Verbindungen (vgl. MEISEL (2009A); KÖCK (2011)).

An dieser Stelle wird noch auf die Nachgiebigkeiten historischer Holz – Holz – Verbindungen hingewiesen. Holzverbindungen können grundsätzlich nicht als starr angesehen werden. Dies resultiert aus unterschiedlichen Einflussfaktoren. Einerseits sind die anisotropen Materialeigenschaften des Baustoffes Holz, sowie das Quellen und Schwinden des Holzes und andererseits die Ungenauigkeiten bei der Herstellung der Verbindung Faktoren, welche einen starken Einfluss auf die Nachgiebigkeit einer Verbindung haben. Weitere Einflussfaktoren sind die über die Bestandsdauer stattgefundenen Verformungen aus Be- und Entlastung des Dachtragwerkes, oder aber auch diverse Schädigungen an Verbindungen, um nur einige zu nennen. Daraus resultiert insgesamt eine Nachgiebigkeit der einzelnen Verbindungen, welche bei den Berechnungen der Dachtragwerke zu berücksichtigen ist, da diese Nachgiebigkeit die Lastabtragung statisch unbestimmter Systeme stark beeinflusst. Einen guten Überblick zu den Nachgiebigkeiten von typischen historischen Verbindungsarten gibt die folgende Abbildung von MEISEL (2013).

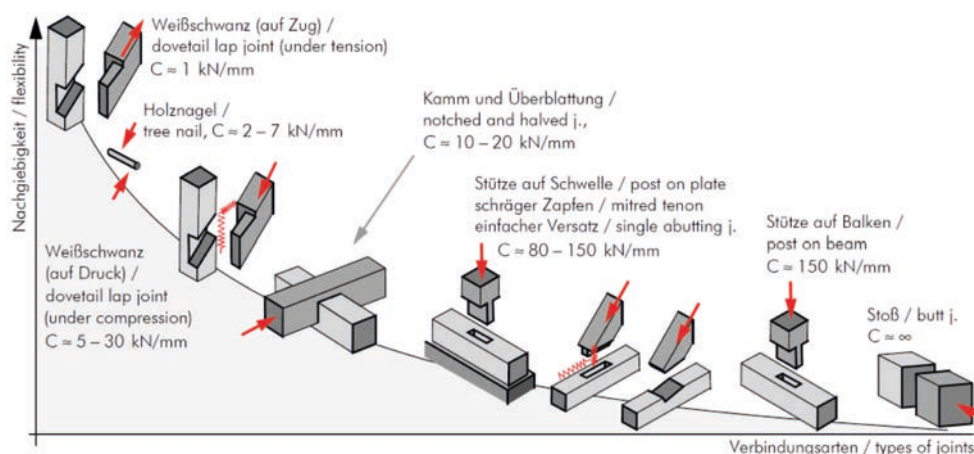


Abb. 2.14: Übersicht der zu erwartenden Steifigkeiten historischer Verbindungen (vgl. MEISEL (2013))

Merke:

Die Berechnung eines historischen Dachtragwerkes unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeiten der Verbindungen sollte in jedem Fall von einem in diesem Bereich spezialisierten Bauingenieur durchgeführt werden.

2.2.1 Hölzerne und eiserne Verbindungsmittel in historischen Dachtragwerken

Das in historischen Dachtragwerken am häufigsten zur Anwendung gekommene Verbindungsmittel sind der Holznagel und der Eisennagel. Holznägel wurden je nach Anforderung und verwendetem Material aus Hart- oder Weichholz hergestellt. Zur Herstellung wurden Holzstücke in benötigter Länge in quadratische oder prismatische Form gebracht, an den Ecken abgefast und an einem Ende mit einer stumpfen Zuspitzung versehen. In die vorgesehene Verbindung wurde ein Loch gebohrt und der Holznagel eingetrieben. Um ein Lockern der Nägel durch das Trocknen der Hölzer zu verhindern und eine feste Verbindung zu garantieren, wurden die Löcher in ihrem Durchmesser geringfügig kleiner gebohrt, als der Durchmesser des Holznagels (vgl. EHLBECK U. HÄTTICH (1988); ERLER (2002); KESSEL U. AUGUSTIN); STADE (1904)).

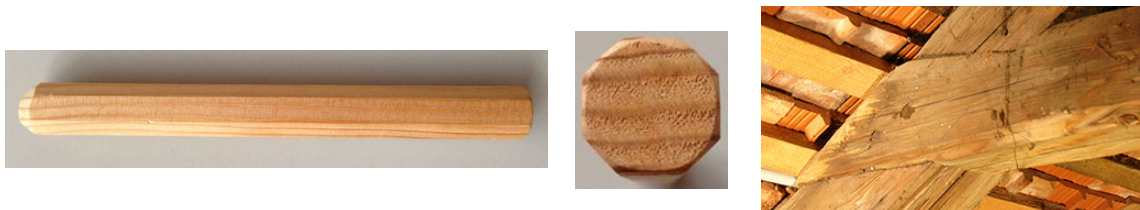


Abb. 2.15: historische Holznägel zur Lagesicherung in unterschiedlichen Verbindungen (Ferdinandum Graz)

Eiserne Verbindungsmittel waren aufgrund der aufwendigen Herstellung bis in das 18. Jh. ein wertvolles Verbindungsmittel. Auf Grund dessen wurde bis zu diesem Zeitpunkt versucht, deren Einsatz so gut es ging zu vermeiden. Erst mit Beginn des Anstieges des Eisenangebotes und der ab dem 19. Jh. erfolgenden maschinellen Fertigung wurden diese Verbindungsmittel günstiger und der Einsatz stieg exponentiell an (vgl. BÖHM (1911); BÜREN (1985); STADE (1904)).

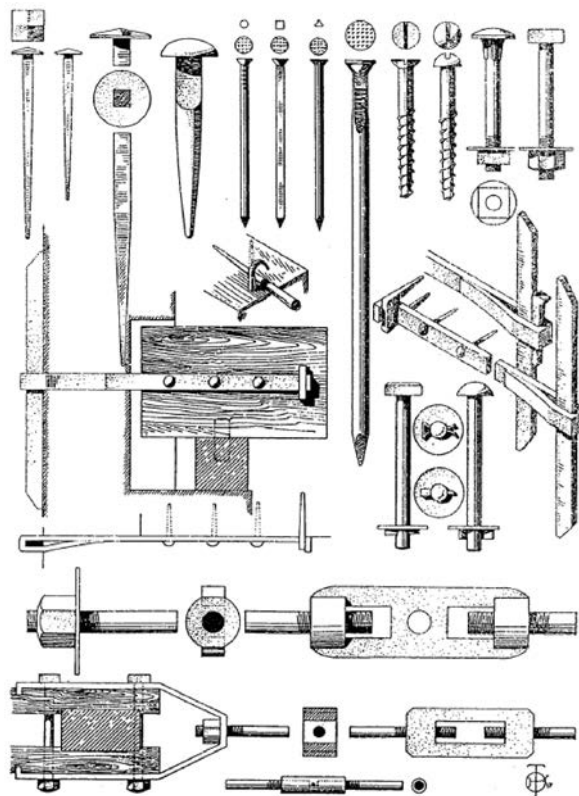


Abb. 2.16: Eiserne Hilfsmittel als Verbindungsmittel (vgl. BÜREN (1985))

Eisenklammern waren ein sehr oft verwendetes Verbindungsmittel für Längsstöße bzw. um diverse Verbindungen gegen ein Auseinanderziehen durch Zugkräfte zu sichern.



Abb. 2.17: Links: typische Form und Abmessungen von historischen Klammern; Rechts: Anwendungsbeispiel von Klammern bei einem Längsstoß (vgl. MEISEL (2013))

Schmiedeeiserne Bänder wurden hauptsächlich zur Verbindung von Hängesäulen mit Bundträmen verwendet. Sie wurden dafür um den Bundträm geführt und an zwei sich gegenüberliegenden Seiten mit dem Bundträm kraftschlüssig mit Hilfe von Eisenbolzen oder Nägeln verbunden.



Abb. 2.18: Beispiel zur Anwendung eines schmiedeeisernen Bandes (ALTE UNIVERSITÄT GRAZ)

2.3 Verbindungen des Dachstuhls der Alten Universität Graz

Im Zuge der Forschungsarbeiten D(N)achhaltigkeit im Jahre 2009 – 2010 sowie HOLZ – HOLZ – Verbindungen im Jahre 2012 – 2014, welche an der Technischen Universität Graz, Institut für Holzbau und Holztechnologie in Zusammenarbeit mit der holz.bau forschungs gmbh durchgeführt wurden, konnte der gesamte Dachstuhl der Alten Universität Graz in seiner Geometrie aufgenommen werden. Aus diesen gesammelten Unterlagen heraus, wurden im Folgenden die wichtigsten Knotenpunkte des Dachtragwerkes dargestellt, um einen Einblick in die Vielfalt und Komplexität eines historischen Dachstuhl zu erlangen. In weiterer Folge wird der mögliche Aufbau nach der Fertigung dieses Dachtragwerkes kurz beschrieben und dargestellt.

2.3.1 Kurzbeschreibung des Dachtragwerkes

Bei dem Dachstuhl der Alten Universität Graz, welche im Jahre 1607 errichtet wurde, handelt es sich um ein Kehlbalkendach mit zweistöckigem, zweifach liegendem Stuhl mit mittiger, hängewerksartig abgestrebter, Hängesäule. Als Aussteifung wurden paarweise Windrispen angeordnet. Die Rähme sind in der Dachneigung liegend eingebaut und fünfeckig behauen. Eines der Vollgespärre ist dreiseitig in das Giebelmauerwerk eingemauert. In den Stuhlwänden beider Stockwerke existieren Fußschwellen und Brustriegel.

Im Folgenden sind die einzelnen Gespärre und der liegende Stuhl in ihrer fertigen Form im Dachstuhl dargestellt. Im Anschluss daran werden die wichtigsten Knotenpunkte des Dachtragwerkes bildlich dargestellt und deren Geometrien aufgezeigt.



Abb. 2.19: Lage und Aussehen eines Vollgespärres im Dachtragwerk der Alten Universität Graz

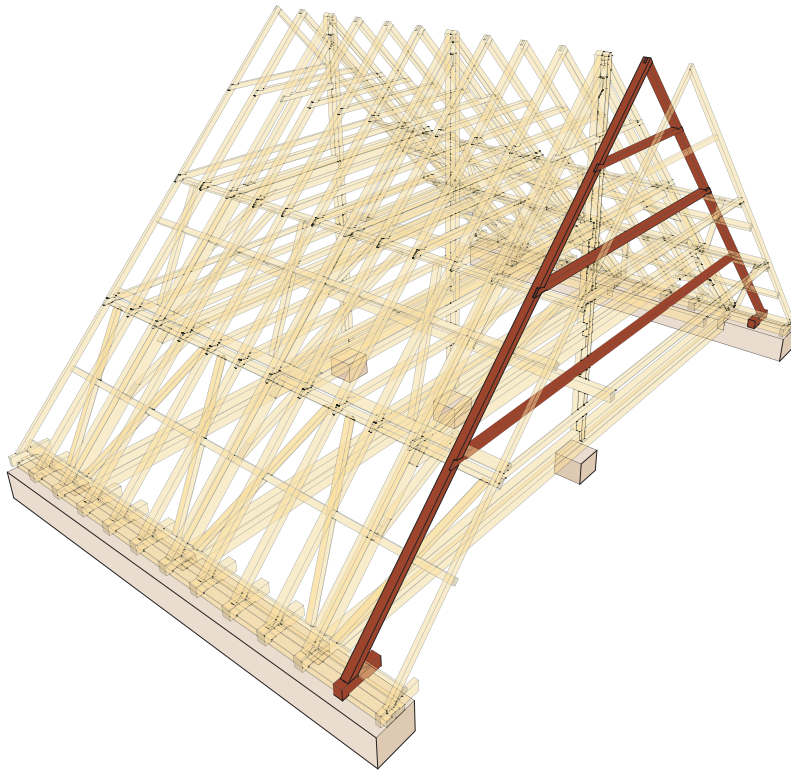


Abb. 2.20: Lage und Aussehen eines Leergespärres im Dachtragwerk der Alten Universität Graz

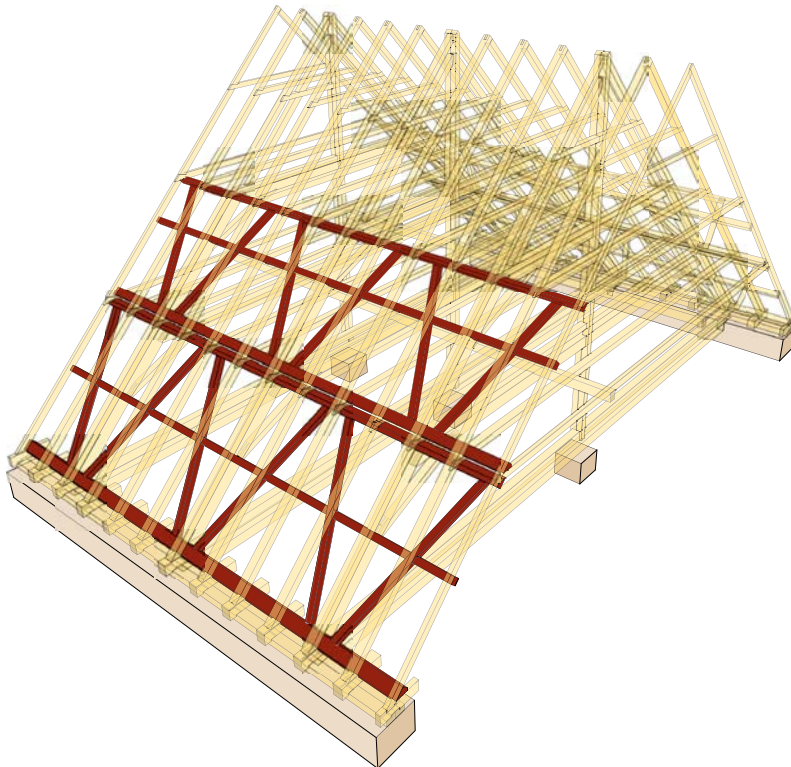


Abb. 2.21: Lage und Aussehen der Stuhlwand beider Stockwerke im Dachtragwerk der Alten Universität Graz

2.3.2 Detail Fußpunkt:

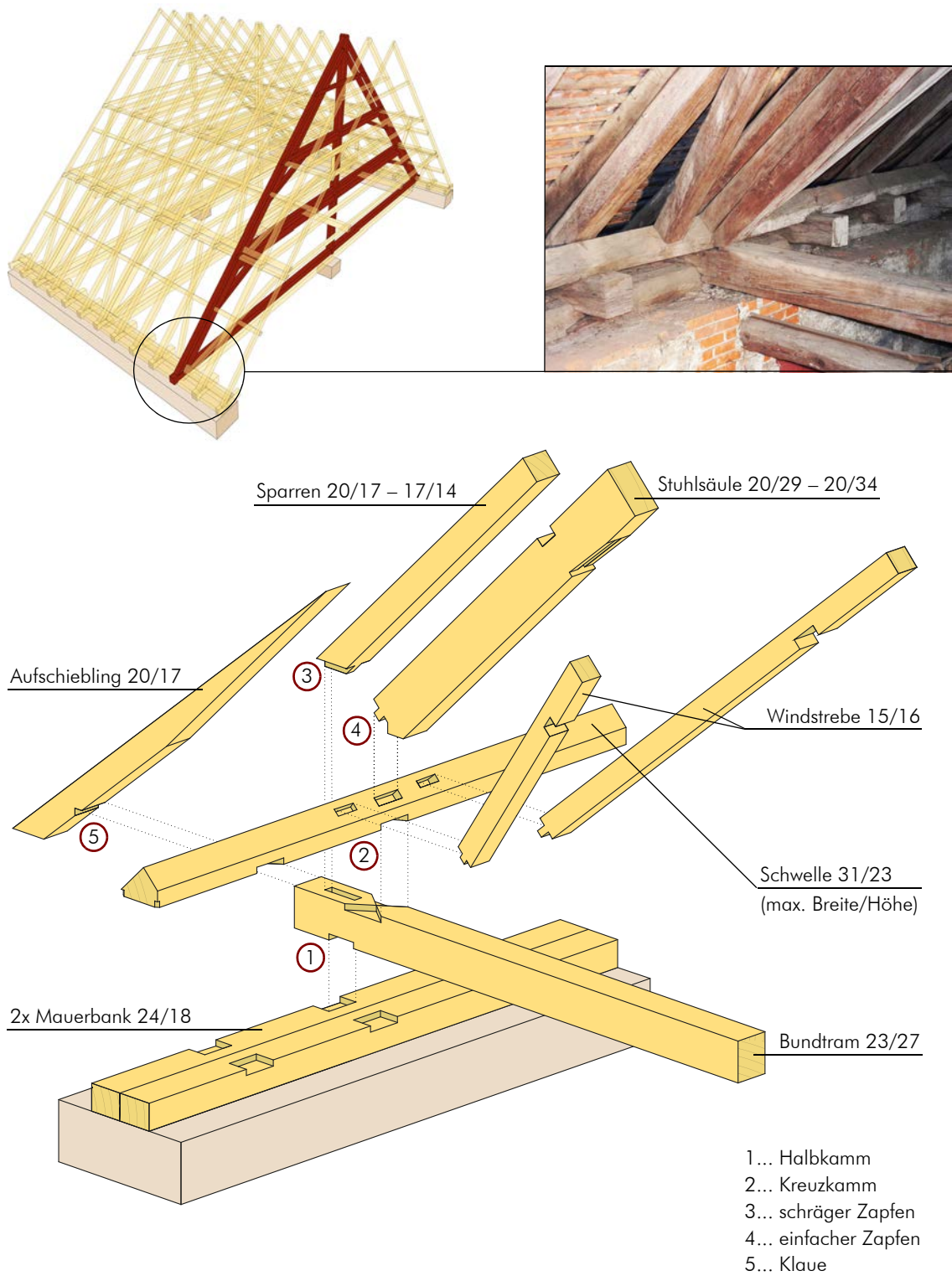


Abb. 2.22: Bildliche Erläuterung des Fußpunktdetails (Abmessungen in [cm])

2.3.3 Detail liegender Stuhl der 1. Ebene sowie 1. Kehlbalkenebene Bereich Kehlbalken – Sparren:

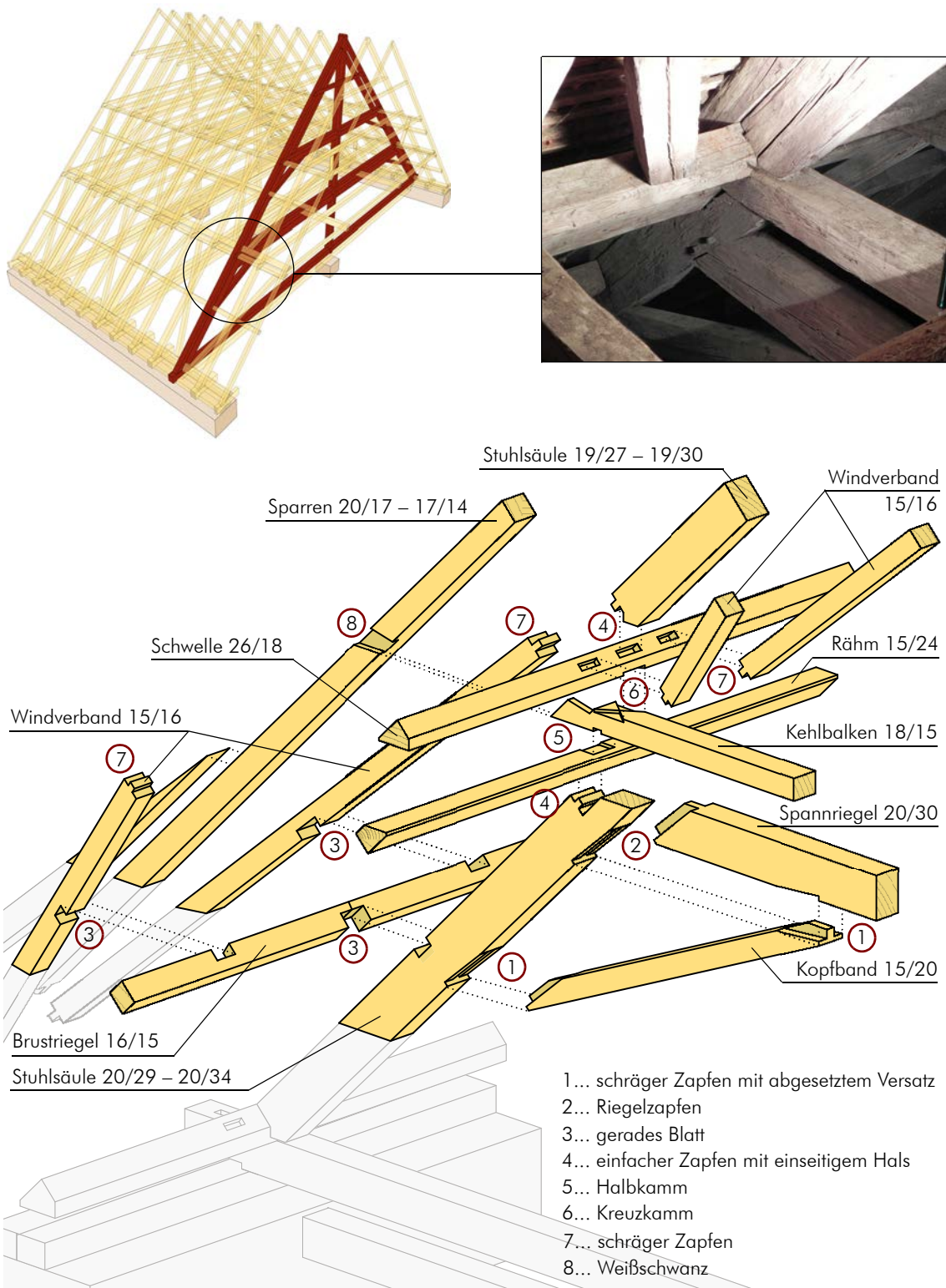


Abb. 2.23: Bildliche Erörterung des Details des liegenden Stuhls der 1. Ebene, sowie der 1. Kehlbalkenebene im Bereich Kehlbalken – Sparren (Abmessungen in [cm])

2.3.4 Detail liegender Stuhl der 2. Ebene sowie 2. Kehlbalkenebene Bereich Kehlbalken – Sparren

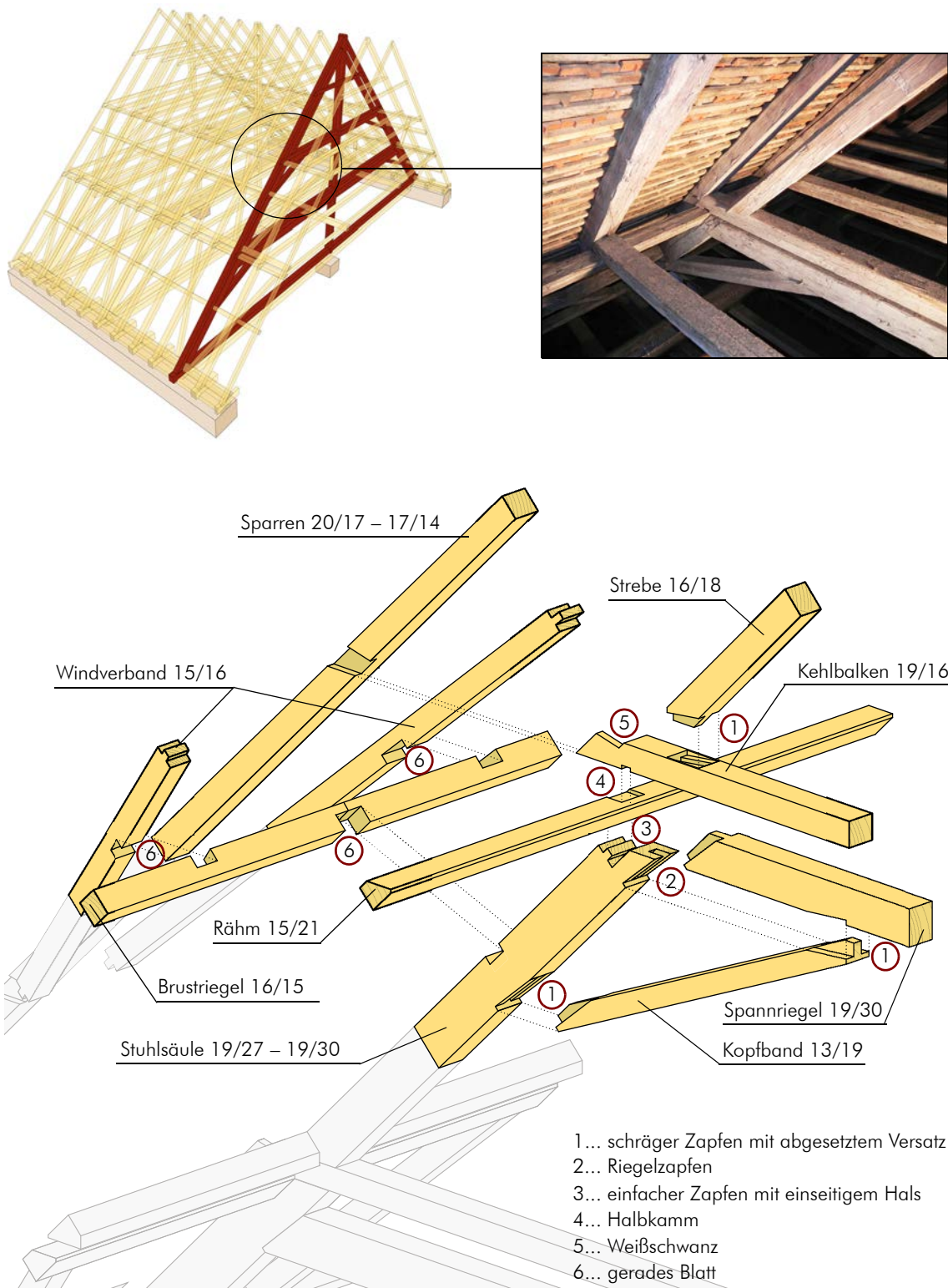


Abb. 2.24: Bildliche Erörterung des Detailanschlusses liegender Stuhl der 2. Ebene sowie der 2. Kehlbalkenebene im Bereich Kehlbalken – Sparren (Abmessungen in [cm])

2.3.5 Detail Hahnenbalken sowie Firstpunkt:

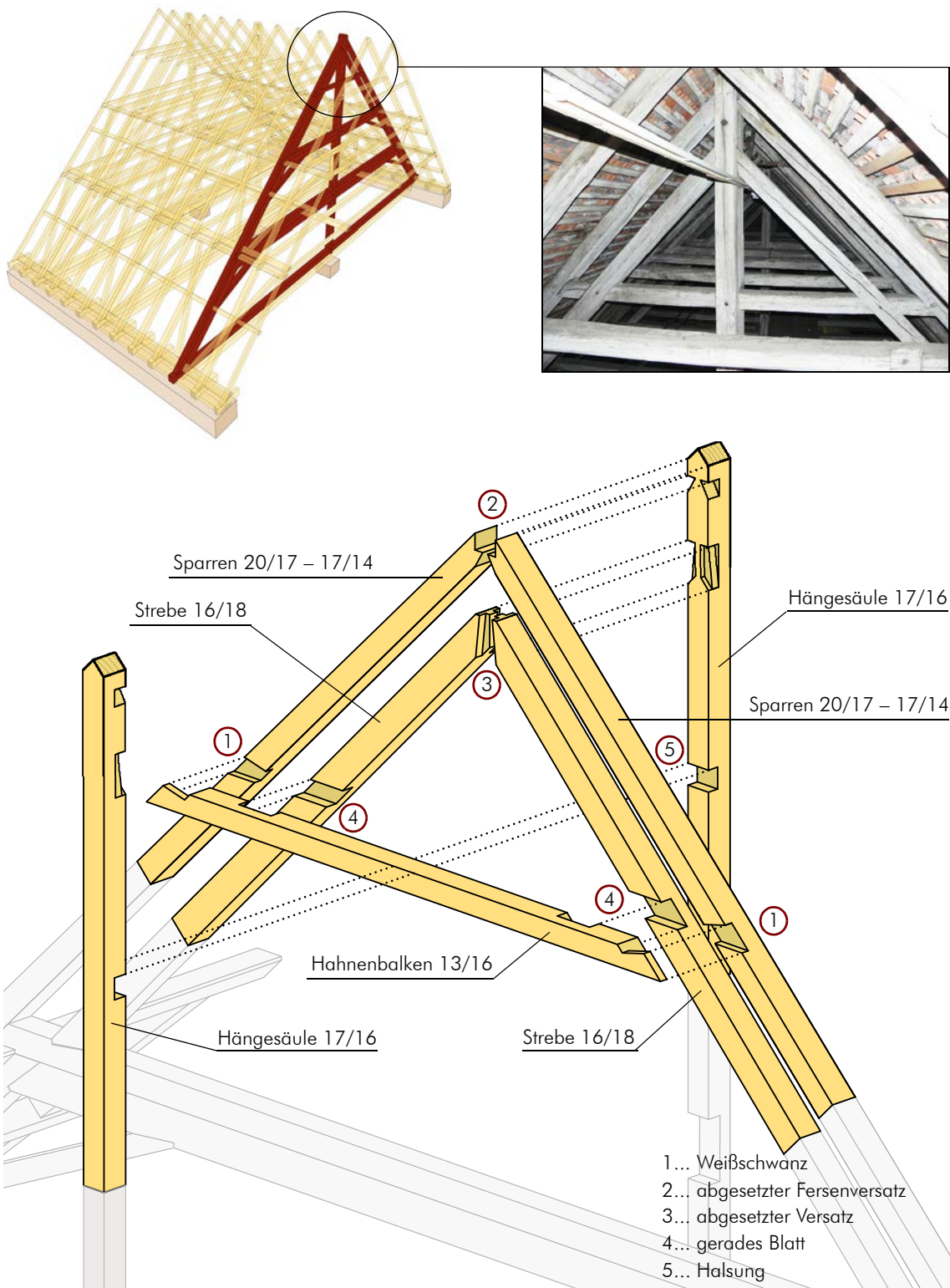


Abb. 2.25: Bildliche Erörterung des Detailanschlusses Hahnenbalken – Sparren sowie des Firstpunktes (Abmessungen in [cm])

2.3.6 Detail Firstpunkt des Leergespärre:

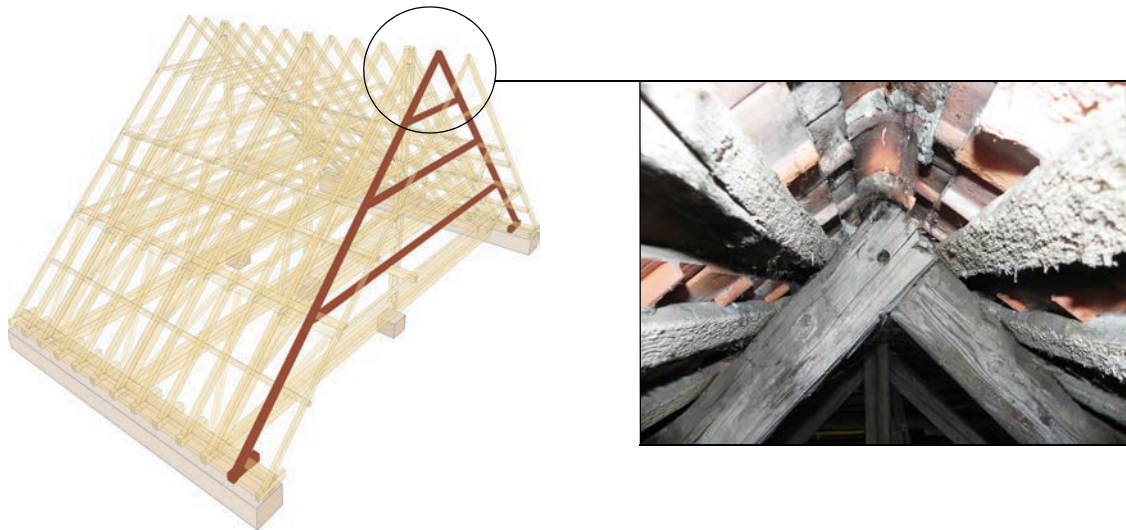


Abb. 2.26: Darstellung des Detailanschlusses im Firstpunkt des Leergespärre
Scherzapfenverbindung:

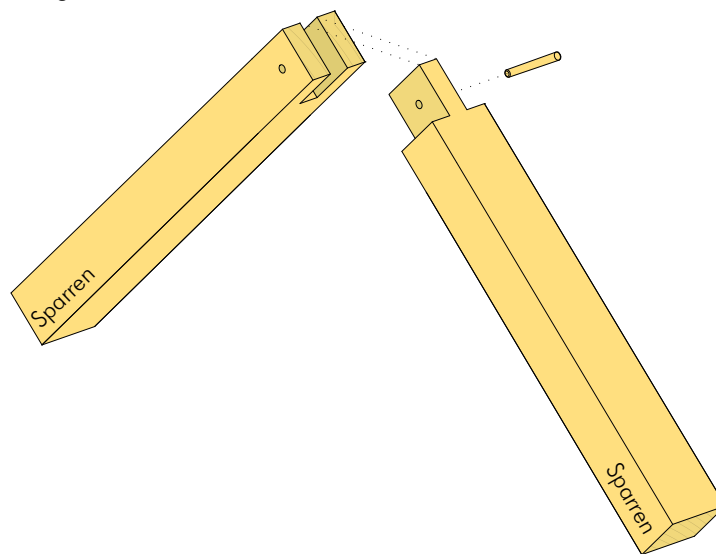


Abb. 2.27: Verbindung Sparren – Sparren im Firstpunkt des Leergespärre

2.3.7 Montagevorgang am Beispiel des Dachtragwerkes der Alten Universität Graz

Im Folgenden wird versucht einen Einblick darauf zu geben, wie ein solches Dachtragwerk zur damaligen Zeit aufgestellt wurde. Dies soll einen Blick auf die Vorgehensweise ermöglichen, um die damalige Denkweise etwas besser verstehen zu können. Dazu wird der mögliche Aufbau des historischen Dachtragwerkes der Alten Universität Graz in zehn Schritten erläutert.

Der erste Schritt nach der Planung des Bauvorhabens war es, das richtige Material zu besorgen. Zumeist wurde das Holz aus den umliegenden Wäldern verwendet. Bei größeren Bauvorhaben musste jedoch das Holz von weiter entfernten Gebieten besorgt werden. Da sich der Transportweg über die Straße oft als sehr mühsam bzw. unmöglich erwies, wurden die Baumstämme sehr oft über den Wasserweg mit Hilfe von Flößen oder einfach als Trift an den Bestimmungsort gebracht. Die relativ frischen Baumstämme wurden danach bis zum Ende des 18. Jhd. meist händisch behauen. Die Möglichkeit, die Baumstämme mit der Säge zu bearbeiten, gab es in Mitteleuropa zwar schon etwa ab dem 14. Jhd, jedoch wurde diese Bearbeitungstechnik zu Beginn nur für außergewöhnliche Bauten angewandt, da diese Methode durchwegs teuer und aufwendig war. Erst ab Mitte des 19. Jhd. wurde durch verbesserte Sägetechniken gesägtes Holz für eine breitere Gesellschaftsschicht leistbar (vgl. SCHADWINKEL U. HEINE (1986)).

Im Anschluss wurden die einzelnen Bauteile des Dachtragwerkes am Boden behauen, die einzelnen Verbindungen gefertigt und mit Abbundzeichen versehen (vgl. BINDING (1991); FISCHER-KOHNERT (1999); GERNER (1992); SCHULLER (2004); sowie Abb. 2.28; Abb. 2.29; Abb. 2.30).

Die folgenden Abbildungen geben einen Einblick, wie ein solcher Abbundplatz im Mittelalter ausgesehen haben könnte.

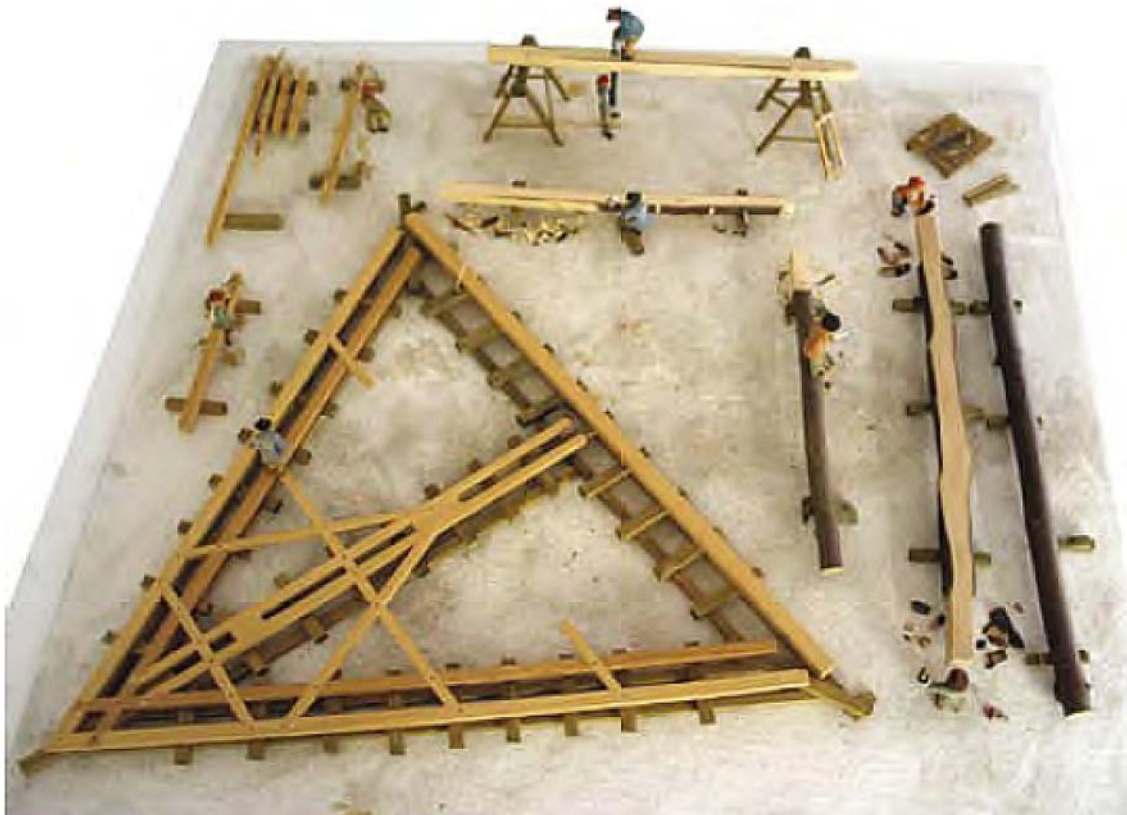


Abb. 2.28: Abbundplatz aus dem späten Mittelalter (vgl. SCHULLER (2004 S. 20))

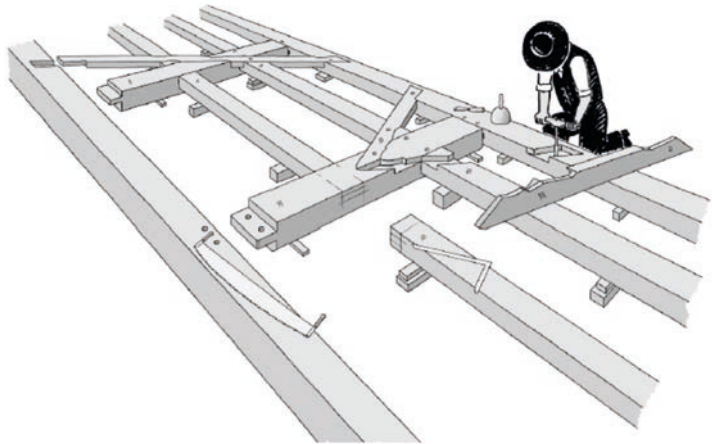


Abb. 2.29: Links: Holzschnitt „Der Zimmermann“ (AMMAN U. A. (1568)); Rechts: Abbinden einer Gerüstachse (KING U. A. (2000))

Mit Hilfe der Abbundzeichen konnten die einzelnen Bauteile am sogenannten Schnürboden beim Aufbau exakt zugeordnet werden. Diverse später auftretende unerwartete Passungenauigkeiten wurden meist recht radikal während des Aufbaues am Dach beseitigt, was wiederum zu unschönen Verbindungsausbildungen führte. Häufig auftretende Bereiche waren z. B. das obere Ende der Hängesäule im Walmbereich oder Verbindungen untergeordneter Wichtigkeit wie z. B. Überblattungen von Windverbänden.



Abb. 2.30: Oben: Abbundzeichen am Dachtragwerk der Liebfrauenmuenster – Kirche in Ingolstadt; Unten: Spät-mittelalterliche Abbundzeichen (vgl. Caston (1998 S. 528))

Da es zur damaligen Zeit keine technischen Hilfsmittel gab, mussten die einzelnen Teile nach dem Abbund mit Hilfe von Seilen und einfachen Kranen aus Holz nach oben transportiert werden. Abb. 2.31 zeigt den ersten Schritt beim Aufbau des Dachtragwerkes, das Ausrichten der Mauerbänke, der Bundträme und der Stichbalken. Darauf konnte in einem weiteren Schritt eine Plattform aus Balken und Brettern errichtet werden, auf welcher man die liegenden Stühle zusammenbauen konnte.

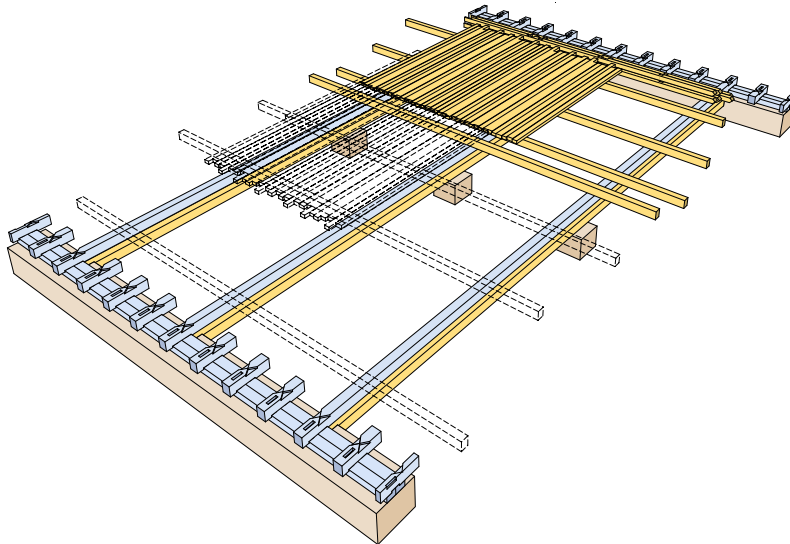


Abb. 2.31: 1. Schritt: Mauerbänke, Bundträme und Stichbalken

Da zimmermannsmäßige Verbindungen durch ihr Stecksystem meist unkompliziert handzuhaben sind, konnten diese in liegender Weise zusammengebaut werden. Die Abbundzeichen waren somit immer auf der oberen Seite bzw. seitlich angebracht und gut sichtbar. Dies ist auch ein Indiz, um herauszufinden, in welche Richtung einst der Dachstuhl aufgestellt wurde. Die Voll- bzw. Leergespärre wurden dann nach und nach auf der Plattform (angedeutet durch strichlierte Fläche) zusammengebaut und an ihrer Endposition aufgestellt (Abb. 2.32). Mit Hilfe des Brustriegels und der Windstreben, sowie vermutlich durch zusätzlichen Hilfskonstruktionen (z. B. Abstreben), wurden die Gespärre am Umfallen gehindert.

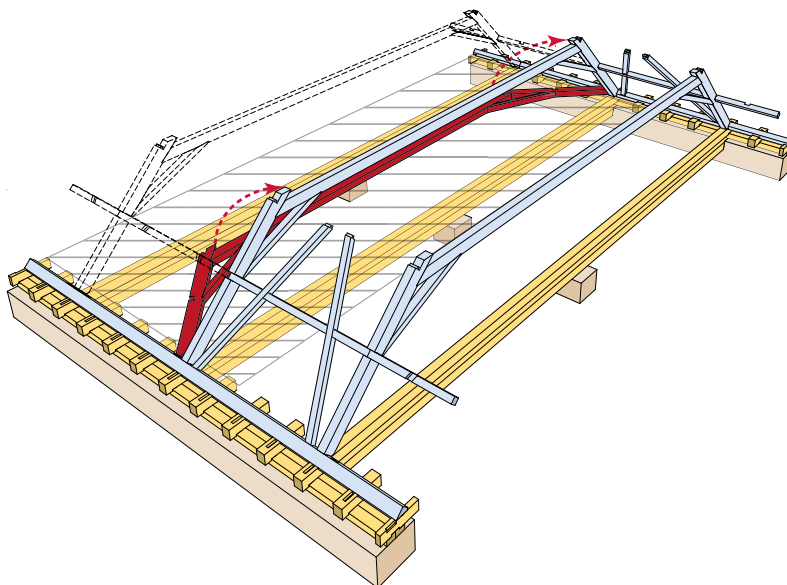


Abb. 2.32: 2. Schritt: Fußschwelle, liegender Stuhl des 1. Stockwerkes sowie Brustriegel

Nach dem Aufstellen der einzelnen Gespärre, wurden die restlichen Windverbände eingebaut und die Rähme sowie die zwei Längsbalken aufgelegt.

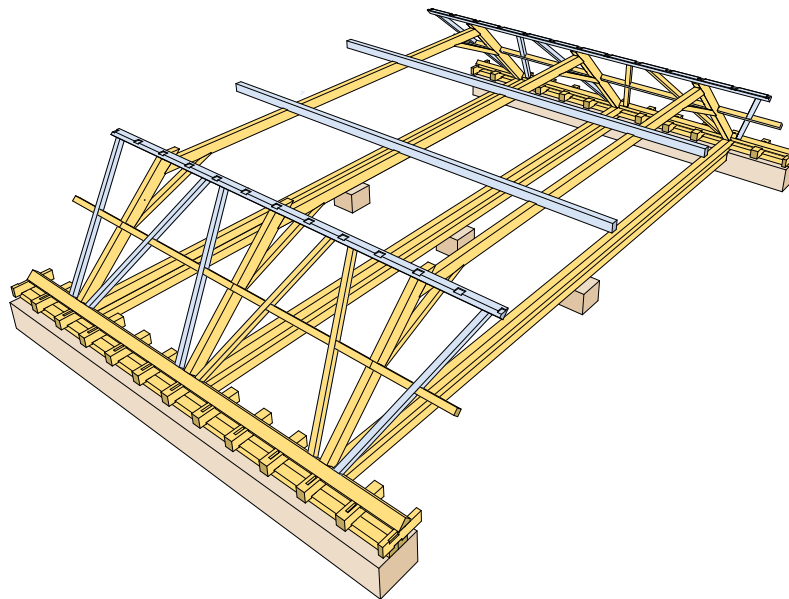


Abb. 2.33: 3. Schritt: Windverbände, Rähm und Längsbalken

Nach Erstellung des 1. Stockwerks des Kehlbalckendachwerks (eventuell mit z. B. liegendem Stuhl), wurden die Kehlbalken der 1. Kehlbalkenebene aufgelegt und positioniert. Darauf konnte wiederum eine Plattform erstellt werden, auf welcher die weiteren Gespärre des 2. Stockwerkes zusammengebaut werden konnten.

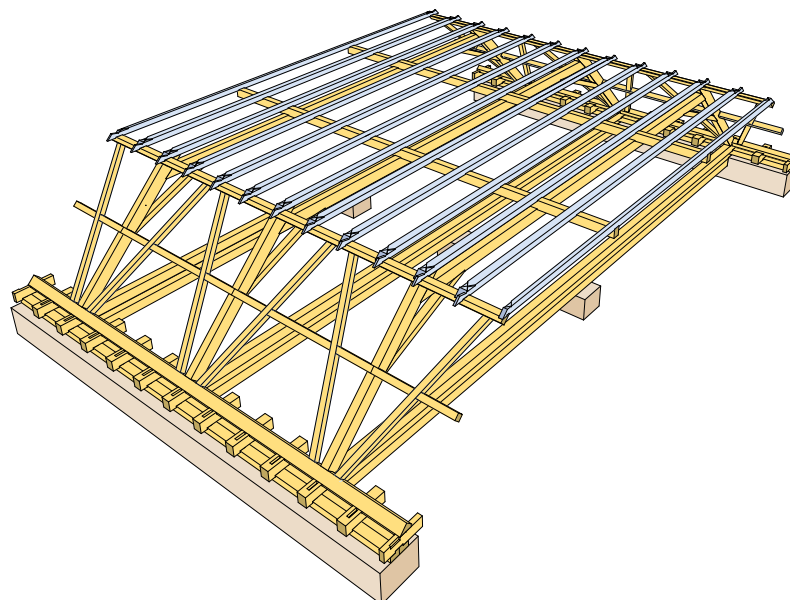


Abb. 2.34: 4. Schritt: Kehlbalken der 1. Kehlbalkenebene

Wie schon zuvor, wurden in weiterer Folge die Fußschwelle auf die Kehlbalken aufgelegt und der liegende Stuhl des 2. Stockwerkes zusammengebaut und an seiner Endposition fixiert. Auch hier wurde der liegende Stuhl wie zuvor fixiert und somit am Umfallen gehindert.

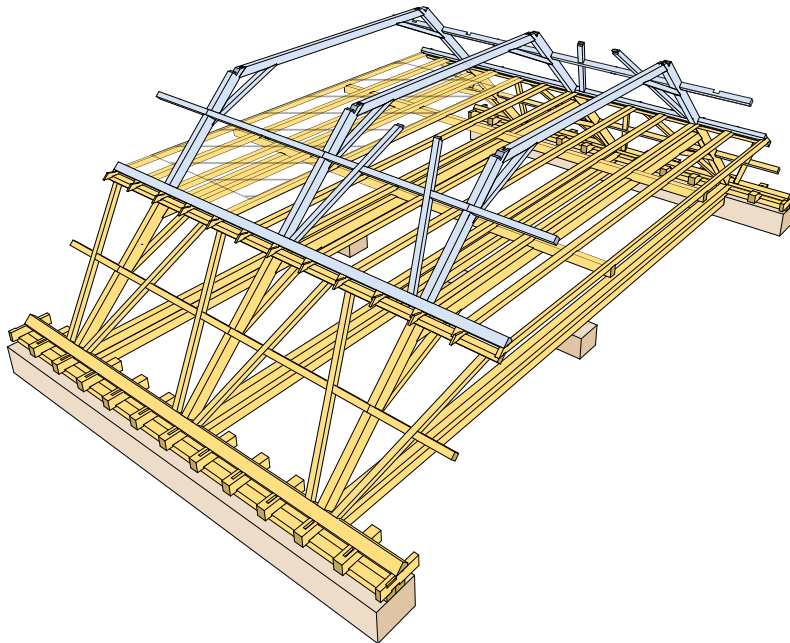


Abb. 2.35: 5. Schritt: Schwelle, liegender Stuhl 2. Stockwerk und Brustriegel

Als nächstes wurden die restlichen Windverbände und das Rähm des 2. Stockwerkes eingebaut und die Kehlbalken der 2. Kehlbalkenebene aufgelegt und positioniert.

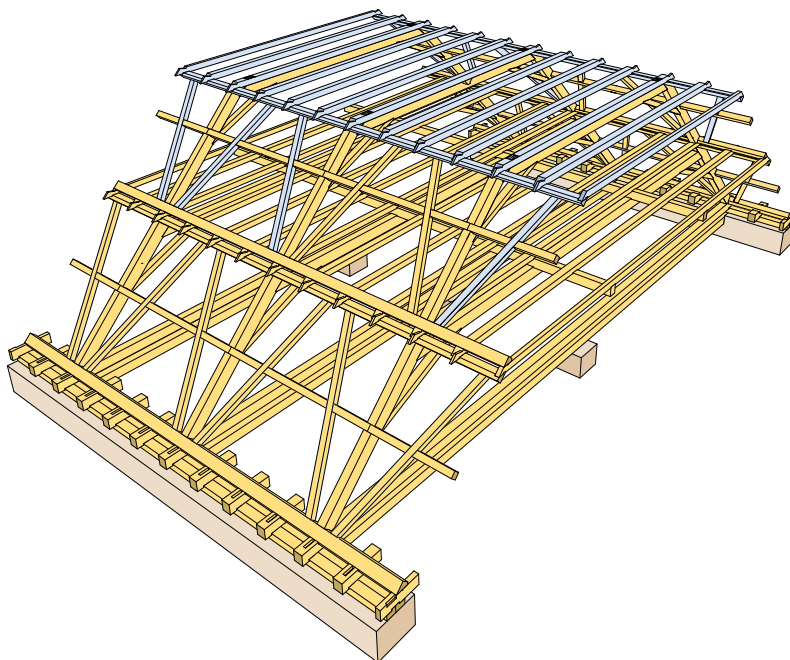


Abb. 2.36: 6. Schritt: Windverbände, Rähm und Kehlbalken der 2. Kehlbalkenebene

In den nächsten beiden Schritten wurden vermutlich die Sparren der Vollgespärre auf das Dachtragwerk aufgelegt und mit Hilfe der Hahnenbalken an deren Position gehalten (siehe Abb. 2.37). Danach wurden die Druckstreben des 3. Stockwerkes aufgestellt und im selben Arbeitsgang wurde die Tragkonstruktion durch die Hängesäulen, welche seitlich aufgeschoben wurden, komplettiert (siehe Abb. 2.38).

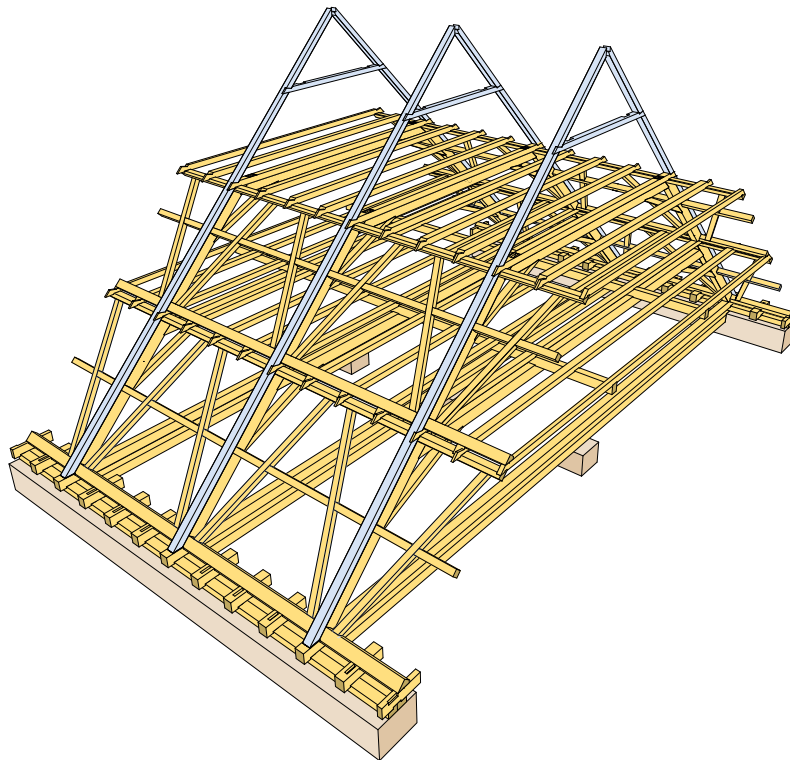


Abb. 2.37: 7. Schritt: Sparren und Hahnenbalken der Vollgespärre

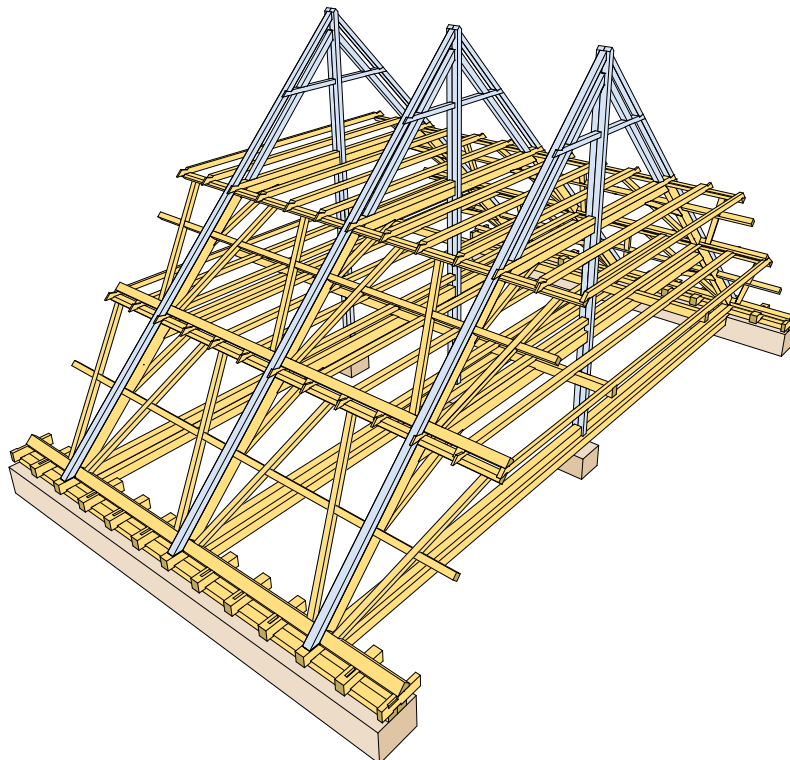


Abb. 2.38: 8. Schritt: Streben des 3. Stockwerkes sowie Hängesäulen

In weiterer Folge konnten die Sparren und Hahnenbalken der Leergespärre eingebracht werden.

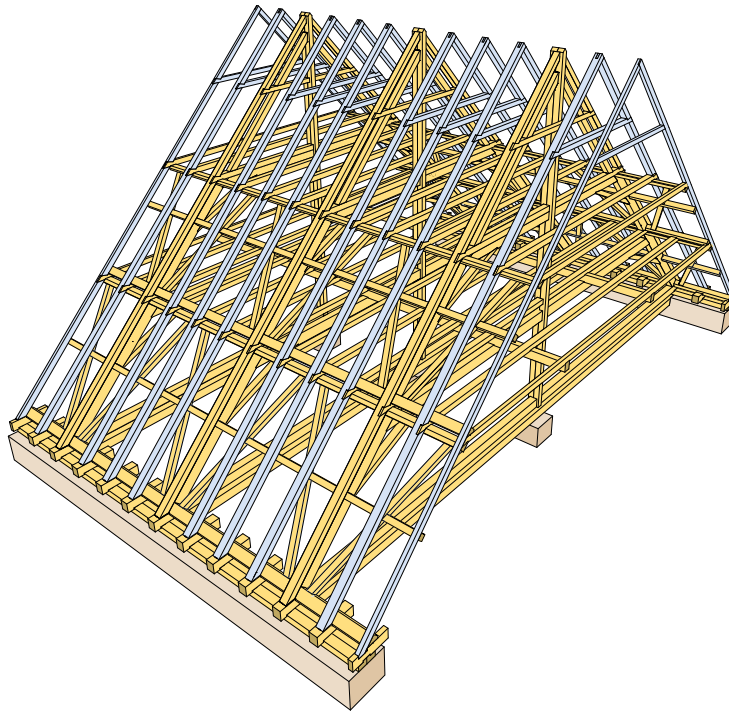


Abb. 2.39: 9. Schritt: Sparren der Leergespärre und Hahnenbalken

Im letzten Schritt wurden die Aufschieblinge mit geschmiedeten Nägeln aufgenagelt und die Dachlattung aufgebracht.

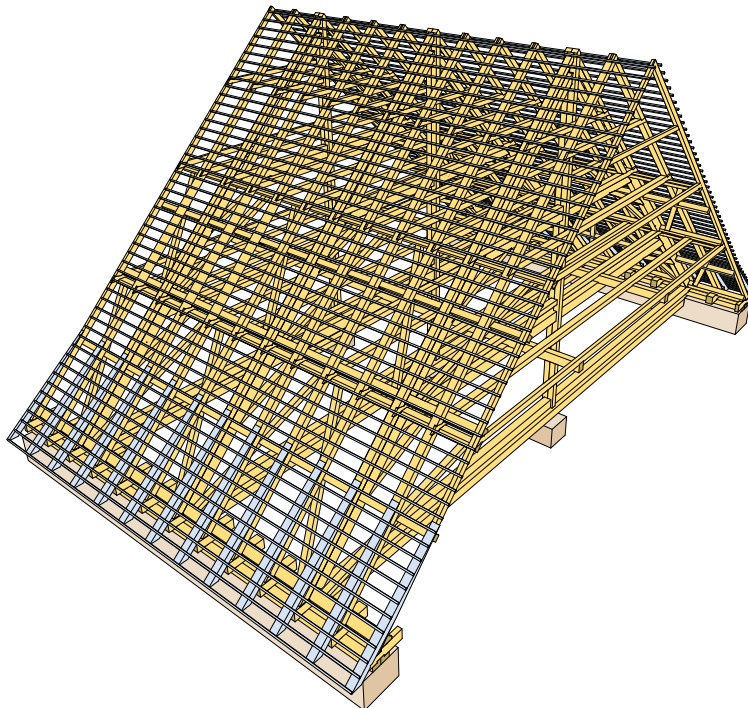


Abb. 2.40: 10. Schritt: Aufschiebling und Dachlattung

Zusammenfassende Betrachtung:

Blickt man auf die Arbeit der Zimmermannsleute in vergangenen Tagen zurück, so wird ersichtlich, dass diese einen enormen, über viele Jahre zusammengetragenen und überlieferten, Erfahrungsschatz zur Verfügung hatten, welcher im 20. Jh. größtenteils verloren gegangen ist. Mit einfachsten technischen Hilfsmitteln wurden zu diesen historischen Tagen Dachtragwerke geschaffen, welche auch heute noch, teils hunderte Jahre später, nach wie vor eindrucksvoll ihre Funktion erfüllen (vgl. Abb. 2.41).



Abb. 2.41: Dachtragwerk der Liebfrauenmünster – Kirche in Ingolstadt/Deutschland im Maßstab 1:50. Die Konstruktion stammt aus dem Jahre 1491/1492 und überspannt eine Gesamtbreite von 31 Metern und weist eine Höhe von 25 Metern auf (Foto: BÜRGERSERVICE-PORTAL STADT INGOLSTADT)

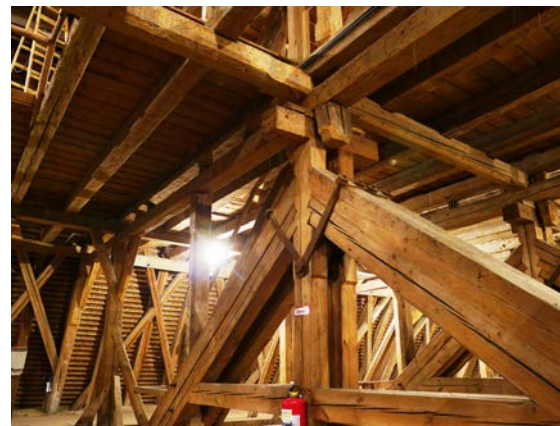


Abb. 2.42: Eindrücke vom Dachtragwerk der Liebfrauenmünster – Kirche in Ingolstadt/Deutschland (Fotos: DDI ANDREAS MEISEL)

Nicht zu letzt verdanken derartige Dachtragwerke ihre lange Lebensdauer der enormen Redundanz des Tragwerkes in Verbindung mit der Möglichkeit der Lastumlagerung aufgrund der Nachgiebigkeiten der zimmermannsmäßigen Verbindungen. Weiters trägt auch die ausgesprochen gute Qualität des verbauten Holzes, welches für die tragenden Bauteile verwendet wurde zu dieser langen Lebensdauer bei. Heutzutage ist es fast undenkbar, derartige Dachtragwerke zu erstellen. Dies liegt nicht nur an dem größtenteils verlorenen gegangenen Wissen über die alte Baukunst, sondern hauptsächlich an der teuren Arbeitskraft. In Zukunft könnten jedoch die historischen zimmermannsmäßigen Verbindungen durchaus ein Comeback erfahren. Möglich machen könnte dies der enorme Fortschritt und die damit zusammenhängenden Möglichkeiten der CNC gestützten Abbundtechnologie. Infolge der maschinellen Fertigung könnten zimmermannsmäßige Verbindungen wieder wirtschaftlich herstellbar werden und somit vermehrt in hölzernen Dachtragwerken und/oder anderen Holzbauwerken zum Einsatz kommen.

3 Bestandserfassung, Schadensanalyse und Zustandsbeurteilung

Im folgenden Kapitel wird der umfangreiche Bereich der Bestandserfassung mit allen seinen Schritten genauer erläutert und eine Orientierungshilfe zur Vorgehensweise im Zuge einer Bestandserfassung gegeben. In weiterer Folge werden die typischen Schäden in einem historischen Dachtragwerk beispielhaft angeführt, um einen Überblick über die Bereiche eines Dachtragwerkes es bekommen, an welchen es zu Problemen kommen kann. Am Ende dieses Kapitels wird ein Werkzeug vorgestellt, mit dessen Hilfe man den Zustand eines historischer Dachtragwerkes, ohne statische Analyse beurteilen und den daraus folgenden Handlungsbedarf abschätzen kann.

3.1 Grundlagen zur Bestandserfassung

Wie bereits erwähnt, ist die Bestandserfassung ein Bereich, welcher sehr umfangreich ist und mitunter mehrere Schritte umfasst, sowie oft eine ganze Reihe an Personen und Ressourcen miteinbezieht. Vom Bauherren ausgehend sind neben handwerklichen Betrieben wie z. B. Zimmereien, in der Regel Ingenieure und Architekten involviert. Diese müssen bei ihren Arbeiten mit historischer Bausubstanz stets in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden (z. B. Denkmalschutzbehörde) arbeiten und die zum Planungszeitpunkt gültigen Gesetze, Richtlinien sowie technischen Regelwerke beachten. Vor allem spielt der Denkmalschutz bei historischen Bauwerken stets eine große Rolle (vgl. Abschnitt 4.3).

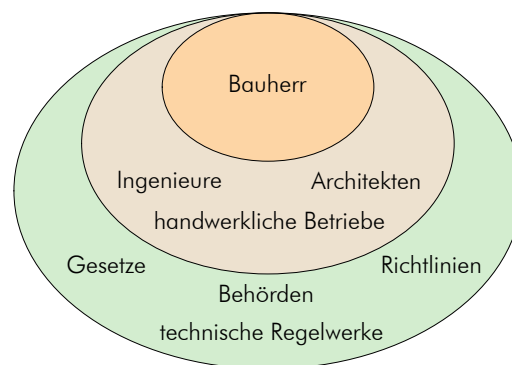


Abb. 3.1: Zusammenwirken möglicher Beteiligter im Rahmen eines Instandsetzungs- bzw. Umnutzungsprojekts

Eine Bestandserfassung kann aus verschiedenen Gründen erfolgen. Der häufigste Fall, der eine Bestandserfassung nach sich zieht, stellt der Fall eines Schadens dar. Aber auch geplante Nutzungsänderungen, eventuelle Um- oder Einbauten in der Dachtragwerksebene, eine aus Verwaltungsgründen benötigte Bewertung des baulichen Zustandes oder aber auch bauhistorische Untersuchungen, können eine Bestandserfassung erforderlich machen (vgl. BLIEM (1995 S 7 –14); (ERLER (2004 S. 58 – 64); HOLZER (2013A); MEISEL (2009A S. 55 – 59); MÖNCK (1999)); TICHELMANN (1992))

Ein über Jahrzehnte bzw. Jahrhunderte lang bestehendes Bauwerk, hat seine Tragsicherheit empirisch bereits nachgewiesen und ein Tragsicherheitsproblem kann nur aufgrund zunehmender Einwirkung oder der Verschlechterung des Zustandes des Tragsystemes entstehen (vgl. HOLZER (2013A)).

Da die Erfahrung gezeigt hat, dass ohne gründliche Bestandserfassung eine fachgerechte Instandsetzung zumeist scheitert, wird im Folgenden ein Überblick zu den nötigen Schritten einer typischen Bestandserfassung gegeben. Dies soll als solide, ausbaufähige Grundlage dienen und sollte den jeweiligen Gegebenheiten und Projektzielen angepasst und durch die eigene Erfahrung erweitert werden.

Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht über die wesentlichen Schritte eines Instandsetzungs- und Umnutzungsprojektes.

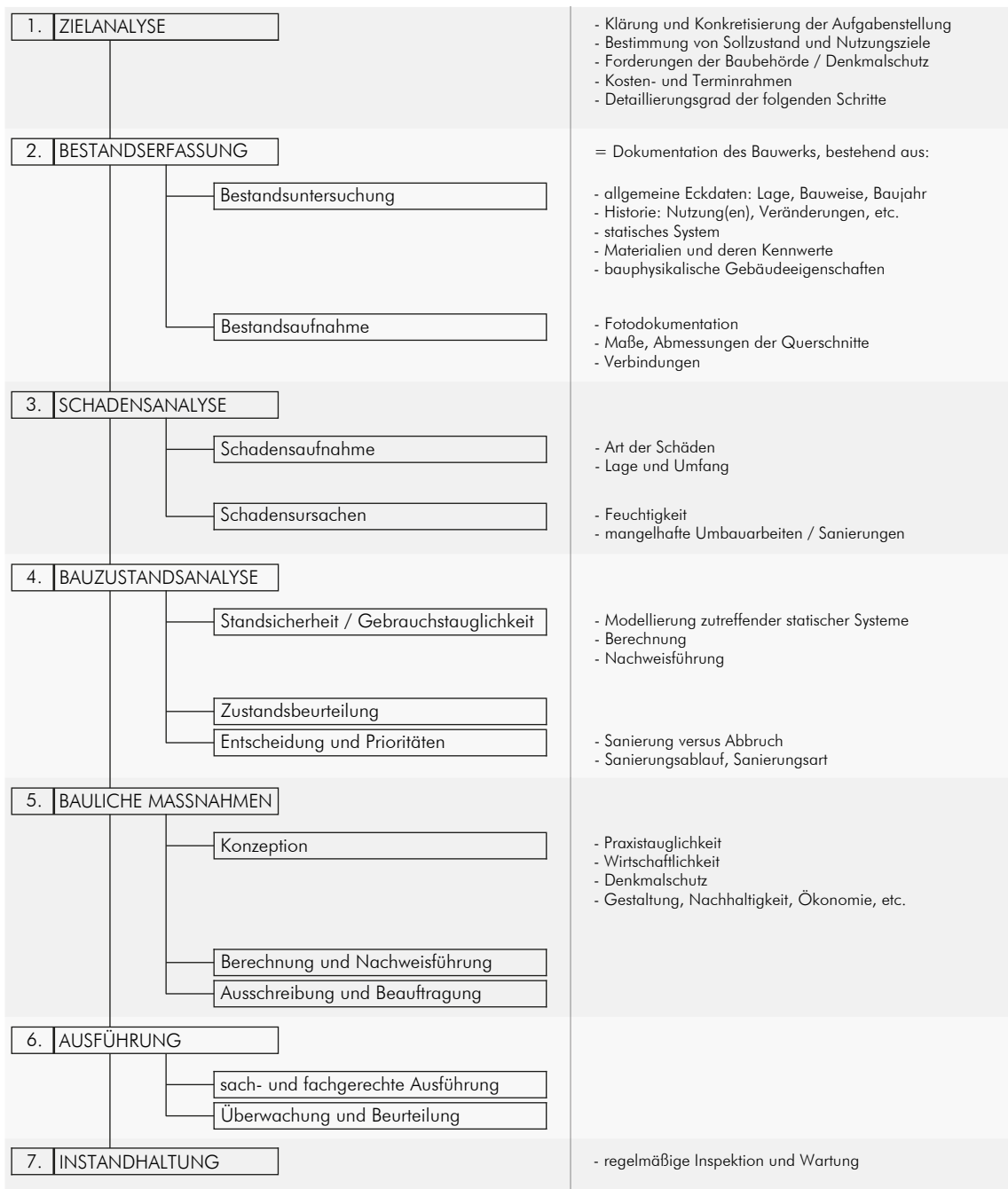


Abb. 3.2: Schritte im Rahmen eines Instandsetzungs- oder Umnutzungsprojektes (vgl. MEISEL (2009A S. 56))

3.2 Vorgehensweise bei einer Bestandserfassung

Nachdem die Ziele mit dem Bauherrn bzw. Interessensvertreter genau abgesteckt wurden (vgl. Abb. 3.2) wird im nächsten Schritt der Bestand analysiert. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, den Bauherrn bzw. Interessensvertreter jedenfalls vor überzogenen Nutzungszielen zu warnen. PETZET U. MADER (1993 S. 23) schreiben dazu: „Gefahren drohen nun weniger durch Abbrüche als durch die oft ohne geeignete Vorbereitung und fachmännische Betreuung durchgeführten Restaurierungen und durchgreifenden Sanierungen mit der hier zu Lande üblichen Überperfektion, auch durch übertriebene Nutzungsansprüche, denen die Denkmäler nicht gewachsen sind, ...“ und weiter schreibt er: „Aus den schlechten Ergebnissen von Umbauten, die aus der Tolerierung schädlicher Nutzungen resultieren, kann man die Lehre ziehen, daß es den Denkmälern nicht dient, wenn Denkmalpflege durch Umnutzung um jeden Preis schmackhaft gemacht wird.“ (PETZET U. MADER (1993 S. 301).

Die Analyse erfolgt üblicherweise im Rahmen der Erstbegehung nur visuell. Dabei wird versucht, sich einen allgemeinen Überblick über das Tragwerk sowie dessen Zustand zu verschaffen. Meist sind die Dachböden stark verschmutzt und viele Teile des Dachtragwerkes sind nicht zugänglich. Daher sollte bei der Erstbegehung neben Schäden am Dachtragwerk, auf übermäßige Verformungen sowie auf starke Schwingungen des Dachbodens geachtet werden (vgl. ERLER (2004); MEISEL (2009A); MÖNCK (1999)).

Sollte die globale bzw. lokale Tragsicherheit nicht gegeben sein, sodaß mit hinreichender Wahrscheinlichkeit in absehbarer Zeit von einer Gefährdung von Menschen auszugehen ist, liegt Gefahr im Verzug vor. Bei Gefahr im Verzug sind Sofortmaßnahmen wie z. B. die Evakuierung des betroffenen Gebäudeteils mit den dazugehörigen Sicherungsmaßnahmen einzuleiten.

Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht zur praktischen Vorgehensweise bei der Bestandserfassung und Schadensanalyse.

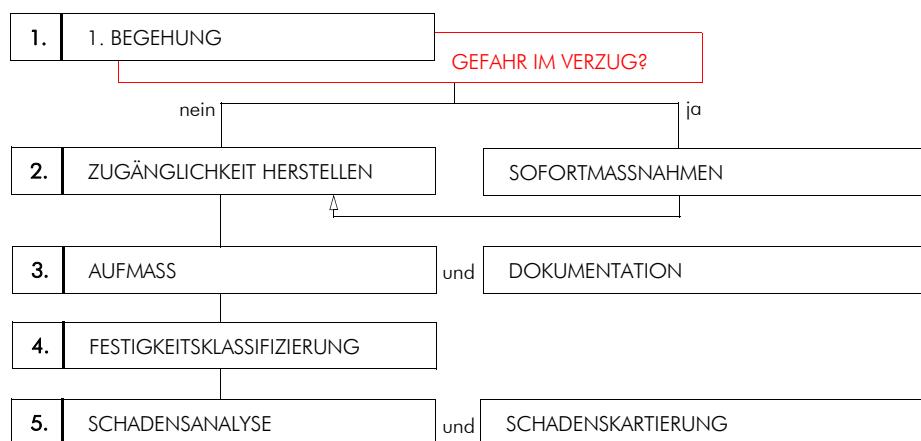


Abb. 3.3: Praktische Vorgehensweise bei der Bestandserfassung und Schadensanalyse (MEISEL (2009A S. 58))

Zur Veranschaulichung des Themas Gefahr im Verzug, zeigt Abb. 3.4 eine stark beschädigte Dippelbaumdecke. Diese war bei Erstbegehung aufgrund des Dachbodenaufbaues nicht einsehbar. Nach Herstellung der ersten Probeöffnungen an zuvor markierten Stellen, wurde das Ausmaß der Schädigung sichtbar. Die Fußpunkte mehrerer aufeinanderfolgender Gespärre waren durch holzerstörende Pilze zersetzt worden und somit konnte die Horizontalkraft aus den Sparren nicht mehr über den als Zugband wirkenden Bundtram kurzgeschlossen werden. Weiter waren die Auflagerpunkte der auf einer Spannweite von etwa acht Metern gespannten Dippelbaumdecke zerstört. Es bestand unmittelbar Gefahr im Verzug.



Abb. 3.4: Durch Bodenaufbau verdeckter Schaden an Dippelbaumdecke (Palais Herberstein, Graz)

Ist die Tragsicherheit des Dachtragwerkes und der obersten Geschoßdecke gegeben, ist in weiterer Folge in der Regel ein Unternehmen zu engagieren, welches die Zugänglichkeit zu den einzelnen Bauteilen des Dachtragwerkes herstellt. Nicht immer ist es von Nöten oder gar ratsam, den gesamten Bodenaufbau abräumen zu lassen. Dies hängt stark von den Gegebenheiten vor Ort ab. Durch das Entfernen des gesamten Bodenaufbaues kann es durch die Entlastung mitunter zu Schäden an Deckenputzen oder Stukkaturen der darunter liegenden Decken kommen. In diesen Fällen bietet es sich an, den Bodenaufbau nur stichprobenartig, an Stellen an welchen Schäden erwartet werden (z. B. Auflagerbereich), öffnen zu lassen.

Ist die Zugänglichkeit der Bauteile gegeben und Leitern sowie Laufstege angebracht, erfolgt die erste Bestandserfassung. Dabei werden im Zuge der Bestandsuntersuchung alle Liegenschaftsinformationen (z. B. Lage, Baujahr, usw.) gesammelt sowie die Historie des Gebäudes (z. B. Nutzungen, Umbauten, usw.) eruiert. Die Informationen hierzu können seitens des Auftraggebers mitunter durchaus spärlich ausfallen. In diesen Fällen kann bei historischen Gebäuden oft auch das Studium diverser Literaturquellen wie z. B. Büchern oder dem Stadt- bzw. Landesarchiv hilfreich sein.

Weiter muss ein Grundriss des Dachtragwerkes mit festgelegtem Achsensystem inkl. Bezeichnung der Gespärre und allen tragenden Bauteilen sowie relevanten Abständen angefertigt werden. In diesem Grundriss werden auch die tragenden Bauteile des darunter liegenden Geschosses eingetragen. Nach Erstellung dieser Skizzen, ist das Aufmaß von mindestens einem Vollgespärre sowie einem Leergespärre zu nehmen. Dabei werden auch deren Querschnittsabmessungen, die Bezeichnung der Bauteile und der Verbindungen sowie der statisch relevanten Verformungen und Schiefstellungen vermerkt (vgl. Anhang B; MEISEL U. A. (2013B)). Es wird empfohlen, im Zuge der Erstellung der Pläne, eine durchgehende Fotodokumentation zu erstellen. Anhand dieser Bilder kann man, bei entsprechender Bildqualität, einerseits im Nachhinein auftretende Fragen beantworten und andererseits eine durchgehende objektive Dokumentation des Zustandes des Dachtragwerkes zur Beweissicherung zum Zeitpunkt der Begehung vorweisen (vgl. MÖNCK (1999 S. 59)).

3.3 Schadensanalyse

Die eigentliche Schadenserfassung erfolgt sinnvollerweise nach Erstellung der Pläne, da in diese nun die Art, der Ort sowie der Umfang des vorliegenden Schadens am jeweiligen Gespärre eingetragen werden kann (vgl. MEISEL U. A. (2013B S. 57 – 58); RINN (2006)). Bei größeren Objekten ist es ratsam, zusätzliche Skizzen und Pläne von Stuhlwänden, Fachwerkwänden, Walmbereichen und ähnlichem anzufertigen (vgl. MÖNCK (1999 S. 59)). Die folgende Abbildung zeigt eine Schadenskartierung am Beispiel einer Fachwerkfassade (vgl. Anhang B). Um diese Kartierung ausreichend genau durchführen zu können, ist es nötig sich genauer mit den typischen Schäden an historischen Dachtragwerken, welche unter Abschnitt 3.4 behandelt werden, auseinanderzusetzen.

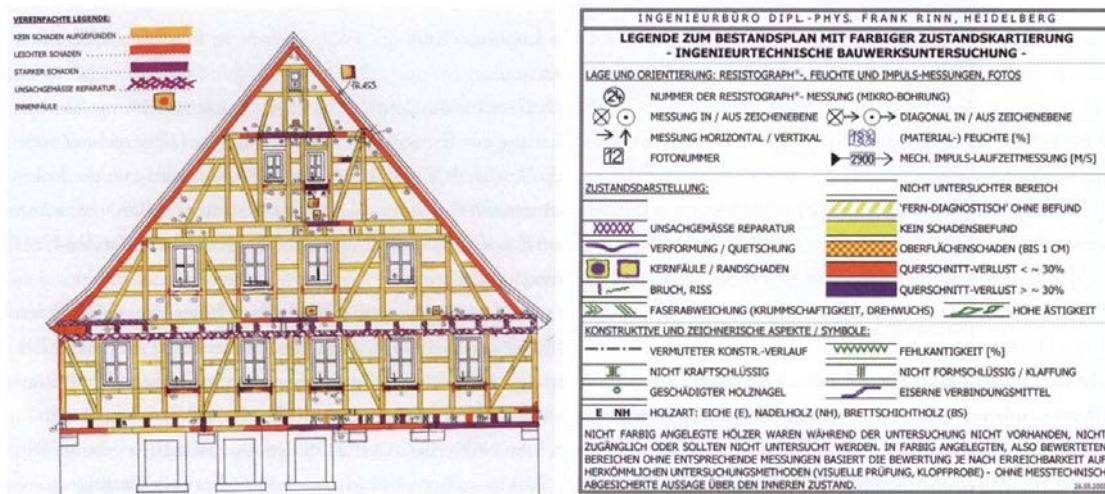


Abb. 3.5: Schadenskartierung am Beispiel einer Fachwerkfassade (vgl. RINN (2006 S. 32))

Die folgende Liste von MEISEL (2009A) gibt einen Überblick zu den für eine Bestandsaufnahme und Schadensanalyse erforderlichen Arbeitsmitteln.

- für die ausführende Person:
 - persönliche Schutzausrüstung (festes Schuhwerk und Handschuhe, evtl. Helm, Sicherheitsgurt, usw.)
 - Steigeinrichtung je nach Bedarf (z. B. Leiter, Hubsteiger, usw.)
 - Taschenlampe oder Stirnlampe (die meisten Dachböden sind nicht beleuchtet)

- zur Dokumentation:
 - Schreibplatte, leere Protokollseiten, Kreide, Klebezettel (um beispielsweise die Fotos später besser zuordnen zu können)
 - Kamera: gewöhnliche Digitalkameras haben sich für die Aufnahme von Dachstühlen nicht bewährt. Empfehlenswert sind analoge Kameras oder Spiegelreflex-Digitalkameras mit zusätzlichem Blitz, Stativ, Weitwinkelobjektiv und externem Auslöser.
 - Gefäße für Proben, Lupe (zur Holzarten- und Holzschädlingsbestimmung)
 - Besen und/oder Handfeger zum Reinigen der Holzoberflächen
 - starke Taschenlampen oder besser mehrere Halogenstrahler inkl. benötigter Verlängerungskabel – für aussagekräftige Fotos wird viel Licht benötigt.

- zum Messen:
 - Rollmeter, Zollstock (als Maßstab in den Fotos), Messlatte
 - elektronisches Distanzmessgerät oder Stahlmaßband
 - Hammer (zur akustischen Materialprüfung), Nägel, Schnur (um Verformungen messen zu können)
 - Fühlerlehre (Rissbreitenbestimmung), Draht (um beispielsweise die Tiefe von Zapfenlöchern messen zu können)
 - Brechstange (Zugänglichkeit zu Bauteilen und/oder Verbindungen ermöglichen)
 - Lot (zur Dokumentation von Schiefstellungen)
 - Holzfeuchtemessgerät
 - Bohrwiderstandsmessgerät
 - weitere Messgeräte wie: Endoskop, Theodolit, Totalstation (ideal für verformungsgerechte Aufmaße)

Merke:

Vorplanungen zu eventuellen Baumaßnahmen an historischen Gebäuden bedürfen einer äußerst sorgfältigen und gründlichen Bestandserfassung und Schadensanalyse.

3.4 Typische Schäden historischer Dachtragwerke

Im Folgenden werden die Grundlagen zu einer erfolgreichen Schadenserfassung und Schadensanalyse an historischen Dachtragwerken aufbereitet und genauer erläutert.

Erfahrungsgemäß treten Schäden an historischen Dachtragwerken an folgenden neuralgischen Punkten besonders häufig auf (vgl. ABELS (2013); ERLER (2004); MÖNCK (1999); LISSNER ; RUG U. A. (2000)):

- an Sparren- und Stuhlsäulenfußpunkten
- an Graten oder Ichen
- an Dachverschnidungen
- bei Durchdringungen der Dachhaut
- bei Materialwechselln (Mauerwerk – Holz)

3.4.1 Schadensarten und deren Ursachen

Schäden an historischen Dachtragwerken können in verschiedene Schadensarten und deren Ursachen eingeteilt werden. Sie müssen nicht zwingend von einer Schadensart und deren Ursache ausgehen. Meist liegen Kombinationen verschiedener Arten vor. Weiter kann man Schäden nach unterschiedlichen Aspekten einteilen. LISSNER ; RUG U. A. (2000 S. 127) stellen häufige Schädigungen an Dachkonstruktionen wie folgt übersichtlich dar:

SCHÄDEN AN DACHKONSTRUKTIONEN				
Biologische Schäden	Mechanische Schäden	Chemische Schäden	Eingriffe in die Konstruktion	Schäden an Verbindungen
aktiver Insektenbefall	Brüche infolge Überbeanspruchung	Gefügestörungen durch thermische Beanspruchung	Querschnittschwächungen	Klaffende Verbindungen
aktiver Pilzbefall		Brandschäden	Bauteilentnahme	Mangelnde Kraftschlüssigkeit
		Gefügestörungen durch chemisch aggressive Medien	Schiefstellung	Überbeanspruchungen
		Holzkorrosion	Absenkungen	Korrosion Stahlelemente
		kurzfaserige Brüche infolge chemischer Beanspruchung	Risse / Brüche	Risse / Brüche
			mangelhafte Reparaturen	Fäulniserscheinungen
				Konstruktions- und Ausführungsmängel

Abb. 3.6: Häufige Schädigungen bei Dachkonstruktionen (LISSNER ; RUG U. A. (2000 S. 127))

In Abb. 3.7 wird eine Übersicht zur Einteilung typischer Schäden an Holzkonstruktionen nach deren Einflussfaktoren gegeben und mit Beispielen für Ursachen ergänzt.

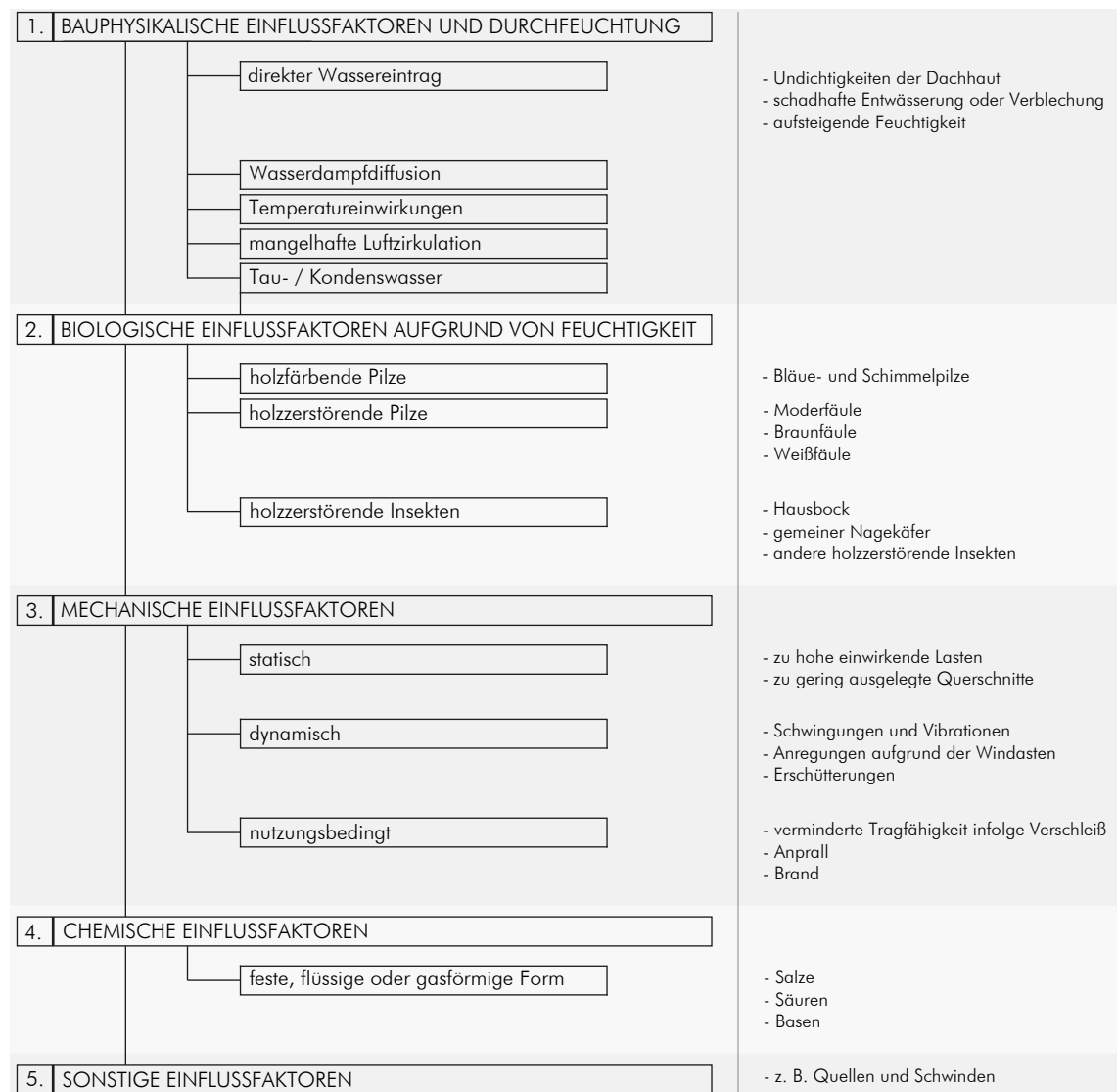


Abb. 3.7: Einteilung typischer Schäden an Holzkonstruktionen nach deren Einflussfaktoren (vgl. LISSNER ; RUG U. A. (2000); TICHELMANN (1993 – 1))

Eine weitere Möglichkeit der Einteilung nach äußerlich sichtbaren Erscheinungsbildern gibt Erler (2004 S. 59) und eine Einteilung nach der Entstehungsphase wird von Mönck (1999 S. 87) angegeben.

In weiterer Folge wird auf die einzelnen Punkte der Abb. 3.7 näher eingegangen.

• zu bauphysikalischen Einflussfaktoren und Durchfeuchtung

Die häufigste Ursache für Schäden an Holzkonstruktionen ist das Eindringen von Feuchtigkeit. Hier stellen einerseits defekte oder aufgrund der Unförmigkeit nicht dicht schließende Dachziegeln und andererseits die oft unsachgemäß angebrachten und/oder veralteten Verblechungen die häufigste Ursache für das Eindringen von Feuchtigkeit in den Dachraum dar. Jede Durchdringung der Dachhaut stellt ein Risiko für das historische Dachtragwerk dar.

Stark verschmutzte Dachräume fördern eine erhöhte Feuchtigkeit, da sich im Schmutz oder Bauschutt die Feuchtigkeit über längere Zeit halten und nicht über Luftzirkulation abtransportiert werden kann. Durch veraltete oder defekte Attikableche kann Feuchtigkeit ins Mauerwerk eindringen und schon nach wenigen Monaten Schäden nach sich ziehen. Häufig treten Schäden durch diverse Einbauten im Dachraum auf. Austretendes Wasser, schwitzende Leitungen oder am Metallgehäuse entstehendes Kondenswasser (z. B. von Klimaanlage) öffnen den Weg für biologische Schäden (vgl. DEINHARD (1996); ERLER (2004); MEISEL (2009A); LISSNER ; RUG U. A. (2000); MÖNCK (1999)).

- **zu biologischen Einflussfaktoren aufgrund von Feuchtigkeit:**

Wie bereits unter dem Punkt bauphysikalische Einflussfaktoren angemerkt, treten biologische Schäden meist infolge von Feuchtigkeitseinträgen in das Dachtragwerk auf. Im Folgenden werden die am häufigsten anzutreffenden Schadensursachen angeführt.

- Schäden aufgrund von Pilzbefall:

Holz besteht zu mehr als neunzig Prozent aus Cellulose, Hemicellulose und Lignin. Je nach dem, welcher dieser drei Substanzen vom Pilz zuerst abgebaut wird, liegt eine Braunfäule, Weißfäule oder Moderfäule vor. Pilzbefall tritt zu Beginn meist bei örtlich stark erhöhten Feuchtigkeitswerten (> 30%) auf. Die am häufigsten anzutreffenden Pilzarten sind Bläue- oder Schimmelpilze, der echte Hausschwamm, der braune Kellerschwamm, der weiße Porenschwamm sowie Pilze der Gruppe der Blättlinge.

Zu den ungefährlichen Pilzarten zählen die Bläue- oder Schimmelpilze. Diese beeinträchtigen nur das Erscheinungsbild und zählen somit nicht zu den holzerstörenden Pilzarten. Daher wird auf diese Arten in weiterer Folge nicht näher eingegangen.

Holzerstörende Pilzarten bauen also die Zellwände der Holzstruktur ab und verursachen dadurch einen Festigkeitsverlust des Holzes. Im Bereich der historischen Dachtragwerke ist die Braunfäule, auch Destruktionsfäule genannt, am weitesten verbreitet.

Der gefährlichste holzerstörende Pilz und Vertreter der Braunfäule, ist der echte Hausschwamm. Er kann bereits ab einem Feuchtegehalt von etwa zwanzig Masseprozent das Holz befallen (vgl. LISSNER ; RUG U. A. (2000)). Als einzige Pilzart ist der echte Hausschwamm in der Lage nach Beginn des Wachstums auch trockenes Holz zu befallen. Da er die zum Überleben benötigte Feuchtigkeit in seinen Oberflächen- und Strangmyzel transportieren kann, ist er auch in der Lage sich in weit entfernten, trockenen Mauerwerken festzusetzen und sich selbst mit Wasser zu versorgen. Dadurch kann es nach Sanierungsmaßnahmen zu einem Neubefall kommen. Bei Befall zeigt das Holz das typische Erscheinungsbild der Zerstörung einer Braunfäule, nämlich braun gefärbtes und würfelig brechendes Holz. Der Fruchtkörper ist ein weißes, watteartiges Luftmyzel, welches schwammig weich aber zäh erscheint und einen weißen Zuwachsrand aufweist.

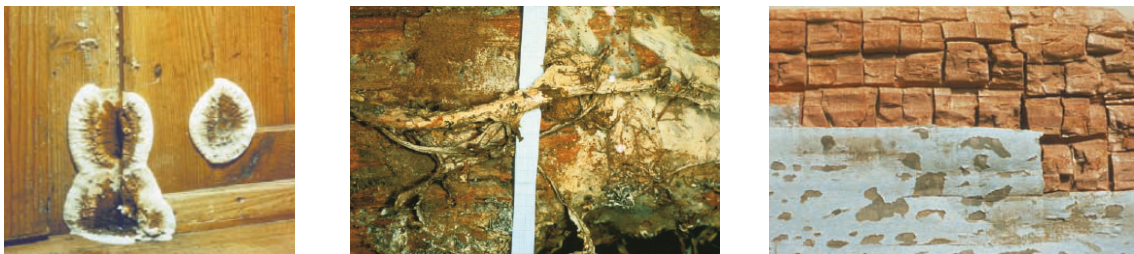


Abb. 3.8: Links: Fruchtkörper des echten Hausschwammes; Mitte: Strangmyzel des Echten Hausschwammes; Rechts: Erscheinungsbild einer Braunfäule (GRAF (2001 S. 7))

Ein weiterer häufig auftretender Vertreter, welcher Braunfäule verursacht, ist der braune Kellerschwamm. Der braune Kellerschwamm benötigt besonders hohe Feuchtigkeiten und kommt daher bei Altbauten meist in Kellern, Ergeschoßfußböden und Nassräumen vor. Das Myzel besteht aus dünnen, schwarzen Fäden und der Fruchtkörper bildet eine hauchdünne oliv- bis dunkelbraune Haut (vgl. ERLER (2004)).

Der weiße Porenschwamm bewirkt ebenfalls Braunfäule. Er ist relativ leicht zu identifizieren, da er ein komplett weißes Erscheinungsbild aufweist und ein markantes eisblumenartiges Oberflächenmyzel bildet (vgl. ERLER (2004)).

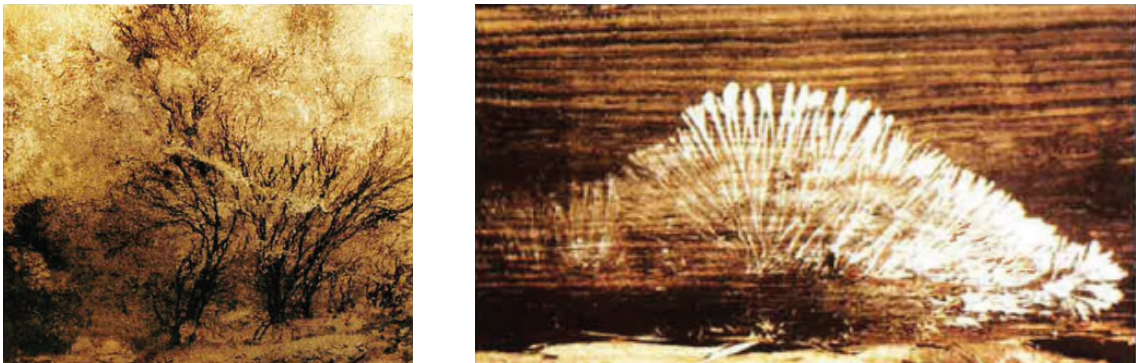


Abb. 3.9: Links: Myzel eines braunen Kellerschwammes; Rechts: eisblumenartiges Oberflächenmyzel eines weißen Porenschwammes (ERLER (2004 S. 67))

Sehr häufig anzutreffen sind auch die unterschiedlichen Unterarten der Blättlinge. Blättlinge bewirken eine Braunfäule im Inneren des Holzbauteils und sind daher nur sehr schwer zu entdecken. Sie treten vorwiegend an Hölzern im Freien auf, kommen aber mitunter auch in Gebäuden an Hölzern mit hohen Holzfeuchten vor. Die Sporen keimen vorwiegend in Schwindrissen und auch die Fruchtkörper sind in den Rissen des Holzes zu sehen. Oberflächenmyzel treten bei Blättlingen nur sehr selten auf.



Abb. 3.10: Links: Feines Myzel und Ringschäle nach Blättlingsbefall; Rechts: Innenfäule durch Blättlingsbefall (ERLER (2004 S. 67 – 68))

Die Weißfäule tritt meist am lebenden Baum auf, kommt aber mitunter auch an feuchtem Holz im Gebäude vor. Da die Weißfäule vor allem Laubhölzer befällt, wird sie nur der Vollständigkeit wegen hier angeführt, jedoch nicht weiter erklärt (vgl. BARON (2009); ERLER (2004); GRAF (2001); MÖNCK (1999)).

Die dritte und letzte Fäuleart ist die Moderfäule. Sie kommt nur an Hölzern vor, welche einer ständigen hohen Feuchtigkeit ausgesetzt sind und dringt immer von der Oberfläche aus ins Holz ein. Bei Befall ist die Oberfläche schmierig und dunkel verfärbt und das Holz wirkt weich, so dass man es mit den Fingern etwas eindrücken kann. Der Befall beschränkt sich auf nur wenige Millimeter Tiefe und stellt kein reales Tragfähigkeitsproblem dar. Daher werden auch die verursachenden Pilzarten der Moderfäule hier nicht weiter ausgeführt (vgl. BARON (2009); ERLER (2004); GRAF (2001); MÖNCK (1999)).

- Schäden aufgrund von Insektenbefall:

Die Feststellung ob ein toter oder noch lebender Befall von Insekten vorliegt stellt sich mitunter als schwierig heraus. Ob ein Befall vorliegt ist meist nur an Larven- oder Käferfunden, frischen Fraßgängen oder Bohrlöchern, gelblich verfärbten frischem Bohrmehl oder Fraßgeräuschen zu erkennen. Um weitere Schädigungen vermeiden zu können, ist es jedoch zwingend notwendig einen Befall vor einer Instandsetzung zu erfassen und gegebenenfalls Bekämpfungsmaßnahmen einzuleiten. Im Folgenden werden die am häufigsten vorzufindenden Insekten kurz beschrieben.

Der am häufigsten vorzufindende Schädling aus dem Reich der Insekten ist der Hausbock. Der Hausbock ist etwas 8 – 24 Millimeter lang und braun bis schwarz gefärbt. Er befällt ausschließlich Nadelholz und davon nur das Splintholz. Der Hausbock kommt ab einer Holzfeuchte von etwa zwanzig bis dreißig Masseprozenten vor und der optimale Temperaturbereich befindet sich zwischen 28° und 30° Celsius. Ein typisches Merkmal des Hausbocks sind die ovalen Ausfluglöcher von etwa 4 x 7 Millimeter (vgl. ERLER (2004 S. 68 – 69); GRAF (2009 S. 10); KEMPE (2004); LISSNER ; RUG U. A. (2000 S. 153))



Abb. 3.11: Links: Hausbockkäfer nebst ovalem Ausflugloch; Rechts oben: Fraßgänge der Hausbocklarven; Rechts unten: typischer venenartiger Verlauf der Fraßgänge an der Oberfläche (GRAF (2001 S. 10))

Ähnlich weit verbreitet wie der Hausbock und oft vorzufinden ist der gemeine Nagekäfer. Er befällt vorwiegend Nadelholz, aber auch Laubholz. Der gemeine Nagekäfer ist etwa 3 – 5 Millimeter lang und dunkelbraun bis schwarz gefärbt. Er bevorzugt alte von Schimmelpilzen befallene und bereits vom Nagekäfer in der Vergangenheit schon einmal befallene Bauteile. Der gemeine Nagekäfer kommt ab einer Holzfeuchte von etwa zwanzig bis dreißig Masseprozenten vor und der optimale Temperaturbereich befindet sich bei etwa 22° Celsius. Die Ausfluglöcher des Nagekäfers sind kreisrund und weisen einen Durchmesser von etwa 1 – 3 Millimeter auf (vgl. ERLER (2004 S. 68 – 69); GRAF (2009 S. 11); LISSNER ; RUG U. A. (2000 S. 153)).



Abb. 3.12: Gemeiner Nagekäfer nebst runden Ausfluglöchern (GRAF (2001 S. 11))

Die folgende Abbildung zeigt einen vollständigen Überblick zu den holzerstörenden Insekten und deren Bestimmung aufgrund des verursachten Schadbildes.

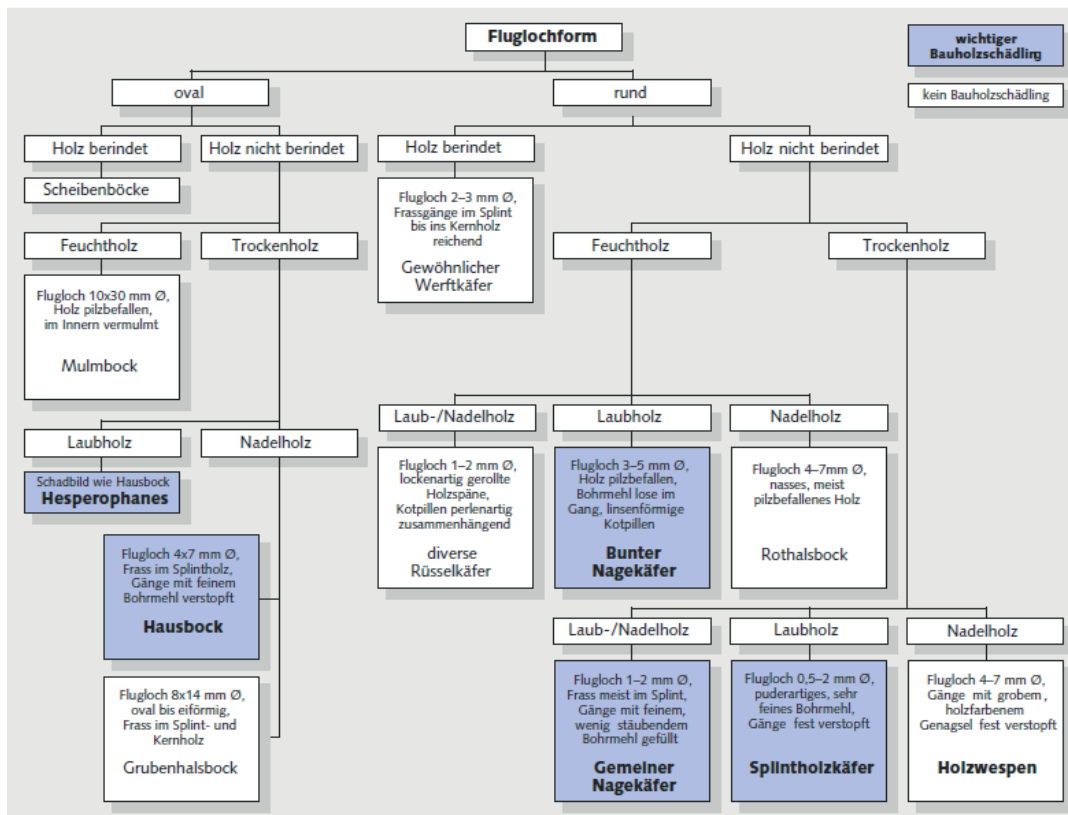


Abb. 3.13: Bestimmung des Verursachers von Holzschäden anhand des Schadbildes (vgl. GRAF (2001 S. 9))

- **zu mechanischen Einflussfaktoren:**

Die am häufigsten auftretenden mechanischen Einflussfaktoren sind statisch bedingt. Viele Schäden können auf Umnutzungen, Sanierungen und Umbauten zurückgeführt werden. Dabei wurden bzw. werden oft Bauteile ersatzlos entfernt bzw. fehlende Bauteile nicht mehr ergänzt. Durch veränderte Lastabtragungen im Dachtragwerke stellen sich daraufhin meist größere Verformungen oder Risse ein. Ein gutes Beispiel dafür sind nachträglich eingebaute Kamine, bei deren Errichtung oft im Wege stehende Kopfbänder, Streben, Windverbände oder aber auch die in einem Sparrendach als Zugband wirkenden Bundträme einfach gekappt und die Tragstruktur damit massiv verändert wurde bzw. wird. Daraus entstehen in weiterer Folge meist große Verformungen, aber auch Überlastungen von Verbindungen des Tragwerks.

Ein weiterer häufig auftretender Schaden sind Fundamentsetzungen. Diese bewirken ebenfalls mitunter große Verformungen im Dachtragwerk und diese wiederum führen zu Feuchtigkeitseintritt und folglich zu Schäden. Unterdimensionierungen der Bauteile aber auch teils fehlende konstruktive Aussteifungen führen ebenfalls auf die Dauer zu Schäden am Dachtragwerk (vgl. BÄCHLE ; JUNGHANS U. A. (2007)).



Abb. 3.14: Links: für einen Heukran entfernter Druckriegel (Forstamt 15); Rechts: für eine Kamindurchführung gekappter Wechselbalken und entfernte Strebe (Schloss Söding)

- **zu chemischen Einflussfaktoren:**

Aus dem Bereich der chemischen Schäden, sind die am häufigsten auftretenden Schäden, Salzausblühungen an Sparren und Dachlatten. Diese Salzausblühungen sind oft bei Dächern mit historischer Ziegelerdeckung vorzufinden. Die Ursache dieser Salzausblühungen findet sich in den zur damaligen Zeit verwendeten Kalkmörteln, welche zur Vermörtelung von z. B. First und Grat verwendet wurden, aus welchen über die Jahre das Kalziumhydroxid herausgewaschen wurde und über die Luftfeuchtigkeit in das Holz eindringen konnte. Das Holz wird dabei an der Oberfläche etwa 2 – 3 mm tief geschädigt, was bei geringen Querschnittsabmessungen mitunter zu Problemen führen kann. Bei ausreichendem Restholz empfiehlt es sich diese Salzausblühungen mit Hilfe einer Drahtbürste zu entfernen.



Abb. 3.15: chemische Korrosion an Dachlatten und Sparren (LISSNER ; RUG U. A. (2000 S. 161))

Empfehlenswerte, weiterführende und ergänzende Literaturquellen zum Abschnitt „Schadensarten und deren Ursachen“ sind BARON (2009); ERLER (2004); GRAF (2001); LISSNER ; RUG U. A. (2000); MÖNCK (1999).

Merke:

An unzugänglichen Stellen des Dachtragwerkes, an welchen es eng, dunkel und dreckig ist, treten häufig die eben erläuterten, typischen Schäden auf.

Die folgende Abbildung zeigt eine Zusammenstellung unterschiedlicher Verfahren zur Materialbewertung von Altholz und deren Anwendungsgrad.

Untersuchungsziel Verfahren	visuelle Ein- schät- zung	Fest- stel- lung Holzart	biolo- gische Schäd- linge	Feuch- tigkeit	Roh- dichte	Festig- keit	Bestim- mung pH- Wert	aggres- sive Medien	An- wen- dung
ZERSTÖREND: DIN 52180 bis 52192, DIN EN 323, 384, 408	□	○	□	■	■	■	■	■	L
ZERSTÖRUNGSARM:									
Stechprobe	○		□		□	■			L/B
Endoskopietechnik	■	□	○	□				○	B
Dynstatverfahren nach TGL 25106 Blatt 9	□					■ ^②		■	L
Pilodynverfahren			□	□	○	□			B
Bohrkerne	○	□	□	■	■	■ ^③	■ ^①	○	L
Bohrwiderstandsmessung	□		○		■	■		○	B
ZERSTÖRUNGSFREI:									
Klangprobe, visuelle Einschätzung		○	□	□	□	□			L/B
Ultraschall- Laufzeitmessung					□	■			B/L
Röntgenverfahren	■								B
Thermografie ^④	■								B

① nur im Zusammenhang mit Bohrkernentnahme

② Biegung

③ Druck

④ qualifiziertes Verfahren zur Bewertung des Wärmeschutzes und zur Lokalisierung von verdeckten Fachwerkhölzern (s. auch *Abschnitt 3.2.1*)

■ gut geeignet

○ geeignet

□ wenig geeignet

L Labor

B Baustelle

Abb. 3.16: Zusammenstellung verschiedener Verfahren zur Materialbewertung von Altholz (vgl. HOLZBAU HANDBUCH (2001 S. 8))

Weitere vertiefende Literaturquellen zu Prüfungen von Bauschäden historischer Dachtragwerke liefern ABELS (2013); BÄCHLE ; JUNGHANS U. A. (2007); ERLER (2004); GÖRLACHER U. A. (1999); GRAF (2001); HOLZER (2013A) ;KRAFT ; PRIBBERNOW (2006); LISSNER ; RUG U. A. (2000); MÖNCK (1999); TICHELMANN U. A. (1993 – 2), um nur einige zu nennen.

3.6 Bewertung der Schäden bzw. des Zustandes historischer Dachtragwerke

Zu Beginn sollte mit möglichst geringem Aufwand auf Basis einer ersten Bestands- und Schadenserfassung bzw. Schadensanalyse eine Beurteilung getroffen werden. Erst danach sollten, dem Bedarf angepasst, weitere umfassendere Schritte angedacht werden. Bei einer geplanten Umnutzung, sind umfassendere Bestands- und Schadenserfassungen bzw. Schadensanalysen meist unumgänglich.

Die Bewertung der vorliegenden Schäden bzw. die Zustandsbeurteilung des Dachtragwerkes ist in weiterer Folge in Hinblick auf die Einhaltung der baurechtlichen Forderungen zu führen. Neben der Tragsicherheit sind auch Anforderungen bezüglich des Holz-, Wärme-, Feuchte-, Brand- und Schallschutzes zu bewerten. Dies ist in weiterer Folge für alle Bauteile und Gebäudeelemente durchzuführen. Erst am Ende einer Bauschadens- bzw. Zustandsbewertung ist es möglich, einen Kostenrahmen zur Instandsetzung, Modernisierung bzw. Sanierung anzugeben (vgl. LISSNER ; RUG U. A. (2000 S. 181 – 273); TICHELMANN U. A. (1993 – 1)).

Zu einer umfassenden Beurteilung der Schäden, stellt TICHELMANN (1993 – 2)) ein Bauwerksblatt zur Verfügung, mit welchem das Gebäude dokumentiert und die Schäden eingetragen werden können. ABELS (2013) stellt über einen Internet – Link eine noch umfangreichere Dokumentation mittels Formblätter zur Verfügung.

Eine weitere Möglichkeit der Zustandsbeurteilung wurde von MEISEL U. A. (2013B) erarbeitet, welche im Anschluss vorgestellt werden soll.

Letztendlich muss entschieden werden, ob sich eine Instandsetzung bzw. Sanierung aus bauwirtschaftlicher Sicht rechnet bzw. es sich um ein erhaltenswertes Objekt aus Sicht des Denkmalschutzes handelt (siehe Abschnitt 4.3), oder ob es sich beim vorliegenden Dachtragwerk um einen Abrissauftrag handelt. Fällt die Entscheidung zu Gunsten der Erhaltung der historischen Bausubstanz aus, sind in weiterer Folge das Instandsetzungs- bzw. Sanierungskonzept und dessen Ablauf auszuarbeiten.

Merke:

Die Untersuchungen welche zur Bestandserfassung bzw. Zustandsbeurteilung nötig sind, sollten keinesfalls wahllos nach einem stetigen Schema ablaufen, sondern individuell auf das Schadens- und Zustandsbild des Dachtragwerkes abgestimmt werden.

Andreas Meisel
Gregor Silly
Thomas Moosbrugger
Heinz J. Ferik
Gerhard Schickhofer

Historische, hölzerne Dachtragwerke im Raum Graz – Methodik zur Zustandsbeurteilung

Dieser Beitrag behandelt die zeitlichen, tragfähigkeitsrelevanten Einflüsse auf die Tragsicherheit historischer Dachwerke aus Holz sowie deren Schadenserfassung und Schadensanalyse. Darauf aufbauend wird eine für den Raum Graz entwickelte Methodik für eine nachvollziehbare und dokumentierbare Zustandsbeurteilung von Dachtragwerken dargestellt und anhand von Beispielen illustriert. Das Bewertungsschema ist nicht ohne weiteres auf andere Bauwerke / Bauwerkstypen übertragbar.

Historic roof structures made of timber in Graz – methodology for site evaluation. This contribution deals with the influences of time and those relevant to bearing capacity on the reliability of historic timber roof structures. Furthermore the evaluation as well as damage analysis of historic roof structures are discussed. Based on this an easily comprehensible and documentable methodology temporarily only for roof structures in the area of Graz is presented and illustrated with examples.

1 Motivation, Zielsetzung und Begriffe

Zahlreiche Tragwerke der UNESCO-Weltkulturerbe geschützten Dachlandschaft von Graz werden derzeit nicht regelmäßig von fachkundigen Personen instandgehalten (vgl. [5], [18]). Dies wird von etlichen Liegenschaftseigentümern mit der großen Bestandsdauer gerechtfertigt. „Das trägt schon xx Jahre, warum soll es nicht noch einmal so lange funktionieren?“ Solange ein Tragwerk zum Zeitpunkt seiner Errichtung dem geltenden Baurecht entsprach gilt Bestandsschutz. Allerdings entbindet dieser die Liegenschaftseigentümer nicht von ihrer Obliegenheit, die Bauwerke instand zu halten, da sie für sämtliche, von ihren baulichen Anlagen ausgehenden, Gefahren verantwortlich sind.

In der Praxis bedarf es daher häufig eines konkreten Anlasses – beispielsweise augenfälliger Schäden oder Nutzungsänderungsabsichten – damit ein erster Befund/Analyse und eine erste Beurteilung beauftragt werden (siehe Bild 1). Selbst bei Ingenieurholzbauten ist die Entscheidung, ob und wann Instandsetzungsmaßnahmen oder gar Anpassungen an das heutige Baurecht erforderlich sind (weil der Bestandsschutz gefallen ist), nur schwierig zu treffen. Historische Dachtragwerke (darunter werden hier vor 1900 zimmermannsmäßig errichtete verstanden) wurden weitgehend nach der Erfahrung, dem Traditionsbewußtsein, dem intuitiven statischen Verständnis und dem Mut der Ausführenden, allerdings ohne baustatische Berechnung, erstellt. Das Wissen über das tatsächliche mechanische Verhalten dieser Tragwerke ist daher vergleichsweise gering.

Ziel dieses Beitrages ist es, ein Schema für die Beurteilung des Zustands historischer Dachtragwerke vorzustellen. Die hierzu verwendete Systematik ist an die Zustandsbeurteilung im Rahmen von Brückenprüfungen (vgl. [30], in Deutschland: vgl. [23], [28]) angelehnt. Viele einzelne für den Tragwerkszustand wichtige Aspekte werden zu einer Gesamtpunktzahl aufaddiert. Diese entspricht der Zustandsnote und gibt die weitere Vorgehensweise vor. Darüber hinaus wird dem fachkundigen Gutachter mit diesem Schema eine Methodik in die Hand gegeben, mit dem er seine Beurteilung nachvollziehbar dokumentieren und Instandsetzungspriroritäten definieren kann.

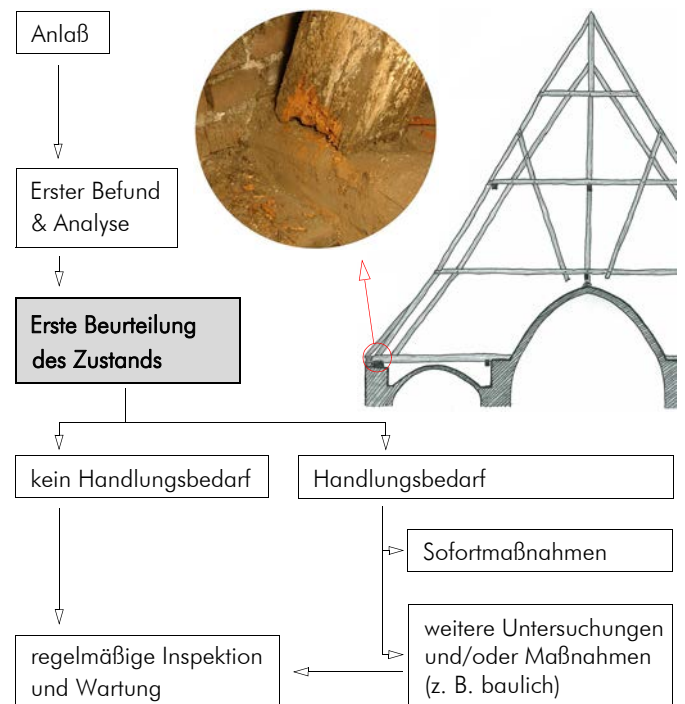


Bild 1. Entscheidungsprozess (Beispiel siehe Abschnitt 5.3).
Fig. 1. Decision process (example see paragraph 5.3).

Begriffsdefinitionen:

Bestandsschutz (in Österreich: rechtmäßiger Bestand, vgl. z. B. [14]): Eine bauliche Anlage, die zum Entstehungszeitpunkt dem geltenden Baurecht entsprach, bedarf keiner Anpassung an das heutige Recht. Der Bestandsschutz geht erst verloren, wenn wesentliche Eingriffe am Bestand geplant und die Änderungen nach der Bauordnung genehmigungspflichtig sind oder eine Nutzungsänderung vorliegt (vgl. [4] S. 213, [10], [20]). Die **Tragsicherheit** (auch „Standssicherheit“) beschreibt den hinreichenden Abstand zwischen den Einwirkungen und dem Bauwerkswiderstand (in Anlehnung an [24], [33]).

2 Tragsicherheitsverlauf über die Zeit

Die Tragsicherheit ist – vereinfacht ausgedrückt – vom Abstand zwischen dem Tragwerkswiderstand und den zu erwartenden Einwirkungen abhängig. Je kleiner dieser Abstand, desto geringer ist die Tragsicherheit. Die Tragwerkswiderstände hängen auch vom Alter des Tragwerks ab. Diese verdeutlicht der beispielhafte Verlauf in Bild 2. Die Einwirkungen werden in der Grafik als für den Standort unabänderlich vorausgesetzt.

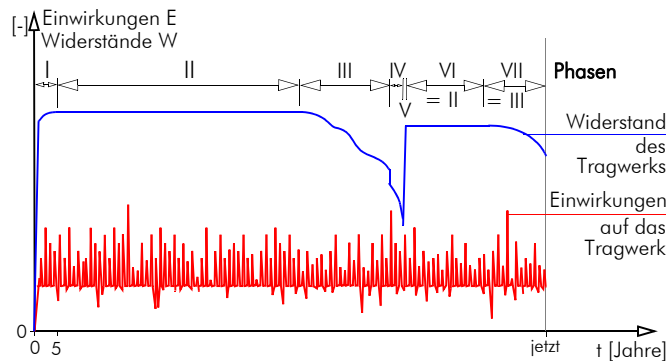


Bild 2. Schematische Darstellung des Verlaufs der Einwirkungen und Widerstände eines historischen Dachtragwerks über die Zeit.

Fig. 2. Schematically figure of the development of actions and resistances of a historic roof structure over time.

Im Folgenden werden die in Bild 2 eingetragenen Phasen des Tragwerkswiderstandes erläutert. Auf von Bild 2 abweichende Verläufe wird hingewiesen.

2.1 Phase I: Austrocknen und „Initialsetzen“

Historische Holzbauten wurden in der Regel „saftfrisch“ verzimmert (vgl. [6], [9], [16]). Das heißt, die im Winter gefällten Bäume wurden im Frühjahr behauen, abgebunden und anschließend montiert. Durch das Austrocknen der Bauhölzer in den ersten Jahren des Gebäudebestands kann von einer Steigerung der Tragfähigkeit ausgegangen werden.

Hinzu kommt, dass Holz mit hoher Feuchtigkeit ein ausgeprägtes Kriechverhalten aufweist (vgl. [19], [24], [25]). Das wiederum führt dazu, dass sich besonders hoch beanspruchte Bauteile den Kräften zu entziehen versuchen. In statisch hochgradig unbestimmten Tragwerken – und hierzu zählen viele historische Dachwerke – können Lasten auf andere Bauteile umgelagert werden. Man kann daher annehmen, dass sich historische Dachwerke in den ersten Bestandsjahren „initialsetzen“ und Spannungsspitzen umgelagert werden. Demnach kann in dieser Phase von einer Steigerung der Tragfähigkeit ausgegangen werden.

Allerdings kommt es aufgrund der Anatomie von Holz – insbesondere bei einstieligen Querschnitten – zur Bildung von Schwindrissen. Diese Risse können die Tragfähigkeit lokal (z. B. im Bereich eines Vorholzes) als auch global (z. B. für die Übertragung von Schubkräften in einem Bauteil) verringern. Zudem können Schwindvorgänge zu Verbindungsklaffungen und damit zu einer Erhöhung der Verformungen des Tragwerks führen.

2.2 Phase II: Konstanz

Die Bauhölzer haben die Ausgleichsfeuchte erreicht (unter der Annahme einer guten Durchlüftung) und die Dachdeckung samt Anschlüssen ist dicht. Sofern das Tragwerk allen Einwirkungen zu widerstehen imstande ist, kann davon ausgegangen werden,

dass sich der Zustand des Tragwerks nicht verändert. In den bisherigen wissenschaftlichen Untersuchungen (vgl. [3], [21], [29]) konnte kein Festigkeitsverlust allein infolge der Alterung von Holz nachgewiesen werden. Der Befall durch Insekten kann die Tragfähigkeit verringern, ist jedoch bei geringen Holzfeuchten unwahrscheinlich.

2.3 Phase III: 1.- Schäden

Die meisten Schäden in historischen Dachtragwerken können in zwei Gruppen zusammengefasst werden:

Substanzverlust

- dauerhaft zu hohe Holzfeuchtigkeit (siehe folgende Absätze)
- Insektenbefall
- mechanische und/oder chemische Beschädigungen/Abnutzung im Betrieb (vgl. [11], [20])

konstruktive Mängel

- nicht fachgerechte Instandsetzungen und/oder Tragwerksveränderungen
- mangelhafte bis fehlende Aussteifungsverbände
- Überbeanspruchung von Verbindungen und/oder Stäben
- fehlende konstruktive Lagesicherung
- Folgeschäden, beispielsweise aus ungleichmäßigen Fundamentsetzungen
- etc.

Für eine erhöhte Holzfeuchtigkeit können beispielhaft folgende Ursachen genannt werden:

- mangelhafte Bewitterungssicherheit der Dachdeckung (aufgrund des unregelmäßigen Formates alter Dachziegel, fehlender Dachziegel und der teilweise mangelhaften Dichtigkeit historischer Deckungsmaterialien)
- undichte Verblechungen (im Bereich von Ichen, Kamin-durchführungen, Traufen, innenliegenden Dachrinnen, etc.)
- Kondensatbildung (z. B. an Metalloberflächen, infolge von bauphysikalisch mangelhaften Dachausbauten)
- Nutzung des Dachraums als Wäschetrockenraum
- aufsteigende Mauerwerksfeuchtigkeit
- leckende Wasserinstallationen (in Dachräumen eher selten)
- unzureichende Belüftung (z. B. infolge Verschmutzung)
- Rückstau
- konvektive Einträge

Die Folgen von zu hoher Holzfeuchtigkeit sind:

- Förderung von Insektenbefall
- Pilzbefall, näheres siehe beispielsweise [11], [29]

Je nach Holzfeuchtigkeit und der Möglichkeit der Wiederaustrocknung werden die Holzbauteile mehr oder minder rasch abgebaut und verlieren dadurch ihre Tragfähigkeit (vgl. [8], [11]). Werden die Ursachen für den erhöhten Feuchtezutritt behoben, können die Bauhölzer (sofern nicht durch Schmutz und Bauschutt behindert) wieder austrocknen. Die Tätigkeit der holzschädigenden Organismen sinkt oder kommt ganz zum Erliegen („Trockenstarre“). Bei einer neuerlichen Durchfeuchtung erfolgt der Holzabbau jedoch schneller als beim Erstbefall.

2.4 Phase IV: Teil- oder Systemversagen

Aufgrund der zunehmenden Schäden aus Phase III versagen die ersten Verbindungen und/oder Tragglieder. Das Systemversagen tritt aufgrund der hochgradigen statischen Unbestimmtheit vieler historischer Dachwerke meist nicht ein. Infolge von Lastumlagerungen kommt es in der Regel zu einer Erhöhung der Beanspruchung in den noch ausreichend tragfähigen Bereichen. Zudem kommt es infolge des Versagen von Verbindungen und/oder Traggliedern häufig zu großen Verformungen in der Dach-

deckungsebene. Diese wirken sich wiederum negativ auf die Bewitterungssicherheit der Dachdeckung aus. Der Grad der Schädigung nimmt progressiv zu. Schlussendlich kann es zum Systemversagen kommen.

2.5 Phase V: Instandsetzung

Je nach Qualität der Instandsetzung wird der Tragwerkswiderstand mehr oder minder verbessert, eventuell aber auch verschlechtert (vgl. Begehungen und Beurteilungen in [18]). Alternativ oder ergänzend zu einer Instandsetzung ist unter Umständen auch eine Reduktion der Einwirkungen (z. B. Nutzlasten beschränken, Konstruktionseigenlasten verringern) möglich.

3 Erster Befund (semi-visuell) und Analyse

Für jede Zustandsbeurteilung ist eine zuvor durchgeführte Schadensanalyse unabdingbar. Diese erfordert wiederum einen ersten Befund, der eine Bestands- und Schadenserfassung beinhaltet. Eine erste Bestandserfassung ist erforderlich, um beispielsweise die Art und Lage von Schäden zuordnen und beschreiben zu können.

Weder die Konstruktion historischer Dachwerke noch die überwiegende Zahl der Schäden erschließt sich dem versierten Betrachter auf den ersten Blick. Daher wird empfohlen für Befund und Analyse ausreichend Zeit vor Ort einzuplanen.

3.1 Bestandserfassung

Im Rahmen einer ersten Begehung wird ein allgemeiner visueller Überblick über das Tragwerk und dessen Zustand gewonnen. Folgende Fragestellungen werden beantwortet:

- Liegt augenscheinlich Gefahr im Verzug vor? (In diesem Fall sind auch Maßnahmen für die eigene Sicherheit zu treffen.)
- Muss die Zugänglichkeit hergestellt werden?

Sind alle Bauteile zugänglich, das bedeutet, dass beispielsweise alle Bauhölzer von Bauschutt befreit und gereinigt, sowie Leitern und Laufstege eingebaut wurden, so erfolgt eine erste Bestandserfassung. Dabei wird Folgendes erhoben:

- allgemeine Liegenschaftsinformationen
- mindestens ein Aufmaß eines typischen Voll- und Leergespärres inkl. Querschnittsabmessungen, Bezeichnung der Bauteile, Verbindungen und statisch relevante Verformungen/Schiefstellungen
- Achsen der tragenden Bauteile im Grundriss inkl. Bezeichnung der Gespärre (z.B. VG 1, LG 1.1 usw.) und Lage der tragenden Bauteile des Geschoßes darunter
- Fotodokumentation

Für weiterführende Literatur zu Bestandserfassungen siehe beispielsweise [1], [7], [15], [20], [27].

3.2 Schadenserfassung

3.2.1 Grundlagen und Schwachpunkte

Die eigentliche Schadenserfassung wird sinnvollerweise erst dann durchgeführt, wenn entsprechende Pläne zur Eintragung von Art, Ort und Umfang aller Schäden erstellt wurden.

Erfahrungsgemäß (vgl. [18]) treten die in Abschnitt 2.3 genannten Schäden an folgenden Orten stark gehäuft auf:

- Traufpunkten (Sparren- und Stuhlsäulenfußpunkten)
- Graten/Ichsen, Kaminanschlüssen
- Dachverschneidungen
- Materialwechselln (Mauerwerk – Holz)

Bei der Schadenserfassung ist eine gute Beleuchtung unabdingbar.

3.2.2 Vorgehensweise

Alle Stäbe und Verbindungen sind zuerst systematisch durch eine *handnahe Inaugenscheinname* (Begriff vgl. [34]) und mittels Klopfprobe zu untersuchen. Bei der Klopfprobe werden die statisch wirksamen Hölzer mit einem Zimmermannshammer (idealerweise mit glatter Bahn) angeschlagen. Nichttragende Stäbe oder Verbindungen sowie oberflächliche Schäden können damit rasch eruiert werden. Im unmittelbaren Bereich von Verbindungen, insbesondere an den typischen Schwachstellen, wird auch vereinzelt die Spitze des Zimmermannshammers eingesetzt. Lokale Holzerstörungen können damit detektiert und durch Bearbeitung mit der Hammerspitze ihr Umfang ermittelt werden (siehe Bild 3).



Bild 3. Links: Ansicht vor der Klopfprobe, Rechts: danach.
Fig. 3. Left: view before knocking test, Right: afterwards.

An typischen Schwachstellen und schlecht einseharen Bereichen (z. B. Zwischenraum Dachziegel-Sparren) muss sodann zumindest stichprobenartig untersucht werden, ob in den Holzbauteilen zerstörte Bereiche existieren. Diese Untersuchungen können mittels Bohrungen und Bohrmehlanalysen, Auszieh- oder Bohrwiderstandsmessungen durchgeführt werden (siehe Bild 4). (vgl. [13])

Sämtliche Erkenntnisse sind untersuchungsbegleitend und nachvollziehbar zu dokumentieren.

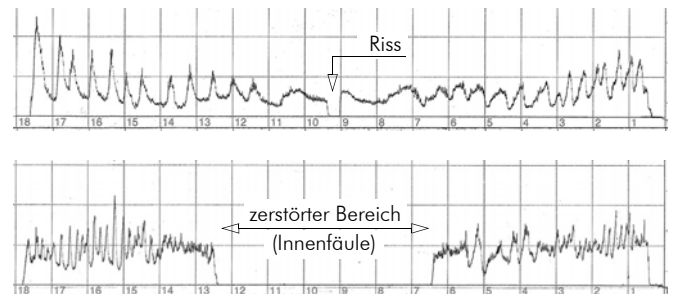


Bild 4. Protokolle von Bohrwiderstandsmessungen, Oben: Bohrung durch einen schadfreien Sparren, Unten: Bohrung durch einen Sparren mit Innenfäule.

Fig. 4. Printouts of drilling resistance measurements, Above: drilling through a healthy rafter, Below: drilling through a rafter rotten inside.

3.3 Schadensanalyse

Hier gilt es die Ursachen von Schäden und deren Auswirkungen auf das Tragwerk zu ermitteln.

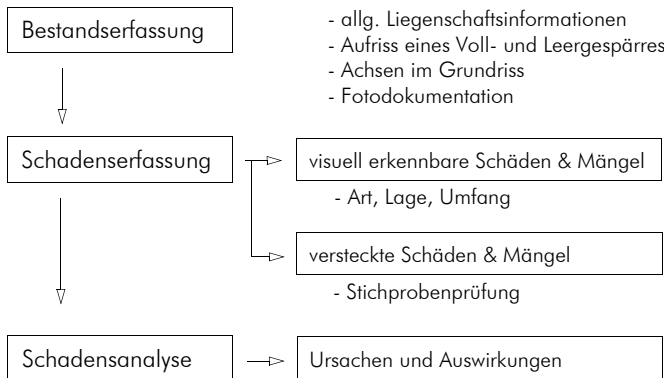


Bild 5. Vorgehensweise bei Befund und Analyse.
Fig. 5. Approach at findings and analysis.

4 Zustandsbeurteilung

Auf Basis des ersten Befunds und der darauf aufbauenden Schadensanalyse wird eine erste Beurteilung des Zustands des Tragwerks durchgeführt. Bei großen Objekten ist für jeden Trakt und für jeden statisch-konstruktiv unterschiedlichen Bereich eine *separate Beurteilung* vorzunehmen.

Im Falle eines deutlich heterogenen Tragwerkszustands innerhalb eines ansonsten identischen Bereiches werden separate Beurteilungen der gewählten Teilbereiche empfohlen.

4.1 Datengrundlage

Als Datengrundlage für die Erstellung des Beurteilungsschemas dienten insgesamt rund 100 Dachtragwerke in Graz und Umgebung. Sie wurden zwischen 1257 und 1880 errichtet und zwischen 2005 und 2011 von den Autoren erfasst. Die Bearbeitung dieser einzelnen Dachtragwerke reichte von fotografischen Dokumentationen und Beschreibungen bis hin zu räumlichen Systemdarstellungen, Schadenskartierungen und umfassenden, räumlichen baustatischen Analysen. Anhand der insbesondere

im Rahmen der Erstellung des Forschungsprojektes „D(N)achhaltigkeit Graz“ gewonnenen Ergebnisse und Erfahrungen wurde das vorliegende Beurteilungsschema entwickelt. Die Methodik wurde iterativ solange optimiert, bis die Ergebnisse des Beurteilungsschemas mit den Ergebnissen der z. B. vorliegenden baustatischen Analysen übereinstimmten.

4.2 Notensystem

Das Notensystem und die weitere Vorgehensweise sind in Bild 6 erläutert. Das Notensystem wurde in Anlehnung an die RVS *Arbeitspapier Nr. 12* (vgl. [30]), dem Österreichischen Pendant zur DIN 1076 [23] und der RI-EBW-PRÜF [28] entwickelt.

Die Beurteilung des Zustands eines Tragwerks wird abhängig gemacht von

- der **Schadensfolgeklasse**, in Anlehnung an den Eurocode 0, Tabelle B.1 [24],
- der **Tragsicherheit** und
- eventuellen Funktionsprüfungen – das heißt **Probebelastungen**.

Der Tragwerkszustand wird von der Tragwerksbeanpruchung und eventuell vorliegenden Schäden, Mängeln etc. bestimmt.

Für die praktische Durchführung der Beurteilung wird die in Abschnitt 4.3 vorgestellte Methodik empfohlen. Die Tragwerksbeanspruchung wird im Beurteilungsschema nicht berücksichtigt, da angenommen wird, dass das Tragwerk angepasst an die Einwirkungen an seinem Standort errichtet wurde.

Anmerkungen zu Bild 6:

- * ... I & W: regelmäßige Inspektion und Wartung
- ** ... Definition: Von einer baulichen Anlage ist mit hinreichender Wahrscheinlichkeit eine Gefährdung von Menschen in absehbarer Zeit zu erwarten.
- *** ... z. B. Evakuierung
- **** ...Unter „weiterführende Untersuchungen“ werden hier insbesondere baustatische Analysen verstanden.

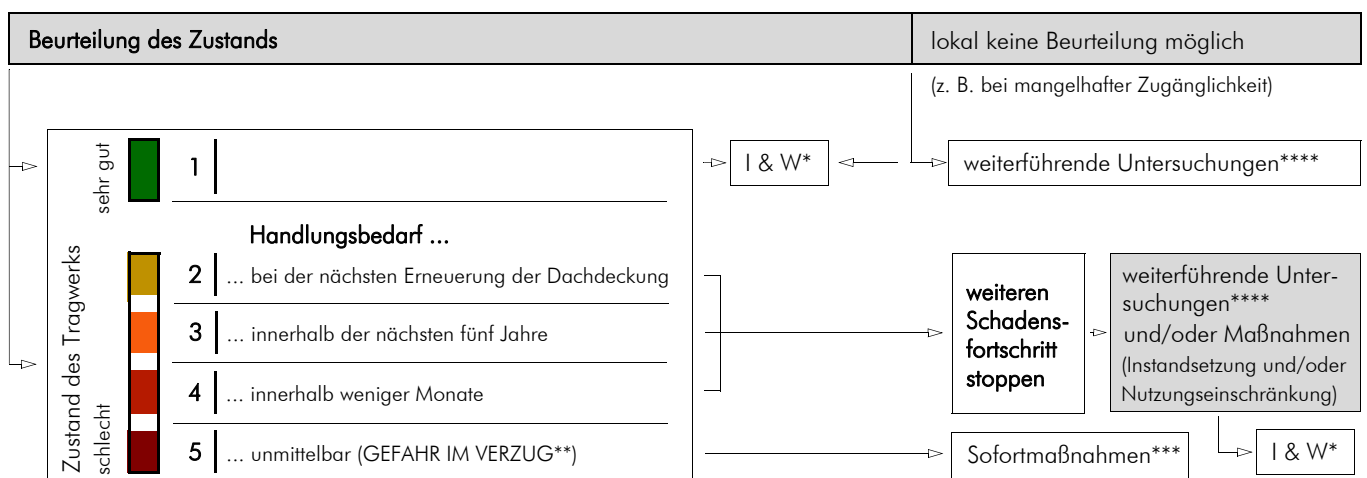


Bild 6. Illustration des Notensystems und der weiteren Vorgehensweise.
Fig. 6. Illustration of the grade system and further approach.

4.3 Beurteilungsschema

Zustandsbeurteilung eines historischen Dachtragwerks aus Holz

Schadensfolgeklasse	(maximal 1 Punkt)
&	0,5 ... für gewöhnliche Bauten 1 ... für Bauten mit Menschenansammlungen und Bauten an stark frequentierten Straßen
Tragsicherheit	(insgesamt maximal 4 Punkte)
Grad der statischen Unbestimmtheit [K1]	0,5 ... für statisch bestimmte oder nahezu statisch bestimmte Tragwerke
Umbauten und Instandsetzungen [K2]	0,5 ... für Tragwerke, die in den letzten Jahrzehnten (rund 50 Jahre) nicht fachgerecht verändert wurden 1 ... für Tragwerke, die in den letzten Jahrzehnten an statisch besonders wesentlichen Stäben und/oder Verbindungen offensichtlich nicht fachgerecht verändert wurden
Holzerstörung (Pilz- oder Insektenbefall) [K3]	0,5 ... für Tragwerke, die mäßige Schäden ohne fachgerechte Instandsetzung aufweisen. Diese Schäden gehen über oberflächige Beeinträchtigungen hinaus und betreffen auch statisch wesentliche Bauteile. 1 ... für Tragwerke, die schwere Schäden ohne fachgerechte Instandsetzung aufweisen 1,5 ... für Tragwerke, die schwere Schäden an statisch besonders wesentlichen Stäben oder Verbindungen aufweisen
Verbindungs- und/oder Stabversagen [K4]	0,5 ... wenn einzelne, statisch wesentliche Verbindungen und/oder Stäbe infolge von Überbelastung oder Holzerstörung versagt haben 1 ... wenn mehrere, statisch wesentliche Verbindungen und/oder Stäbe infolge von Überbelastung oder Holzerstörung versagt haben und dies besondere Auswirkungen auf das Gesamttragverhalten hat
konstruktive Mängel [K5]	0,5 ... wenn die Dimensionen der statisch wesentlichen Bauteile außergewöhnlich schlank sind 1 ... wenn es sich beim Tragwerk offensichtlich um eine Fehlkonstruktion handelt und/oder statisch unbedingt erforderliche Stäbe oder Verbindungen fehlen
große Verformungen und/oder Klaffungen [K6]	0,5 ... wenn statisch wesentliche Stäbe und/oder das gesamte Tragwerk deutlich sichtbar verformt sind und/oder zahlreiche Verbindungen klaffen. Die Verformungen (oder Klaffungen) können nicht mehr durch die Anatomie des Holzes erklärt werden.
Verschlechterungstendenz [K7]	0,5 ... wenn die Dachdeckung, -anschlüsse und -entwässerung mangelhaft sind und/oder das angrenzende Mauerwerk durchfeuchtet ist und/oder die Bauhölzer stark verschmutzt sind und/oder aus anderen Gründen eine Verschlechterung des Zustandes zu erwarten ist.
&	
In-Situ-Probebelastungen	- 0,5 ... wenn in den letzten drei Jahren eine außergewöhnlich große Einwirkung auftrat und infolgedessen keine Schäden eintraten. - 1 ... analog wie zuvor, jedoch für gezielt aufgebrauchte Probebelastungen
SUMME der Punkte	
weitere Kriterien und die Erfahrung des Gutachters [K8]	Die Summe der Punkte dient als erste Entscheidungsgrundlage für die Beurteilung. Im Rahmen der „weiteren Kriterien“ erfolgt eine kritische Evaluierung der bisher vorliegenden Summe der Punkte als auch die Berücksichtigung aller bisher nicht beachteter Kriterien bzw. Aspekte. Die Durchführung regelmäßiger Inspektionen könnte hier beispielsweise berücksichtigt werden. Für die Vergabe dieser Punkte (positiv/negativ) ist die Erfahrung des Gutachters gefordert.

BEURTEILUNG des ZUSTANDS (Endsumme der Punkte = Note gemäß Bild 6)

Bild 7. Zustandsbeurteilungsschema für hölzerne, historische Dachtragwerke in Graz.

Fig. 7. Scheme for the reliability evaluation of historic roof structures made of timber in Graz.

4.4 Erläuterung der Beurteilungskriterien

4.4.1 Vergabe von Punkten

Um die Übersichtlichkeit des Konzeptes (siehe Bild 7) zu verbessern, wird die Vergabe von „0“ Punkten nicht extra angeführt. Falls ein Kriterium die Tragsicherheit nicht negativ beeinflusst, ist kein Punkt zu vergeben. Dies ist beispielhaft dann der Fall, wenn der Grad der statischen Unbestimmtheit hoch ist oder keine Umbauten und Instandsetzungen vorliegen.

4.4.2 Grad der statischen Unbestimmtheit [K1]

Mit dem Grad der statischen Unbestimmtheit wird sowohl die äußere als auch die innere Unbestimmtheit eines Tragwerks verstanden. Zahlreiche historische Dachtragwerke sind hochgradig statisch unbestimmt (siehe Bild 8) und tragen ausgeprägt räumlich ab. Einzelne Schäden bzw. Mängel führen daher i. d. R. nicht zum Globalversagen. Statisch bestimmte oder nahezu bestimmte Tragwerke (z. B. einfache Sparren- und Kehlbalkendächer, zahlreiche Pfettendächer) haben diese Fähigkeit der Lastumlagerung nicht bzw. nur aufgrund des Tragvermögens der Dachlattung (vgl. [17]).



Bild 8. Statisch hochgradig unbestimmtes Dachwerk über der Apsis des Doms in Graz.

Fig. 8. Statically highly indeterminate roof structure above the apsis of the dome in Graz.

4.4.3 Umbauten und Instandsetzungen [K2]

Gemäß DIN 1052 - 4. Bautechnische Unterlagen (3) gilt: „Für Bauteile und Verbindungen, die offensichtlich ausreichend bemessen sind, darf auf einen rechnerischen Nachweis verzichtet werden. (...)“ [22]. Hat ein Tragwerk einige Jahrzehnte lang alle auftretenden Lasten schadfrei abgetragen, so kann davon ausgegangen werden, dass die Konstruktion „offensichtlich ausreichend“ bemessen ist. Somit kommt der Frage, wann die letzten Veränderungen am Tragwerk durchgeführt wurden, große Bedeutung zu. Mangels Dokumentation kann der Zeitpunkt der letzten Veränderung oft nur noch anhand von Indizien (verwendete Baustoffe und Verbindungsmittel, Oberflächenbeschaffenheit der Bauhölzer usw.) abgeschätzt werden. Sollten die Veränderungen fachgerecht sein, allerdings den Grad der statischen Unbestimmtheit verringert haben, wird im Zweifelsfall ein halber Punkt vergeben.



Bild 9. Nicht fachgerechte Instandsetzungen.

Fig. 9. Incompetent repairs.

Nicht fachgerechte Veränderungen sind daran zu erkennen, dass die neuen Bauteile oder Verbindungen offensichtlich unterdimensioniert sind und/oder bestimmte existierende Beanspruchungen von der Instandsetzung nicht aufgenommen werden können und/oder statisch wesentliche Bauteile ohne adäquaten Ersatz entfernt wurden (siehe Bild 9).

4.4.4 Holzerstörung (Pilz- und Insektenbefall, chemische Korrosion, mechanischer Abrieb) [K3]

Unter „mäßigen Schäden“ wird die Minderung der Tragfähigkeit eines tragenden Querschnittes oder einer Verbindung um 30 % bis 70 % verstanden. Oberflächliche Schäden oder einzelne Fraßgänge von Insekten beeinträchtigen den Zustand eines historischen Dachtragwerks dagegen in der Regel kaum. Unter „schweren Schäden“ wird die vollständige Zerstörung (> 70 %) eines tragenden Querschnittes oder einer Verbindung verstanden (siehe Bild 10 und Bild 11). Diese beeinträchtigen den Zustand insbesondere dann, wenn statisch wesentliche Bauteile oder Verbindungen betroffen sind und keine Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt wurden.

Statisch wesentliche Stäbe sind jene, ohne deren Vorhandensein die Tragfähigkeit eines Tragwerks nicht möglich erscheint. Bei Kehlbalkendächern mit liegendem Stuhl sind das beispielsweise die in den Vollgesparren angeordneten Bundtrame.

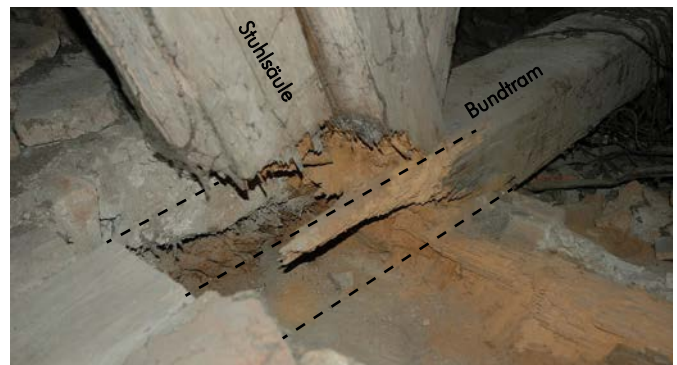


Bild 10. Zerstörter Bundtram.

Fig. 10. Damaged tiebeam.



Bild 11. Innenfäule einer Mauerbank.
Fig. 11. Internal rot of a bending beam.

4.4.5 Verbindungs- und/oder Stabversagen [K4]

Infolge von mechanischer Überbelastung (Bild 13) oder durch Holzerstörung (siehe Bild 12) versagte Verbindungen und/oder Stäbe sind in der Regel ein Indiz für eine geringe Tragsicherheit. Es muss festgestellt werden, ob die geschädigten Stäbe und/oder Verbindungen auf das Gesamttragverhalten eine wesentliche Auswirkung haben. Hierfür sind je nach Komplexität des vorliegenden statischen Systems entweder qualitative Analysen des Kraftflusses ausreichend oder erste statische Analysen erforderlich. Ob Stäbe oder Verbindungen wesentlichen Einfluss auf das Gesamttragverhalten haben, hängt von den betroffenen Bauteilen und vom Grad der statischen Unbestimmtheit des Tragwerks ab.



Bild 12. Versagter Stuhlsäulenfußpunkt.
Fig. 12. Failure of a frame column base.



Bild 13. Querzugversagen des Bundtrams.
Fig. 13. Failure of tiebeam due to stresses perpendicular to grain.

4.4.6 konstruktive Mängel [K5]

Sind die Querschnitte der Stäbe durchwegs deutlich schlanker als bei vergleichbaren Tragwerken, so ist dies zu berücksichtigen.

In Einzelfällen liegen auch Fehlkonstruktionen vor oder es fehlen statisch wesentliche Bauteile oder Verbindungen (siehe Bild 14). Fehlkonstruktionen sind beispielsweise Kehl-balkendächer mit liegendem Stuhl, die im Walmbereich „um die Ecke gedacht“ wurden, sowie Kehl-balkendächer mit unvollständigen (weil z. B. halben) liegenden Stühlen, wie sie in Pultdächern manchmal anzutreffen sind. Die Beurteilung, ob eine Fehlkonstruktion vorliegt, sollte nur dann getroffen werden, wenn es infolge dessen bereits zu großen Verformungen und/oder Versagen gekommen ist bzw. wenn bereits Notabstützungen (keine fachgerechten Instandsetzungen) vorliegen (siehe Bild 14).



Bild 14. Links: Firstbereich ohne Aussteifung in Firstrichtung, Rechts: Kehlbalkendach mit einfach liegendem Stuhl (mit nicht fachgerechter Instandsetzung).

Fig. 14. Left: ridge area without bracing in the direction of the ridge, Right: collar beam roof with asymmetric trapezoidal portal frame (with incompetent repair).

4.4.7 große Verformungen und/oder Klaffungen [K6]

Diese liegen vor, wenn statisch wesentliche Stäbe und/oder das gesamte Tragwerk deutlich sichtbar verformt sind (siehe Bild 15) und/oder zahlreiche Anschlüsse klaffen. Die Verformungen (oder Klaffungen) können nicht mehr durch die Anatomie des Holzes (z. B. Quell- und Schwindvorgänge in Kombination mit Schrägfasrigkeiten) erklärt werden (siehe Bild 15 rechts). Wenn sich die Verbindungen statisch wesentlicher Stäbe infolge der Anatomie des Holzes jedoch gelöst haben, ist ebenfalls ein halber Punkt zu vergeben.



Bild 15. Links: Verformung des Sparrens infolge eines asymmetrischen Stuhls, Rechts: Verdrehung eines Kehlbalkens infolge von Schrägfasrigkeit in Kombination mit Schwindvorgängen.

Fig. 15. Left: deformations of rafters due to asymmetric principal frame, Right: twisting of the collar beam due to slope of grain in combination with shrinking.

4.4.8 Verschlechterungstendenz [K7]

Verschlechterungstendenz liegt vor, wenn trotz des möglichst raschen Stops des Schadensfortschrittes (z. B. Notabdeckung) weiterhin von einer Verschlechterung des Tragwerkszustands ausgegangen werden muss. Dies ist der Fall, wenn

- weiterhin mit einem erhöhten Feuchtezutritt zu den tragenden Hölzern zu rechnen ist (siehe Bild 16) und/oder
- die Bauhölzer stark verschmutzt sind (siehe Bild 17) und das Wiederaustrocknen der Hölzer verlangsamt ist. Somit liegt eine größere Wahrscheinlichkeit für weitere Schädigungen vor.
- aus anderen Gründen eine Verschlechterung des Zustandes zu erwarten ist.

Diese anderen Gründe können z. B. aktiver Pilz- und/oder Insektenbefall oder die laufende Zunahme von Verformungen und Rissen (in den Holzbauteilen oder im Mauerwerk) sein.



Bild 16. Flugschnee im Traufbereich (vgl. [2]).

Fig. 16. Fine snow in the eaves area (see [2]).

Der Befall der Holzbauteile durch den „Echten Hausschwamm“ wird als besonders gefährlich erachtet, da sich dieser mit Hilfe seines Pilzmycels selbst mit Feuchtigkeit versorgen kann. Bei guten Lebensbedingungen wird die Holzsubstanz binnen weniger Monate auf ein unbrauchbares Festigkeitsniveau zerstört. (vgl. [11], [29]) **Wird Befall durch den „Echten Hausschwamm“ festgestellt, sind Sofortmaßnahmen unabhängig von der Beurteilung anzuordnen.**



Bild 17. Verschmutzung der Bauhölzer.

Fig. 17. Soiling of the timbers.

4.4.9 weitere Kriterien [K8]

Weitere Kriterien, die den Tragwiderstand eines Dachwerks (und damit auch des Zustands) positiv oder negativ beeinflussen, können hier durch die Vergabe weiterer Punkte (mit positivem oder negativem Vorzeichen) berücksichtigt werden.

Viele Schadensanalysen zeigen, dass die angeführten Beurteilungskriterien oftmals zusammenhängen. Beispielsweise führen Mängel in der Dachdeckung i. d. R. zu Holzzerstörung. Dies kann zum Versagen der betroffenen Verbindungen und/oder Tragglieder führen. Solche Schäden können wiederum Instandsetzungen erforderlich machen. Im vorgestellten Beurteilungsschema werden die einzelnen Kriterien entkoppelt betrachtet. Für den Tragwerkszustand positive oder negative Effekte aus dem Zusammenwirken der Kriterien können hier vom Gutachter berücksichtigt werden.

Dachverschneidungen (Ichsen, Grate, Walme) sind häufig Problembereiche in historischen Dachstühlen, da hier konstruktive Mängel und Schäden oftmals gleichzeitig und gehäuft auftreten (siehe Bild 18). Die in diesen Bereichen ebenfalls ganz wesentlich zur tatsächlichen Lastabtragung beitragende Dachlattung kann im Punkteschema berücksichtigt werden (vgl. [17]).

Weiter können hier z. B. geringe Spannweiten oder Gesamtabmessungen eines zu beurteilenden Dachwerks berücksichtigt werden.



Bild 18. „Abgesoffener“ First im Bereich einer Dachverschneidung (vgl. [2]).

Fig. 18. Damaged ridge in the area of the intersection of roof surfaces (see [2]).

4.5 In-Situ-Probebelastungen

Wenn in einem Zeitraum mit konstantem Tragwerkszustand mindestens eine nachweisbar außergewöhnlich große Einwirkung (meteorologisch dokumentiert) aufgetreten ist und infolgeder keine Schäden verursacht wurden, können daraus Rückschlüsse auf den Zustand des Tragwerks gezogen werden. Alternativ kann auch eine definierte Probebelastung aufgebracht werden. Die Art und Größenordnung muss dabei den realen, äußeren Einwirkungen möglichst gut entsprechen. Die Auswirkungen auf das Tragwerk sind zu messen und zu bewerten. (vgl. [33])

4.6 Vorgehensweise bei Unsicherheiten in der Beurteilung

In diesen Fällen sind (siehe auch Bild 6) weiterführende Untersuchungen erforderlich. Diese sind z. B.:

- eine statische Analyse des Tragwerks erstellen = Bewertung der Tragsicherheit (beziehungsweise Standsicherheit)
- weitere Fachmeinungen hinzuziehen
- Bauwerksmonitoring

4.7 Beurteilung des Tragwerks nach dem Instandsetzungsaufwand

Die Zustandsbeurteilung korreliert nicht unbedingt mit dem zu erwartenden Instandsetzungsaufwand und den damit verbundenen Kosten. Eine mögliche Einteilung, die sich gut mit den Noten der Zustandsbeurteilung kombinieren lässt, zeigt Bild 19. Beispielsweise ist eine Beurteilung mit „5A“ – es liegt Gefahr im Verzug vor, der Instandsetzungsaufwand ist allerdings nur gering – denkbar.

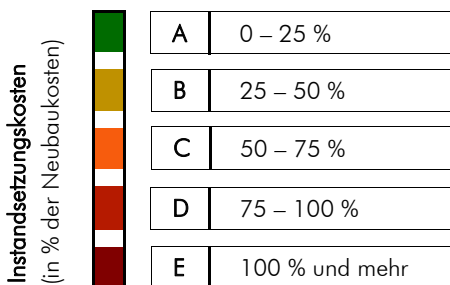


Bild 19. Illustration der Beurteilung, basierend auf der Größenordnung der Instandsetzungskosten im Verhältnis mit den zu erwartenden Neubaukosten.

Fig. 19. Illustration of evaluation steps based on percentage of maintenance costs compared to costs of a new building.

5 Beurteilungsbeispiele

5.1 Nordtrakt von Schloss Eggenberg

Bezeichnung: Kehlbalkendach mit zweifach liegendem und asymmetrisch einfach stehendem Stuhl sowie Hahnenbalken

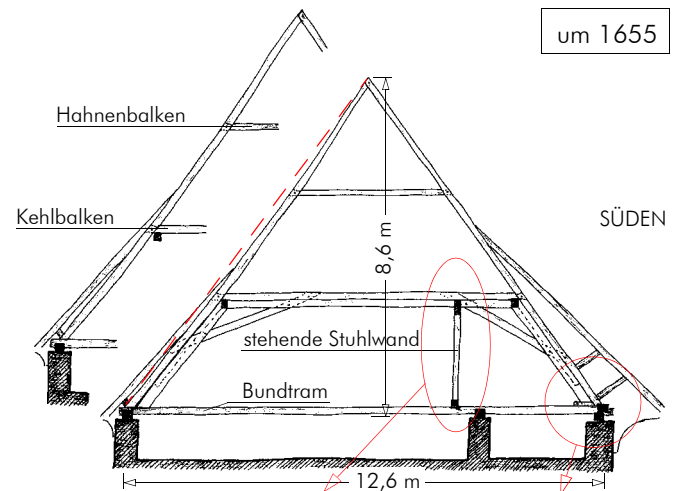


Bild 20. Voll- und Leergespärre sowie Detailpunkte. Fig. 20. Principal and filling frame as well as details.

Beurteilung

- 1... Schadensfolgeklasse: Museum
- Tragsicherheit:
- 0... [K1] hoch
- 0... [K2] nur vereinzelte Teilgewindeschrauben, sonst seit mindestens 50 Jahren unverändert
- 0... [K3] nicht vorhanden oder sichtbar
- 0... [K4] nicht vorhanden oder sichtbar
- 0... [K5] keine
- 0,5... [K6] Aufgrund der stehenden Stuhlwand tragen die liegenden Stuhlsäulen auch bei symmetrischer Einwirkung deutlich unterschiedlich große Normalkräfte ab. Dies führte zu einer erheblichen asymmetrischen Verformung des gesamten Tragwerks Richtung Süden.
- 0... [K7] keine
- 0,5... [K8] Viele Sparren- und Stuhlsäulenfußpunkte mussten in der Vergangenheit (älter 50 Jahre) instandgesetzt werden. So bestehen von Stuhl zu Stuhl unterschiedliche Ausbildungen, teils mit Sattelhölzern, Laschen und/oder schmiedeeisernen Klammern. Viele dieser Maßnahmen sind aus heutiger Sicht nicht fachgerecht. Klaffende Fugen und verbogene Klammern lassen Zweifel über die Tragsicherheit dieser Instandsetzungen gerechtfertigt erscheinen.
- 0... In-Situ-Probebelastungen: keine

2... Summe

Es liegt Handlungsbedarf bei der nächsten Erneuerung der Dachdeckung vor.

5.2 Hofgasse 10A

Bezeichnung: Kehlbalkendach mit asymmetrisch zweifach liegendem Stuhl und Fehlsparren

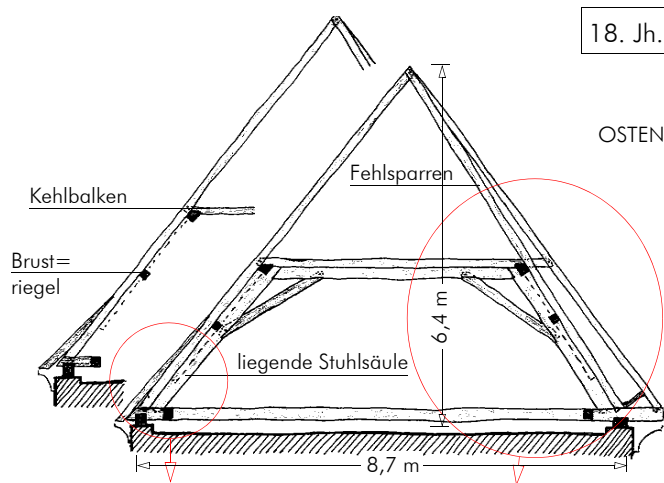


Bild 21. Voll- und Leergespärre sowie Detailpunkte.
Fig. 21. Principal and filling frame as well as details.

Beurteilung

0,5... Schadensfolgeklasse: Wohnbau

Tragsicherheit:

0... [K1] hoch

1... [K2] Auf der westlichen Dachseite wurden vor wenigen Jahren zahlreiche Fußpunkte nicht fachgerecht instand gesetzt. Seither fehlen in diesen Bereichen die Sparrenfußpunkte, durchgehende Mauerbänke und Wechselbalken. Ein Bundtrankkopf wurde infolge des Einbaues einer neuen Mauerbank deutlich geschwächt.

1... [K3] Das nordseitige Vollgespärre ist dreiseitig in die Feuermauer eingemauert. Ein Stuhlsäulenfußpunkt war durch Pilzbefall nicht mehr tragfähig und ist mit einer einseitigen Klammer nicht fachgerecht instandgesetzt worden. Zu einem Versagen kam es nicht, da die vom Rähm eingeleiteten Kräfte direkt ins Mauerwerk weitergeleitet werden.

0... [K4] nicht vorhanden oder sichtbar

0... [K5] keine

0... [K6] keine

0... [K7] keine

0... [K8] keine

0... In-Situ-Probebelastungen: keine

2,5... Summe

Es liegt Handlungsbedarf innerhalb der nächsten fünf Jahre vor. (Die Instandsetzung ist angedacht.)

5.3 Langhaus der Franziskanerkirche

Bezeichnung: Kehlbalkendach mit drei Kehlbalkenebenen, Streben, Hängesäule, Hängewand und Hängestreben, 1257 (vgl. [32]).

Von 1515 bis 1519 wurden die Gewölbe eingebaut und zu diesem Zweck alle Bundträme und Hängesäulen gekappt (siehe Bild 22, rot dargestellt). Als Ersatz wurden die Hängesäulen auf das Gewölbe abgestellt und drei stehende Stuhlwände (grün) eingebaut.

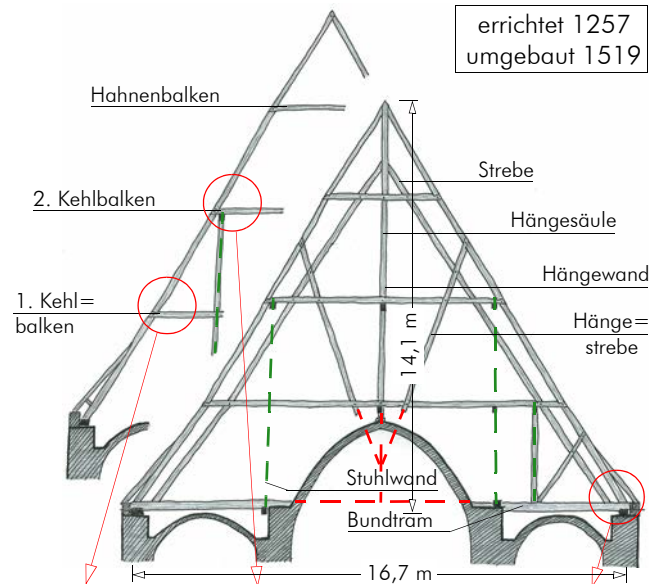


Bild 22. Voll- und Leergespärre sowie Detailpunkte.
Fig. 22. Principal and filling frame as well as details.

Beurteilung

1... Schadensfolgeklasse: Kirche

Tragsicherheit:

0... [K1] hoch

0... [K2] nicht in den letzten 50 Jahren

1,5... [K3] Rund die Hälfte der Streben- und Sparrenfußpunkte sind entweder infolge von Pilzbefall schwer geschädigt oder nicht fachgerecht instand gesetzt worden. Zahlreiche Sparren sind schwer geschädigt und/oder nicht fachgerecht instand gesetzt worden.

0,5... [K4] Zahlreiche Verbindungen haben versagt.

0... [K5] Da der Einbau der Gewölbe vor langer Zeit stattfand und ursprünglich keine Schäden auftraten, wird angenommen, dass kein konstruktiver Mangel vorliegt.

0,5... [K6] Zahlreiche Verbindungen klaffen.

0,5... [K7] Starke Verschmutzung des gesamten Tragwerks.

0... [K8] keine

0... In-Situ-Probebelastungen: keine

4... Summe

Es liegt Handlungsbedarf innerhalb der nächsten Monate vor. (Die Instandsetzung ist angedacht.)

5.4 Alte Universität

Bezeichnung: Kehlbalkendach mit zweistöckigem, zweifach liegendem Stuhl mit mittiger, hängewerksartig abgestrebter Hän- gesäule und Hahnenbalken.

Die Hängesäulen wurden nachträglich auf die mittlere Pfeiler- wand des obersten Geschoßes aufgekeilt.

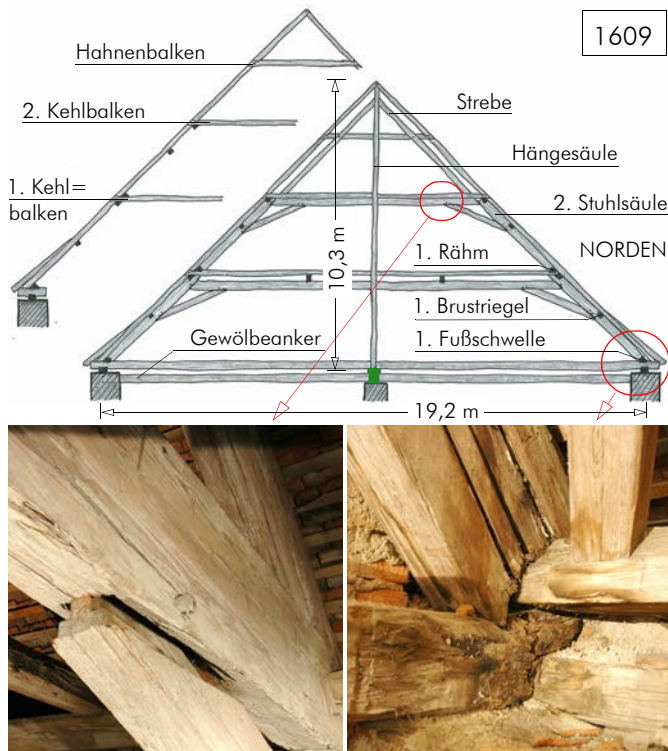


Bild 23. Voll- und Leergespärre sowie Detailpunkte.
Fig. 23. Principal and filling frame as well as details.

Beurteilung

- 1... Schadensfolgeklasse: Veranstaltungsbau
Tragsicherheit:
- 0... [K1] hoch
0... [K2] nicht in den letzten 50 Jahren
1,5... [K3] An der nordseitigen Dachfläche trat an einem dem Kamin angrenzenden, Vollgespärre schwerwiegende Holzerstörung infolge Pilzbefall auf. Dieser Schaden betrifft die statisch wichtigen Bauteile Bundtram (als Zugband wirkend) und die liegende Stuhlsäule. Weitere Schäden – jedoch mit geringerem Ausmaß – existieren an mehreren Fußpunkten.
- 1... [K4] Infolge der Substanzzerstörung (siehe [K3]) versag- ten die betroffenen Verbindungen.
0... [K5] Aufgrund der hier möglichen Lastumlagerungen (ausgeprägte Stuhlwände, als Druckstütze wirksame Hängesäule) sind einzelne Bundträme für das Gesamt- tragfähigkeit nicht unbedingt erforderlich.
0,5... [K6] Die Kopfbandanschlüsse jener Vollgespärre, deren Fußpunkte geschädigt sind, weisen zum Teil erhebliche Klaffungen auf. Die Druckriegel dieser Gespärre sind deutlich sichtbar verformt.
- 0... [K7] keine
0... [K8] keine
0... In-Situ-Probebelastungen: keine
- 4... Summe

Es liegt Handlungsbedarf innerhalb der nächsten Monate vor. (Das Tragwerk wurde bereits instand gesetzt.)

5.5 Osttrakt von Palais Herberstein

Bezeichnung: Kehlbalkendach mit asymmetrisch zweifach liegendem Stuhl und einseitigem Dachvorstand

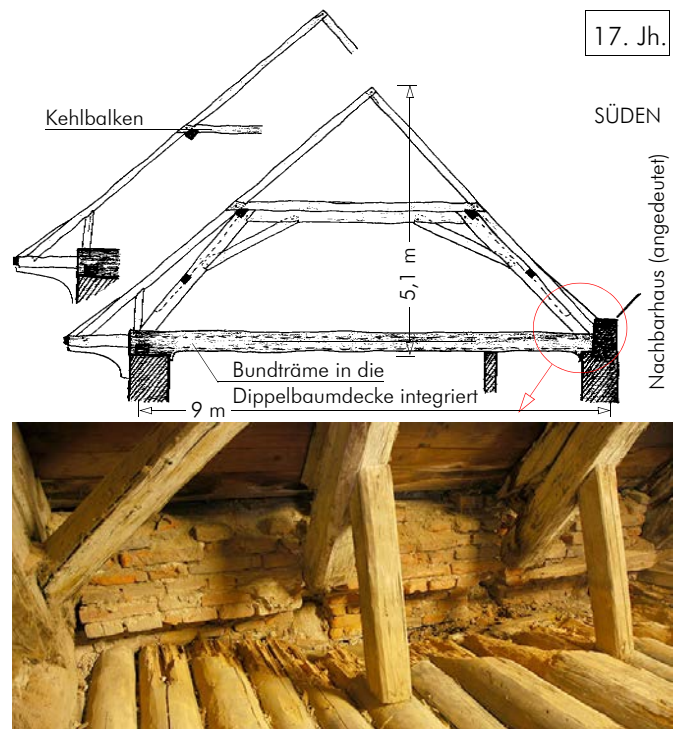


Bild 24. Voll- und Leergespärre sowie Detailpunkte (nach Ent- fernung der Beschüttung).

Fig. 24. Principal and filling frame as well as details after re- moval of fillings.

Beurteilung

- 1... Schadensfolgeklasse: Museum
Tragsicherheit:
- 0... [K1] hoch
0... [K2] nicht in den letzten 50 Jahren
1,5... [K3] In einem Bereich von rund 10 m Länge sind acht von neun Sparrenfußpunkten infolge von Pilzbefall zer- stört. Die eingebauten Sparrenknechte sind nicht fachge- recht, da sie keine Horizontalkräfte in die ebenfalls schwer geschädigten Bundträme übertragen können. Die auftretenden Horizontalkräfte an den Fußpunkten müssen von Mauerwerk und Dachwerk des Nachbarhauses abge- leitet werden.
- 1... [K4] siehe [K3]
1... [K5] Das Kehlbalkendreieck ist mangels Zugband auf großer Länge nicht kraftschlüssig geschlossen.
0,5... [K6] zahlreiche Gespärre sind deutlich sichtbar Richtung Süden verdreht/verkippt
0,5... [K7] ursprünglich starke Verschmutzung des Tragwerks
0... [K8] keine
0... In-Situ-Probebelastungen: keine
- 5... Summe

Es liegt Gefahr im Verzug vor. (Das Tragwerk wurde bereits instand gesetzt.)

6 Resümee

Im Falle von Schäden, Zweifeln an der Tragsicherheit oder Nutzungsänderungen eines Tragwerks sollte der Zustand der Tragstruktur erfasst und beurteilt werden. Nur auf Grundlage einer solchen Beurteilung kann die weitere Vorgehensweise effektiv geplant werden.

Die tatsächliche Tragsicherheit eines Tragwerks ist zeitabhängig und nur im Versagenspunkt bekannt. Im vorliegenden Beitrag wird ein Schema vorgestellt, das die Einschätzung des Zustands historischer Dachtragwerke erleichtert. Der Zustand eines Tragwerks wird in Anlehnung an Richtlinien für Brückenprüfungen in Form einer Note angegeben. Diese Note ergibt sich aus der Vergabe von Punkten für die Schadensfolgeklasse, der Tragsicherheit und eventuellen Funktionsprüfungen. Im Rahmen der Ermittlung der Tragsicherheit finden alle wesentlichen Aspekte, die historische Dachwerke von Ingenieurholzbauten unterscheiden, Berücksichtigung. So führen beispielsweise einzelne geschädigte oder versagende Bauteile i. d. R. nicht zum Systemversagen historischer Dachwerke. Vielmehr bleibt die Tragfähigkeit infolge von Lastumlagerungen lange Zeit erhalten.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „D(N)achhaltigkeit Graz“ wurden mit dem vorgestellten Schema zahlreiche historische Dachwerke nachvollzieh- und dokumentierbar beurteilt. Auf Grundlage dieser Beurteilungen wurden die Instandsetzungsproritäten festgelegt.

Die erfolgreiche Anwendung des Konzeptes ist an folgende Voraussetzungen gebunden:

- Voraussetzung für die Beurteilung ist ein erster Befund, bestehend aus Bestands- und Schadenserfassung sowie eine Schadensanalyse. Hierzu werden einzelne typische Schwachpunkte und Schadensursachen aufgezeigt und eine systematische Vorgehensweise vorgestellt. Für diesen ersten Befund sind erfahrene Gutachter unabdingbar.
- Viele der angeführten Kriterien sind nicht vollkommen trennscharf, sodass auch bei der Vergabe der Punkte die Erfahrung des Gutachters gefordert ist. Die Erprobung des Schemas durch sachkundige Ziviltechniker und Studenten (im Rahmen der Lehrveranstaltung *Bestandsanalyse und Instandhaltung von Holzkonstruktionen* an der TU Graz) ergab, dass die Ergebnisse der Beurteilungen um maximal +/- 0,5 Punkte voneinander abwichen.

Das Konzept wurde für die im Raum Graz zwischen dem 13. und 19. Jh. errichteten Dachwerke entwickelt. Bei der Anwendung des Schemas in anderen Regionen sind die regionalen Besonderheiten zu berücksichtigen.

7 Danksagung

Dieser Beitrag wurde im Rahmen der Bearbeitung des Forschungsprojektes "D(N)achhaltigkeit Graz" (finanziert vom Zukunftsfond Steiermark und der Stadt Graz) an der Technischen Universität Graz, Institut für Holzbau und Holztechnologie, erstellt.

Herrn DI Heinz J. Ferk wird für bauphysikalische Beratung im Zuge der Erstellung des Beitrags gedankt.

8 Literatur

- [1] BARTHEL Rainer ; BERGELMANN Tim ; ECKL Michael: *Ressourcenschonende Instandsetzung alter Dachtragwerke – Nutzung des Laseraufmaßes und objektorientierten Modellierung*. München, 2006. - Forschungsbericht
- [2] BUCHHÄUSL Bertram: *Bestandserfassung, Modellbildung und Tragverhalten historischer Dachstühle am Beispiel des Stiftes Zwettl*. Graz, Erzherzog-Johann-Universität Graz, Fakultät für Bauingenieurwissenschaften, Dipl.-Arb., 2010
- [3] EHLBECK Jürgen ; GÖRLACHER Rainer: *Zur Problematik bei der Beurteilung der Tragfähigkeit von altem Konstruktionsholz*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 1990, Nr. 2, S. 117–121
- [4] ERLER Klaus: *Alte HolzBauWerke : Beurteilen und Sanieren*. 3. Aufl. Neufassung. Berlin : Huss-Medien GmbH Verlag Bauwesen, 2004. - ISBN 3-345-00864-5
- [5] FRITZEN Klaus: *Denkmalpflege : Betrachtungen aus aktuellem Anlass*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2006, Nr. 10, S. 1
- [6] GÖRLACHER Rainer ; et al: *Hölzerne Tragwerke : Untersuchungen und Beurteilen*. Reihe B. Karlsruhe : Universität Karlsruhe, 1996. - Sonderforschungsbericht 315
- [7] GÖTZ Jürgen: *Außergewöhnliches, gotisches Kehlriegeldach*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2007, Nr. 10, S. 16–20
- [8] HUCKFELDT Tobias ; SCHMIDT Olaf: *Hausfäule- und Bauholzpilze : Diagnose und Sanierung*. 1. Auflage. Verlagsgesellschaft Müller, 2006. - ISBN-10: 3481021429
- [9] HÜBNER Ulrich: *Abschätzung der Zuverlässigkeit des Dachtragwerks des Wasserschlosses Ollendorf unter Berücksichtigung streuender Einflüsse von Einwirkungen und Materialkennwerten und Erarbeitung von Vorschlägen zum Sanierungskonzept hinsichtlich baustatischer Erwägungen*. Weimar, Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Dipl.-Arb., 2000
- [10] IBOLD Stefan: *Sanieren im Dach- und Holzbau : Grundlagen - Anforderungen - Beispiele*. Köln : Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, 2010. - ISBN 978-3-481-02680-6
- [11] KEMPE Klaus: *Dokumentation Holzschädlinge*. 2. Auflage : Fraunhofer Irb Verlag, 2004. - ISBN-10: 3345007754
- [12] KOLLMANN Franz: *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. 2. Auflage. 1. Band. Springer-Verlag, 1951
- [13] KRAFT Udo ; PRIBBERNOW Doreen: *Handbuch der Holzprüfung : Anleitungen und Beispiele*. 1. Auflage : Vbt Verlag Bau u. Technik, 2006. - ISBN-10: 3764004592
- [14] LAND STEIERMARK (Hrsg.) ; *Landesgesetzblatt : Steiermärkisches Baugesetz*, Juni 2008
- [15] LISSNER K. ; et al: *Beurteilung instandsetzungsbedürftiger Holzkonstruktionen und Vorschläge zur verstärkten Anwendung von Holz*. Fraunhofer Irb Verlag, Forschungsbericht, 1993
- [16] MEISEL Andreas: *Historische Dachstühle: Tragsysteme, Bestandserfassung, statische Analyse und Sanierung mit flächenhaften Holzwerkstoffen*, Erzherzog-Johann-Universität Graz, Fakultät für Bauingenieurwissenschaften, Dipl.-Arb., 2009
- [17] MEISEL Andreas ; MOOSBRUGGER Thomas ; SCHICKHOFER Gerhard: *Der Anteil des Tragvermögens der Dachlattung an der globalen Lastabtragung von Dachtragwerken*. In: *Bautechnik*, Berlin: Verlag Ernst & Sohn 2010, Nr. 6, S. 331–338

- [18] MEISEL Andreas ; et al: *D(N)achhaltigkeit Graz*. Graz, 2011. - Forschungsbericht (unveröffentlicht)
- [19] MOORKAMP Wilfried: *Zum Kriechverhalten hölzerner Biegeträger und Druckstäbe im Wechselklima*. Leibniz Universität Hannover, Diss., 2002
- [20] MÖNCK Willi: *Schäden an Holzkonstruktionen*. 3. Aufl. Berlin : Huss-Medien GmbH Verlag Bauwesen, 1999. - ISBN 3-345-00668-5
- [21] NIER Joachim: *Experimentelle Festigkeitsuntersuchungen an alten Bauhölzern und daraus abgeleitete Erkenntnisnisse zur Tragfähigkeitsbeurteilung*. Technische Hochschule Leipzig, Diss., 1994
- [22] NORM DIN 1052 *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken*, Dezember 2008
- [23] NORM DIN 1076 - *Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen; Überwachung und Prüfung*, November 1999
- [24] NORM DIN EN 1990 *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung*, Dezember 2010
- [25] NORM Önorm EN 1995-1-1 *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten: Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*, 01. Jänner 2006
- [26] RAUTENSTRAUCH Karl: *Untersuchungen zur Beurteilung des Kriechverhaltens von Holzbiegeträgern*. Leibniz Universität Hannover, Diss., 1989
- [27] RINN Frank: *Konzept für Zustandsanalysen von Holzkonstruktionen*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2006, Nr. 10, S. 26–33
- [28] RI-EBW-PRÜF: *Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076*, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, November 2011
- [29] RUG Wolfgang ; SEEMANN Axel: *Festigkeit von Altholz*. In: *bauen mit holz, Fachzeitschrift für den konstruktiven Holzbau und Ausbau*, Bruderverlag (1989), Nr. 10, S. 696–699
- [30] RVS (Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen) *Arbeitspapier Nr. 12 : Objekts- und Bauteilbewertung bei Brückenprüfungen*, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, 1. August 2009
- [31] SCHNEIDER Jörg ; SCHLATTER Hans Peter: *Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen : Grundwissen für Ingenieure*. 2. Auflage. Zürich: vdf Hochschulverlag, 1996. - ISBN-10: 3-7281-2167-3
- [32] SCHWEIGERT Horst: *Dehio Handbuch Graz*. Wien : Verlag Anton Schroll & Co, 1979. - ISBN 3-7031-0475-9
- [33] STEFFENS Klaus ; et al: *Experimentelle Tragsicherheitsbewertung von Bauwerken : Grundlagen und Anwendungsbeispiele*. Ernst & Sohn Verlag Berlin, 2002. - ISBN 3-433-01748-4
- [34] STUDIENGEMEINSCHAFT HOLZLEIMBAU e. V. (Hrsg.) ; BLASS Hans Joachim (Bearb.) ; et al: *Leitfaden zu einer ersten Begutachtung von Hallentragwerken aus Holz*. Juli 2006

Autoren dieses Beitrags:

DDipl.-Ing. Andreas Meisel*, Dipl.-Ing. Gregor Silly, DDipl.-Ing. Thomas Moosbrugger**, Dipl.-Ing. Heinz J. Ferk***, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Schickhofer, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz, Inffeldgasse 24, 8010 Graz, Österreich

* Dissertant an der TU Graz, Mitarbeiter von WK Consult Hamburg

** Dissertant an der TU Graz, Mitarbeiter der Rubner EBG GmbH, Kiens in Südtirol

*** Institut für Hochbau und Bauphysik, Technische Universität Graz, Inffeldgasse 24, 8010 Graz, Österreich

4 Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungskonzepte

Dieses Kapitel befasst sich mit der, nach einer ordnungsgemäß durchgeführten Bestandserfassung und Schadensanalyse, folgenden und zwingend notwendigen Ausarbeitung der Instandhaltungs- und/oder Instandsetzungskonzepte. Diese sind für jedes Bauwerk individuell auszuarbeiten und dem vorliegenden Gebäudezustand anzupassen. Im Folgenden werden Instandsetzungskonzepte für häufig auftretende Schäden an historischen Dachtragwerken vorgeschlagen. Weiters wird die Denkmalpflege in Österreich sowie international in ihren Grundzügen erläutert, da historische Gebäude zum Teil auch unter Denkmalschutz stehen und dieser einen wesentlichen Einfluss auf die möglichen Aus- und Durchführungen von Instandsetzungen haben kann (vgl. GIEBELER U. A. (2008); KÖNNER ; WAGENBLAST (2001); LUTZ U. WESSELKAMP (2005); MADER (1991); MEISEL U. A. (2013B); MÖNCK (1999); TICHELMANN U. A. (1993 – 1)).

4.1 Begriffsdefinitionen

Sämtliche Begriffsdefinitionen zum Thema Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungskonzepte finden sich unter "Fachterminus / Begriffsdefinition" S. 2.

4.2 Instandsetzungskonzepte und deren Vorgehensweise

Da die Vorgehensweise bei der Wahl des geeigneten Instandsetzungskonzeptes wesentlich die Nachhaltigkeit der Instandsetzung selbst beeinflusst, wird im Folgenden näher darauf eingegangen. Um historische Bauwerke auch für kommende Generationen erhalten zu können ist es nötig, diese stets instand zu halten. Daher sind Dachtragwerke regelmäßigen Inspektionen und Wartungen zu unterziehen (z. B. nach einem Starkregenereignis Kontrolle der Dichtigkeit der Dachhaut). Durch diese regelmäßigen Inspektionen werden in weiterer Folge Indikatoren, welche Schäden ankündigen, frühzeitig erkannt und das Schadensausmaß kann effektiv verringert werden. Dadurch können gegebenenfalls noch auftretende Instandsetzungskosten wesentlich reduziert werden (vgl. TICHELMANN U. A. (1993 – 1)).

Sind bereits Schäden aufgetreten, sind diese so bestandsschonend wie möglich und nach ihrer Dringlichkeit (lt. erstellter Zustandsanalyse, vgl. Abschnitt 3.6), fach- und sachgerecht instand zu setzen. Dabei soll die vorhandene Bausubstanz effektiv genutzt und das bestehende statische System wenn möglich beibehalten werden (MEISEL U. A. (2013B)).

Zur Instandsetzung historischer Dachtragwerke gibt es viele unterschiedliche Maßnahmen und Konzepte, welche wiederum von zahlreichen Faktoren beeinflusst werden können. Diese Faktoren können die Art, der Umfang oder die Lage der Schäden, aber auch Auflagen der Behörden (z. B. Denkmalschutzbehörde) oder die Fertigkeiten und Möglichkeiten der ausführenden Firma sein (vgl. MEISEL U. A. (2013B)).

Grundsätzlich ist zwischen denkmalgeschützten und profanen, nicht denkmalgeschützten Bauwerken zu unterscheiden. Auf den Bereich der Denkmalpflege wird im Abschnitt 4.3 näher eingegangen. Bei der Erarbeitung von Instandsetzungskonzepten können nach MEISEL U. A. (2013B) drei grundlegende Vorgehensweisen unterschieden werden: Die „Entlastung“, die „Reparatur“ sowie die „statische Sicherung“. Bei den ersten beiden Vorgehensweisen bleibt das statische System erhalten, bei der „statischen Sicherung“ wird in das bestehende statische System eingegriffen und dieses verändert. Da historische Dachtragwerke oft unterschiedliche Schädigungsarten und -ausprägungen aufweisen, kommt es häufig vor, dass die erwähnten Vorgehensweisen kombiniert werden und es somit zu Mischlösungen kommt.

Abb. 4.1 zeigt eine mögliche Unterscheidung nach Vorgehensweisen bei der Instandsetzung und der daraus resultierenden Auswirkungen auf (vgl. MÖNCK (1999); MEISEL U. A. (2013B)).

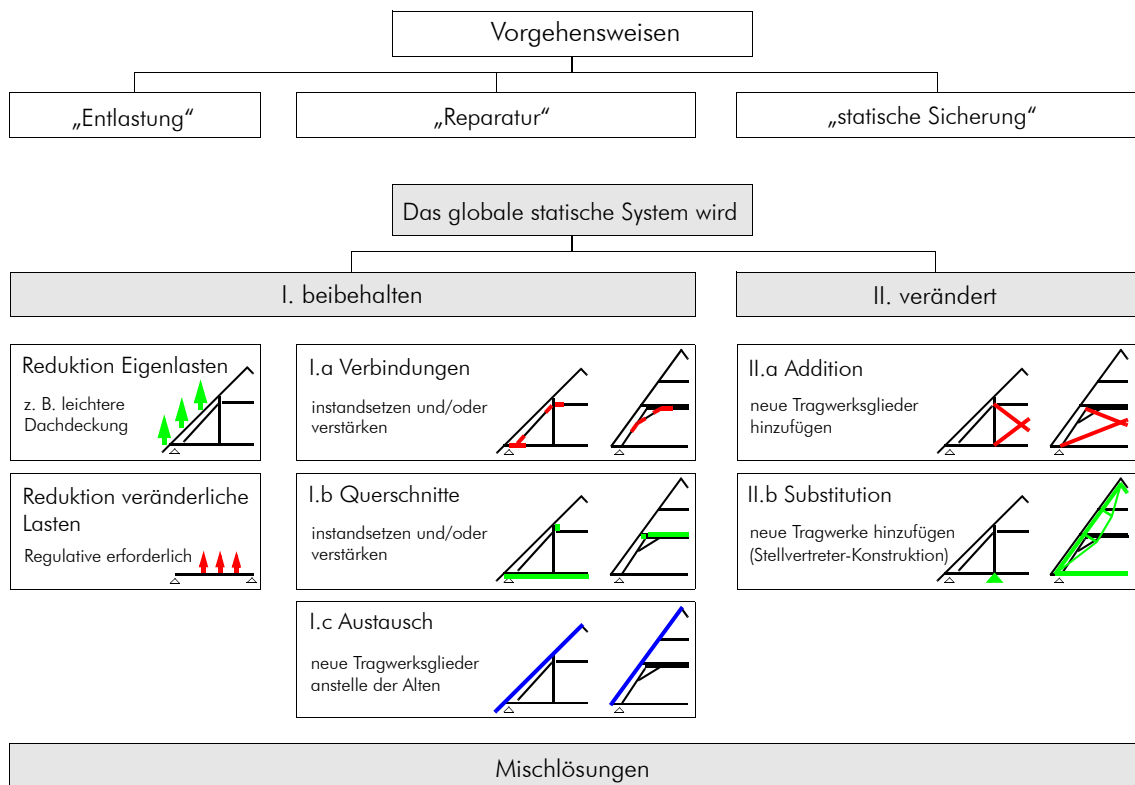


Abb. 4.1: Gliederung möglicher Vorgehensweisen bei Instandsetzungskonzepten (vgl. MEISEL U. A. (2013B))

4.2.1 Beispiele zu den Vorgehensweisen

Die erste Gruppe stellt die Entlastung des Dachtragwerkes dar. Möglichkeiten, das Eigengewicht des Dachtragwerkes zu verringern, könnten die Entfernung von gegebenenfalls vorhandenem Bauschutt sowie das Aufbringen einer neuen, leichteren Dachdeckung sein. Durch das Entfernen des schweren Bauschuttes können Rückverformungen stattfinden, welche wiederum zu Schäden an der Deckenuntersicht des darunter liegenden Geschoßes führen können.

Ist die Einbringung zusätzlicher Lasten geplant (z. B. Haustechnikanlagen), wird empfohlen, hierfür separate Tragwerke einzubauen. Dabei ist zu beachten, dass kunsthistorische Werte verloren gehen bzw. Anforderungen der Denkmalpflege tragend werden können.



Abb. 4.2: Links: Einbauten der Klimaaggregate auf Bundtrame abgestellt (Alte Universität – Graz); Rechts: Warnhinweistafel zur maximalen Belastungsgrenze (Zeughaus – Graz)

Eine weitere Möglichkeit stellt die Reduktion der Nutzlasten dar. Hier kann der Bauherr eine maximal zulässige Nutzlast zur Reduktion der veränderlichen Lasten ausweisen (z. B. Warnschilder). In diesem Fall sollte die ÖNORM B 1991-1-1 berücksichtigt werden, welche bei einem als nicht ausbaubaren, begehbaren Dachboden, die Nutzlast auf den charakteristischen Wert von $1,5 \text{ kN/m}^2$ festlegt.

Die nächste große Gruppe der möglichen Vorgehensweisen stellt die Reparatur dar. Sie umfasst sämtliche Instandsetzungsmaßnahmen bereits geschädigter Verbindungen oder Bauteile. Die Schädigungen in diesem Bereich müssen nicht zwingend aufgrund äußerer Einwirkung entstanden sein (z. B. Schädigung durch holzerstörende Pilze), sondern können durchaus aufgrund von Quellen und Schwinden und/oder Verdrehungen bzw. Verformungen der Holzbauteile (z. B. Klaffungen an Verbindungen) resultieren.



Abb. 4.3: Links: Klaffung an einem Kopfband – Spannriegel Anschluss (Alte Universität, Graz), Rechts: Verdrehung eines Sparren an einem Kehlbalken – Sparrenanschluss (Ferdinandeum, Graz)

Eine weitere Vorgehensweise in der Gruppe der Reparaturen stellt der Austausch von Konstruktionsgliedern dar. Dies eignet sich vor allem für Bauteile, welche nur in einem vergleichsweise geringem Ausmaß in das Dachtragssystem eingebunden sind und somit relativ einfach ausgetauscht werden können (z. B. Mauerbänke oder Sparren; vgl. MEISEL U. A. (2013A)).

Die letzte Gruppe stellt die statische Sicherung dar. Hier wird in additiven und subsidiären Instandsetzungskonzepten unterschieden. Diese Art von Instandsetzungen werden dem bestehenden Tragwerk beigestellt, dienen nur zur deren Entlastung und können jederzeit wieder entfernt werden.

Bei der Addition werden dem bestehenden Dachtragwerk wegen konstruktiven Mängeln weitere Bauteile hinzugefügt, um die Lastabtragung und schlussendlich die Tragwirkung des Systems wiederherzustellen bzw. zu sichern. Dies kann z. B. mit Hängewerkskonstruktionen oder zusätzlichen Zuggliedern (z. B. Stahlseilen) zur Aussteifung des Tragwerks realisiert werden (vgl. Abb. 4.4).



Abb. 4.4: Links: doppeltes Hängewerk als additive Instandsetzungsmaßnahme (Landeszeughaus, Graz);
Rechts: Instandsetzung einer Kamindurchführung mittels additiver Bauteile (Lessingstrasse 27, Graz)

Ein Beispiel für eine substituäre Instandsetzung wären zusätzliche Unterstützungen der Bundträme um die etwaigen starken Verformungen zu begrenzen und/oder einen Bruch zu verhindern (vgl. MADER (1991); MEISEL U. A. (2013A); TICHELMANN U. A. (1993 – 1)).

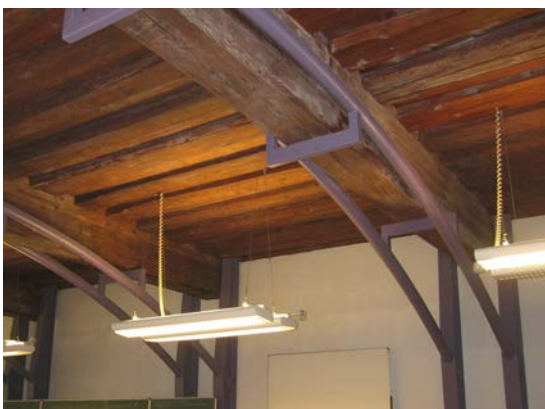
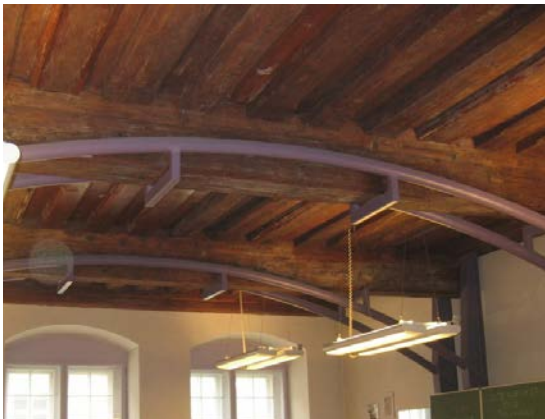


Abb. 4.5: substituäre Instandsetzung mittels Unterfangung der Deckenbalken einer Holztramdecke (Alte Universität, Graz)

4.2.2 Grundsätze

Im Folgenden wird eine Übersicht zu den, zusätzlich zu den in den Eurocodes geforderten, Grundsätzen bei der Handhabung mit historischen Holztragwerken angeführt, welche bei der Ausarbeitung der Konzepte zu berücksichtigen sind:

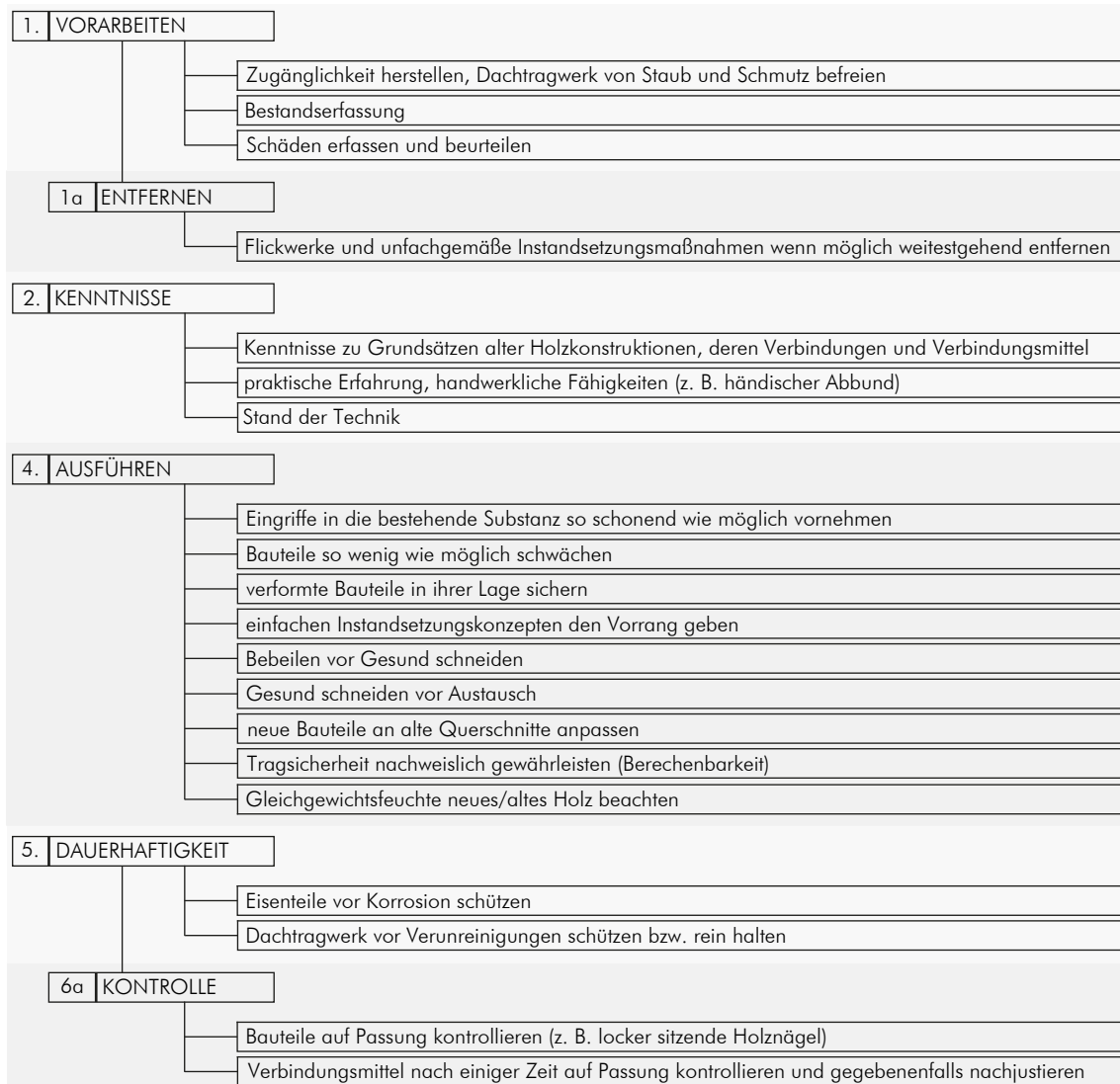


Abb. 4.6: Übersicht zu den Grundsätzen (vgl. ABELS (2013); ANSORGE U. GEBURTIG (2008); ERLER (2004); LISSNER ; RUG U. A. (2000); MEISEL (2009A); MÖNCK (1999); PETZET U. MADER (1993))

Im Folgenden werden ein paar Beispielbilder zu diesen Grundsätzen angeführt und weiter ein Beispiel zu einer unfachgemäßen Instandsetzung gegeben.



Abb. 4.7: Links: bebelte Stuhlsäule (Schloss Moosbrunn, Graz); Rechts: loser Holznagel (Franziskanerkirche, Graz)



Abb. 4.8: Links: Flickwerk (Palais Herberstein, Graz); Rechts: Schmutz und Taubenkot (Zeughaus, Graz)

Weiter wird nun als Ergänzung zu den Grundsätzen, beispielhaft eine Instandsetzung mittels eines stehenden Blattes berechnet, da es hier in der Praxis häufig zu Problemen bei der Ausführung kommt. Abb. 4.9 zeigt eine solche unfachgemäße Instandsetzung aus der Praxis.

Bei dem vorliegenden Beispiel wurde ein Fußpunkt in Stand gesetzt und dabei ein Teil des Bundtrames erneuert. Der neue Balken wurde mittels eines liegenden Blattes mit dem Altbestand verbunden. Die Überblattungslänge beträgt etwa 30 cm und die Verbindung wurde mit drei Stück Holzschrauben mit Teilgewinde ausgeführt. Die vierte Schraube brach vermutlich beim Einschrauben ab und wurde nicht mehr ersetzt.



Abb. 4.9: unfachgemäße Instandsetzung eines Bundtrames mittels stehendem Blatt (Anonym)



Abb. 4.10: Abmessungen des Zapfens der Sparren – Bundtramverbindung zur Abschätzung der Abmessungen des Gesamtquerschnittes (Anonym)

Zur groben Überprüfung der möglichen Lastübertragung auf Zug im Bundtram, werden im ersten Schritt die Lasten zusammengestellt. Als ungünstigster Lastfall wird die Belastung aus Eigengewicht, ständige Lasten aus Dachaufbau sowie Vollbelastung aus Schnee gewählt.

Lasten: Eigengewicht $g_{k,1} \sim 0,25 \text{ kN/lfm}$
ständige Last aus Dachaufbau $g_{k,2} = 1,06 \text{ kN/m}^2$
Schneelast „voll“ $s_{k,voll} = 1,45 \text{ kN/m}^2$

Lt. Überlagerungsvorschrift ÖNORM B 1991-1-1 berechnet man die Designlast wie folgt:

$$1,35 * (g_{k,1} + g_{k,2}) + 1,5 * s_{k,voll}$$

Im zweiten Schritt wurde ein zweidimensionales gelenkiges statische Modell aufgestellt und die Normalkraft im Bundtram unter Volllast berechnet.

Dazu wurden folgende Annahmen getroffen:

Spannweite (L)	= 6,0 m
Dachneigung (α)	= 45 °
Sparrenabstand (e)	= 1,0 m
Querschnitt Bundtram (b/h)	= 160/180
Querschnitt Sparren (b/h)	= konisch verlaufend, 160/160 auf 145/145

Die Berechnung ergab eine maximale Normalkraft im Bundtram von etwa 7,0 kN (vgl. Abb. 4.11). Aufgrund von unvermeidbaren Exzentrizitäten im Bereich der Sparren – Bundtramverbindungen sowie der Lagerung des Bundtrames auf der Mauerbank, treten in Bundträmen immer auch Biegemomente auf (diese wurden in diesem Beispiel vernachlässigt).

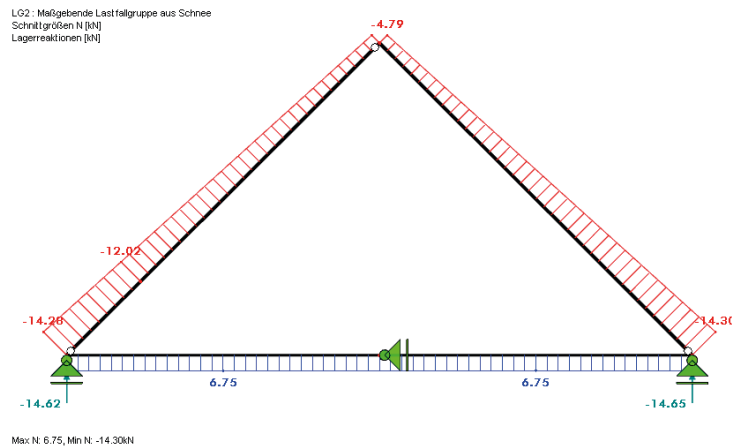


Abb. 4.11: Normalkraftverlauf im Vollgespärre unter Volllast

Plausibilitätskontrolle (vertikale Auflagerkraft):

$$1,35 * (0,25 * (4 + 3) + 1,06 * 4) + 1,5 * (3 * 1,45) = 14,6 \text{ kN}$$

Da die Verbindungsmittel bei der ausgeführten Instandsetzung in einem Winkel $\alpha = 90^\circ$ Grad zur Faser eingeschraubt wurden, werden diese bei Zugkräften im Bundtram auf Abscheren beansprucht. Deshalb wird dieser Fall genauer untersucht. Eine Beanspruchung der Schraube auf Herausziehen bzw. Kopfdurchziehen aufgrund von zusätzlichen Nutzlasten (z. B. aus Begehung) wird im Folgenden vernachlässigt.

Die folgenden Nachweise bzw. Bemessungen erfolgen nach der Europäischen Technischen Zulassung ETA – 11/0190:2013, der EN 1995-1-1:2004 bzw. der enBR:2007.

Zur Berechnung wurden folgende Annahmen getroffen (vgl. Abb. 4.12):

Material:

- Vollholz C 24
- Nutzungsklasse 1, $k_{\text{mod}} = 0,90$ (KLED kurz)
- $\gamma_{M, \text{Vollholz}} = 1,30$
- $\gamma_{M, 1, \text{Stahl}} = 1,10$
- $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$
- Würth Teilgewindeschraube 6,0 x 130 mm
 - Nenn Durchmesser $d = 6,0 \text{ mm}$
 - Schaft Durchmesser $d_s = 4,4 \text{ mm}$
 - Kerndurchmesser $d_{Gk} = 3,9 \text{ mm}$
 - Kopfdurchmesser $d_h = 12,0 \text{ mm}$
 - Gewindelänge $l_g = 70,0 \text{ mm}$

Charakteristische Werte der Tragfähigkeiten lt. Europäische Technische Zulassung ETA – 11/0190:

- charakteristischer Wert des Fliemoments $M_{y,k} = 9,5 \text{ Nm} = 9500 \text{ Nmm}$
- charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit $f_{\text{tens},k} = 11,0 \text{ kN} = 11000 \text{ N}$

Zu Beginn werden die Mindestabstände lt. EN 1995-1-1:2009, Abschnitt 8.3.1.2 und Tabelle 8.2, wie in der Europäischen Technischen Zulassung ETA – 11/0190 verwiesen, überprüft.

Diese betragen:

Annahmen: nicht vorgebohrt ; $\rho_k \leq 350 \text{ kg/m}^3$; $\alpha = 0^\circ$ ($\alpha =$ Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung)

- in Faserrichtung $a_1 = (5 + 7 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 72 \text{ mm}$
- rechtwinkelig zur Faserrichtung $a_2 = 5 \cdot d = 30 \text{ mm}$
- belastetes Hirnholzende $a_{3,t} = (10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 90 \text{ mm}$
- unbelastetes Rand $a_{4,c} = 5 \cdot d = 30 \text{ mm}$

Wie auf Abb. 4.12 gut zu erkennen, wurden die Mindestabstände zum unbelasteten Rand hin teilweise nicht eingehalten und der Mindestabstand zum belasteten Hirnholzende unterschritten. Da die Schraube nahe dem Hirnholzende jedoch offensichtlich fehlt bzw. beim Hineindreuen eventuell abgebrochen ist, werden für die Berechnung nur drei Schrauben angesetzt. Weiter wird angenommen, dass die Schrauben etwa einen Zentimeter in das Holz versenkt wurden und die Ausführung fachgemäß erfolgte.

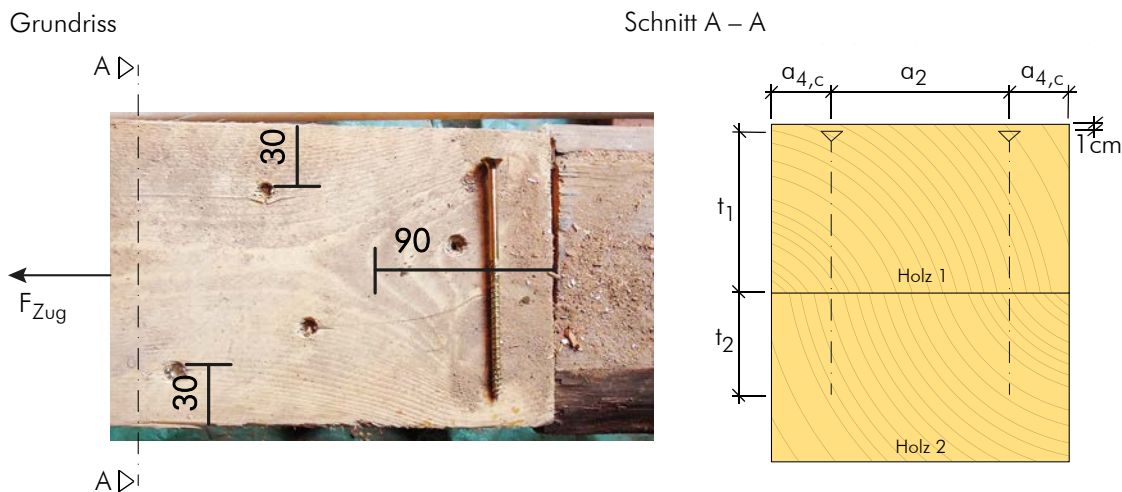


Abb. 4.12: Mindestabstände der Holzschrauben lt. enBR:2007

Nach der Johansen Theorie und der darauf basierenden Möller – Diagramme ermittelt man den maßgeblichen Versagensmechanismus wie folgt:

$$k_t = \frac{t_1}{t_2} = \frac{80}{50} = 1,6 \geq 1$$

$$\beta = \frac{f_{h,1,d}}{f_{h,2,d}} = \frac{f_{h,1,k}}{f_{h,2,k}} = 1,0$$

$$\text{mit } f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}}{2,5 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \dots \text{ lt. ETA – 11/0190:2013}$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot 350 \cdot 6^{-0,3}}{2,5 \cdot \cos^2 90 + \sin^2 90} = 16,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_M = \frac{t_1}{\sqrt{\frac{M_{y,d}}{f_{h,d} \cdot d}}} = \frac{90}{\sqrt{\frac{8636}{11,63 \cdot 6}}} = 8,09$$

mit:

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_{M,1,Stahl}} = \frac{9500}{1,1} = 8636 \text{ Nmm} \quad \text{und} \quad f_{h,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{h,k}}{\gamma_{M,Vollholz}} = \frac{0,9 \cdot 16,8}{1,30} = 11,63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Somit ergibt sich die maximal aufnehmbare Kraft R_d zu:

$$R_d = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{k_M} \cdot f_{h,d} \cdot t_1 \cdot d + \Delta R_d \quad \dots \text{ aufnehmbare Kraft auf Abscheren pro Verbindungsmittel}$$

Da es sich bei dieser Verbindung um eine einschnittige Holz – Holz Verbindung handelt, darf der Bemessungswert der Tragfähigkeit lt. enBR:2007 um einen Anteil ΔR_d erhöht werden. Aufgrund der teilweise unterschrittenen Mindestabstände und der wahllosen Aufteilung der Schrauben, wird diese Erhöhung in einem ersten Schritt jedoch vernachlässigt.

Somit folgt die aufnehmbare Kraft pro Verbindungsmittel zu:

$$R_d = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{k_M} \cdot f_{h,d} \cdot t_1 \cdot d = \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1 + 1}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8,09} \cdot 11,63 \cdot 50 \cdot 6 = 610 \text{ N}$$

und die Gesamttragfähigkeit der ausgeführten Verbindung auf Abscheren zu:

$$R_{d,ges} = n_{ef} \cdot R_d = 0,9 \cdot 3 \cdot 610 = 1647 \text{ N} \quad \dots \text{ mit } n_{ef} = 0,9 \cdot n$$

Nachweis der Tragfähigkeit:

$$E_d \leq R_d \quad \dots \quad 7,0 \text{ kN} \leq 1,65 \text{ kN} \quad \dots \text{ Nachweis nicht erfüllt!}$$

Somit würde diese Verbindung unter Volllast einen Ausnutzungsgrad von 425 % erreichen und nachweislich einer solchen Belastung nicht standhalten können.

Setzt man die Erhöhung um den Anteil ΔR_d aufgrund der einschnittigen Holz – Holz Verbindung an, ändert sich der Ausnutzungsgrad wie folgt:

$$\Delta R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} R_d \\ 0,25 \cdot R_{ax,d} \end{array} \right\}$$

mit:

$$R_{ax,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \begin{array}{l} f_{head,k} \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad \dots \text{ Kopfdurchziehen} \\ R_{ax,1} \quad \dots \text{ Herausziehen der Schraube aus dem Holzbauteil 1} \\ R_{ax,2} \quad \dots \text{ Herausziehen der Schraube aus dem Holzbauteil 2} \\ R_{t,u,k} \quad \dots \text{ Zugfestigkeit der Schraube} \end{array} \right. \\ R_{ax,1} \\ R_{ax,2} \\ R_{t,u,k} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$f_{head,k} = 13,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \dots \text{ lt. ETA – 11/0190:2013}$$

daraus folgt:

$$f_{head,k} \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 13,0 \cdot \frac{12^2 \cdot \pi}{4} = 1470 \text{ N}$$

$$R_{ax,i,k} = F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0,8} \quad \dots \text{gesamte axiale Tragfähigkeit auf Herausziehen}$$

mit:

$F_{ax,\alpha,Rk}$ = char. Wert der Ausziehtragfähigkeit einer Schraubengruppe bei einem Winkel α zur Faserrichtung

n_{ef} = effektive Anzahl der Schrauben ($n_{ef} = 0,9 \cdot n$)

k_{ax} = Faktor, der den Winkel α zwischen Schraubenachse und Faserrichtung berücksichtigt ($k_{ax} = 1,0$)

$f_{ax,k}$ = char. Ausziehparameter bei einer char. Rohdichte von 350 kg/m^3 ($f_{ax,k} = 11,5 \text{ N/mm}^2$)

l_{ef} = Einbindetiefe der Schraube im Holzbauteil

Die Gewindelänge l_g der Teilgewindeschraube beträgt 70 mm. Bei einer Einbindetiefe der Schraube im Holzbauteil 2 von $l_{g,2} = 50 \text{ mm}$, beträgt die im Holzbauteil 1 verbleibende Länge $l_{g,1} = 20 \text{ mm}$.

Holzbauteil 1:

$$R_{ax,1,k} = 1,0 \cdot 11,5 \cdot 6 \cdot 20 \cdot \left(\frac{350}{350}\right)^{0,8} = 1380 \text{ N} \quad \dots \text{ pro Verbindungsmittel}$$

Holzbauteil 2:

$$R_{ax,2,k} = 1,0 \cdot 11,5 \cdot 6 \cdot 50 \cdot \left(\frac{350}{350}\right)^{0,8} = 3450 \text{ N} \quad \dots \text{ pro Verbindungsmittel}$$

$$R_{t,u,k} = 11000 \text{ N} \quad \dots \text{ lt. ETA - 11/0190:2013}$$

$$R_{ax,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \begin{array}{l} 1470 \text{ N} \\ 1380 \text{ N} \end{array} \right\} \\ 3450 \text{ N} \end{array} \right\} \\ 11000 \text{ N} \end{array} \right. \quad \dots \quad R_{ax,k} = 1470 \text{ N}$$

$$R_{ax,d} = \frac{k_{mod} \cdot R_{ax,k}}{\gamma_{M,1,Stahl}} = \frac{0,9 \cdot 1470}{1,10} = 1203 \text{ N}$$

$$\Delta R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 610 \\ 0,25 \cdot 1203 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 610 \\ 300 \end{array} \right\} = 300 \text{ N}$$

Die Gesamttragfähigkeit unter Berücksichtigung der Erhöhung ΔR_d ergibt sich somit zu:

$$R_{d,ges} = n_{ef} \cdot (R_d + \Delta R_d) = 0,9 \cdot 3 \cdot (610 + 300) = 2457 \text{ N} \quad \dots \text{ mit } n_{ef} = 0,9 \cdot n$$

Nachweis der Tragfähigkeit:

$$E_d \leq R_d \quad \dots \quad 7,0 \text{ kN} \leq 2,46 \text{ kN} \quad \dots \text{ Nachweis nicht erfüllt!}$$

Daraus folgt eine Ausnutzung unter Volllast von etwa 285 %.

Dies würde bedeuten, dass bei Auftreten der Bemessungslast ein Versagen dieser Verbindung eintritt und es weiter zu Schäden am Dachtragwerk kommen kann.

Zusammenfassend kann man bei solchen Instandsetzungsmaßnahmen nur auf die Sorgfaltspflicht eines jeden ausgebildeten Facharbeiters hinweisen. Weiter wird in Abb. 4.13 ein Sanierungsvorschlag hierzu angegeben.

Dieser Vorschlag sieht folgendes vor:

- Aufgrund der zu gering gewählten Überblattungslänge wird empfohlen, diese Verbindung in einem ersten Schritt noch einmal zu lösen und in einer ordnungsgemäßen Länge auszuführen. Zu kurze Überblattungslängen sind in der Praxis häufig anzutreffen (vgl. LEHRMANN (1960 S. 34 – 35). Daher wird im Folgenden ein Bemessungsvorschlag zu einer Mindestlänge einer Überblattung angegeben. Hier ist in weiterer Folge auf die gewählte Verbindungsmittelart und deren vorgegebene und einzuhaltende Mindestabstände zu achten.

$$L_{\text{eff, Ueberblattung}} = \min \left\{ \begin{array}{l} (h, b) \cdot 3,5 \\ 600 \text{ mm} \end{array} \right. \dots \text{ gewählt: } 800 \text{ mm}$$

- Als Verbindungsmittel wurden Vollgewindeschrauben der Firma Würth gewählt, welche unter einem Winkel von 45° Grad zur Holzfaserrichtung eingeschraubt werden (gewählt: VG 8 x 240). Aufgrund der Tatsache, dass Schrauben grundsätzlich auf Herausziehen beansprucht werden sollten, wurde eine Ausführung mittels gekreuzter Schrauben gewählt. Somit werden die Vollgewindeschrauben auf Herausziehen und Kopfdurchziehen beansprucht. Weiter kann es bei dieser Ausführung in der Praxis nur schwer zu einer falschen Anordnung der Schrauben kommen. Sollte die Überblattung nicht fachgerecht ausgeführt werden und die Stöße Klaffungen aufweisen, kann mit den gekreuzten Schrauben auch eine auftretende Druckkraft in Längsrichtung des Bundtrames übertragen werden.

Zur Bemessung lt. Europäischer Technischer Zulassung ETA – 11/0190:2013 wurden folgende Annahmen getroffen:

Material:

Vollholz C 24

Nutzungsklasse 1, $k_{\text{mod}} = 0,90$ (KLED kurz)

$$f_{t,0,d} = 6,92 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = 16,62 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M, \text{Vollholz}} = 1,30$$

$$\gamma_{M,1, \text{Stahl}} = 1,10$$

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

Würth Vollgewindeschrauben 8,0 x 240 mm

Nenndurchmesser $d = 8,0 \text{ mm}$

Schaftdurchmesser $d_S = 5,8 \text{ mm}$

Kerndurchmesser $d_{Gk} = 5,3 \text{ mm}$

Kopfdurchmesser $d_h = 15,0 \text{ mm}$

$$l_{\text{eff},1} = \frac{t_1}{\cos \alpha} = \frac{90}{\cos 45} = 127 \text{ mm} ; l_{\text{eff},2} = 240 \text{ mm} - 127 \text{ mm} = 113 \text{ mm}$$

Charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit lt. Europäischer Technischer Zulassung ETA – 11/0190:

- $f_{\text{tens},k} = 20,0 \text{ kN} = 20000 \text{ N}$

Im ersten Schritt sind die Mindestabstände lt. Zulassung zu ermitteln (vgl. Abb. 4.13):

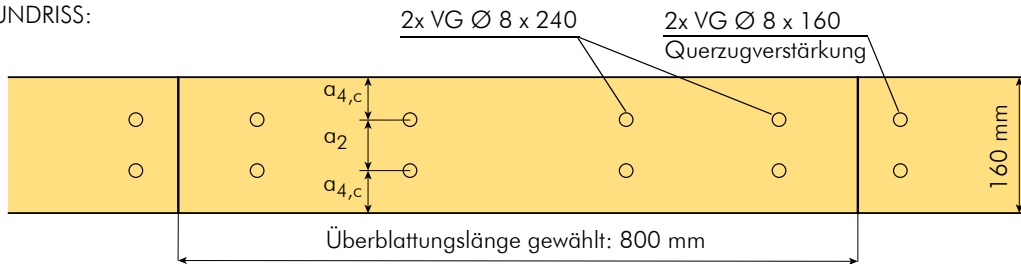
Mindestabstände: nicht vorgebohrt ; $\rho_k \leq 350 \text{ kg/m}^3$; $\alpha = 45^\circ$; $d = 8 \text{ mm}$

- | | | |
|---|-------------------|--------------------------------------|
| - in Faserrichtung a_1 | $= 5 \cdot d$ | $= 40 \text{ mm}$ |
| - rechtwinkelig zur Faserrichtung a_2 | $= 2,5 \cdot d$ | $= 20 \text{ mm}$ |
| - belastetes Hirnholzende $a_{3,t}$ | $= 5 \cdot d$ | $= 40 \text{ mm}$ |
| - unbelastetes Rand $a_{4,c}$ | $= 3 \cdot d$ | $= 24 \text{ mm}$ |
| - Produkt der Abstände | $= a_1 \cdot a_2$ | $= 25 \cdot d^2 = 1600 \text{ mm}^2$ |

gewählte Abstände:

- in Faserrichtung a_1 = 300 mm
- rechtwinkelig zur Faserrichtung a_2 = 60 mm
- belastetes Hirnholzende $a_{3,t}$ = 150 mm
- unbelastetes Rand $a_{4,c}$ = 50 mm
- Produkt der Abstände = 18000 mm²

GRUNDRISS:



ANSICHT:

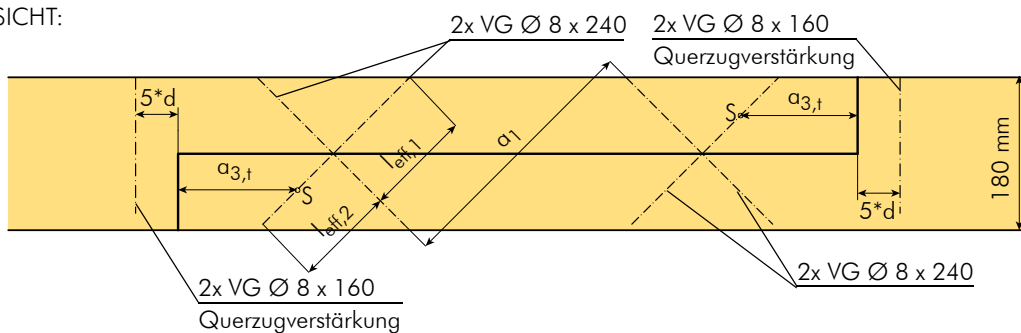
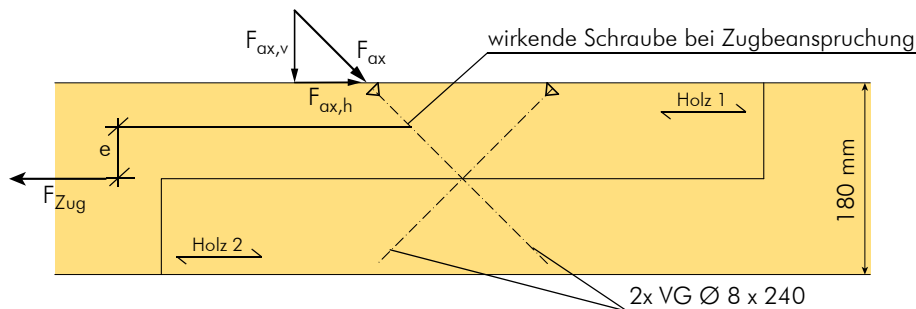


Abb. 4.13: Sanierungsvorschlag zur Instandsetzung des erläuterten Bundtramdetaills

Abb. 4.14 zeigt beispielhaft die wirkenden Kräfte bei einer Zugbeanspruchung einer Überblattung mit gekreuzten Schrauben auf.



- F_{Zug} ... Zugkraft
- F_{ax} ... axiale Tragfähigkeit der Schraube auf Herausziehen
- $F_{ax,v}$... vertikaler Anteil der axialen Tragfähigkeit der Schraube auf Herausziehen
- $F_{ax,h}$... horizontaler Anteil der axialen Tragfähigkeit der Schraube auf Herausziehen
- F_{head} ... Kopfdurchziehtragfähigkeit
- $F_{head,v}$... vertikaler Anteil der Kopfdurchziehtragfähigkeit
- $F_{head,h}$... horizontaler Anteil der Kopfdurchziehtragfähigkeit
- e ... Ausmittigkeit der resultierenden Zugkraft in den wirkenden Schrauben

Abb. 4.14: allgemeine Darstellung der Widerstandskräfte von Holzschrauben bei einer einschnittigen Holz – Holz Verbindung mit gekreuzten Schrauben aufgrund einer Zugkraft

Es wird empfohlen, bei einer geplanten Instandsetzung eines Bundtrames mittels geradem Blatt, wenn möglich immer ein stehendes Blatt einem liegendem Blatt vorzuziehen.

Der Nachweis der Schrauben erfolgt mit:

$$R_{\alpha x, k} = \min \left\{ \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \begin{array}{l} f_{\text{head}, k} \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad \dots \text{Kopfdurchziehen} \\ R_{\alpha x, 1, k} \quad \dots \text{Herausziehen der Schraube aus dem Holzbauteil 1} \\ R_{\alpha x, 2, k} \quad \dots \text{Herausziehen der Schraube aus dem Holzbauteil 2} \\ R_{t, u, k} \quad \dots \text{Zugfestigkeit der Schraube} \end{array} \right. \end{array} \right. \right.$$

Holzbauteil 1:

$$f_{\text{head}, k} = 13,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \dots \text{lt. ETA - 11/0190:2013}$$

daraus folgt:

$$f_{\text{head}, k} \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 13,0 \cdot \frac{15^2 \cdot \pi}{4} = 1624 \text{ N}$$

Charakteristischer Wert der Ausziehtragfähigkeit der gesamten Verbindung:

$$R_{\alpha x, \alpha, k} = n_{\text{ef}} \cdot k_{\alpha x} \cdot f_{\alpha x, k} \cdot d \cdot l_{\text{ef}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8}$$

mit:

$R_{\alpha x, \alpha, k}$ = char. Wert der Ausziehtragfähigkeit einer Schraubengruppe bei einem Winkel α zur Faserrichtung

n_{ef} = effektive Anzahl der Schrauben ($n_{\text{ef}} = 0,9 \cdot n$)

$k_{\alpha x}$ = Faktor, der den Winkel α zwischen Schraubenachse und Faserrichtung berücksichtigt ($k_{\alpha x} = 1,0$)

$f_{\alpha x, k}$ = char. Ausziehparameter bei einer char. Rohdichte von 350 kg/m^3 ($f_{\alpha x, k} = 11,0 \text{ N/mm}^2$)

l_{ef} = Einbindetiefe der Schraube im Holzbauteil

daraus folgt:

$$R_{\alpha x, 1, \alpha, k} = 1,0 \cdot 11,0 \cdot 0,8 \cdot 127 \cdot \left(\frac{350}{350} \right)^{0,8} = 11176 \text{ N}$$

Holzbauteil 2:

$$R_{\alpha x, 2, \alpha, k} = 1,0 \cdot 11,0 \cdot 0,8 \cdot 113 \cdot \left(\frac{350}{350} \right)^{0,8} = 9944 \text{ N}$$

und

$$R_{t, u, k} = \cos \alpha \cdot 20000 \text{ N} = \cos 45 \cdot 20000 = 14142 \text{ N} \quad \dots \text{lt. ETA - 11/0190:2013}$$

$$R_{\alpha x, k} = \min \left\{ \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \begin{array}{l} 1624 \text{ N} \\ 11176 \text{ N} \end{array} \right. \quad \dots R_{\alpha x, k} = 9944 \text{ N} \\ 9944 \text{ N} \\ 14142 \text{ N} \end{array} \right. \right.$$

$$R_{ax,d} = \frac{k_{mod} \cdot R_{ax,h,k}}{\gamma_{M,1,Stahl}} = \frac{0,9 \cdot 9944}{1,10} = 8136 \text{ N}$$

$$R_{ax,h,d} = R_{ax,d} \cdot (\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha) \dots \text{ mit } \mu_{\text{Holz-Holz}} = 0,25$$

$$R_{ax,h,d} = 8136 \cdot (\cos 45 + 0,25 \cdot \sin 45) = 7191 \text{ N}$$

$$R_{ax,h,d,ges} = n_{ef} \cdot R_{ax,h,d} = 0,9 \cdot 4 \cdot 7191 = 25888 \text{ N} \dots \text{ Gesamttragfähigkeit der Verbindung auf Zug}$$

Nachweis der Tragfähigkeit:

$$E_d \leq R_d \dots 7,0 \text{ kN} \leq 25,89 \text{ kN} \dots \text{ Nachweis erfüllt!}$$

Somit ist ein Ausnutzungsgrad der Schrauben von 27 % gegeben und eine ausreichende Dimensionierung gewährleistet.

Abschließend ist noch der Nettoquerschnittsnachweis der Verbindung zu führen. Dabei ist Zugkraft F_{Zug} sowie das Moment, welches aufgrund der Ausmittigkeit e der auf Zug beanspruchten Schrauben entsteht, zu berücksichtigen.

Nachweis:

$$\frac{F_{Zug}}{A_{Netto}} + \frac{F_{Zug} \cdot e}{W_y} \leq 1$$

mit:

$$A_{Netto} = 14400 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{160 \cdot 90^2}{6} = 216000 \text{ mm}^3$$

Nachweis:

$$\frac{F_{Zug}}{A_{Netto}} + \frac{F_{Zug} \cdot e}{W_y} = \frac{7000}{14400} + \frac{7000 \cdot 45}{216000} = 0,14 \leq 1$$

Die Ausnutzung des Holzquerschnittes beträgt 14 % und der Nachweis ist somit erfüllt.

Um solche unfachgemäßen Instandsetzungen in Zukunft zu vermeiden, werden im Kapitel 5 Vorschläge zu Instandsetzungen aufgezeigt.

Weiterführende Literatur bieten GIEBELER U. A. (2008); KÖNNER ; WAGENBLAST (2001); LUTZ U. WESSELKAMP (2005); MADER (1991); MEISEL U. A. (2013b); MÖNCK (1999) und TICHELMANN U. A. (1993 – 1)).

Merke:

Die Tragfähigkeit jeder ausgeführten Instandsetzungsmaßnahme muss nachweisbar sein!
Ist eine Instandsetzung nicht rechnerisch nachweisbar, gilt die Prüf- und Warnpflicht!
In weiterer Folge kann es zu Gewährleistungsansprüchen (z. B. nach B 2110) und/oder zu Schadenersatzansprüchen (z. B. nach ABGB) kommen (vgl. Abschnitt 4.4).

4.3 Denkmalschutz

Dieser Abschnitt bietet einen Überblick zum umfangreichen Thema des Denkmalschutzes. Da man sich vor allem in Stadtgebieten bei Instandsetzungen bzw. Sanierungen von historischer Bausubstanz häufig mit gesetzlichen, baurechtlichen sowie denkmalschutzrechtlichen Anforderungen konfrontiert sieht, werden im Folgenden diverse Fragestellungen, gesetzliche Anforderungen und Ansichten erläutert.

Was ist ein Denkmal?

Nach § 1. Abs. 1 DMSG (2000) – Zitat: *„sind Denkmale von Menschen geschaffene unbewegliche und bewegliche Gegenstände (einschließlich Überresten und Spuren gestaltender menschlicher Bearbeitung sowie künstlich errichteter oder gestalteter Bodenformationen) von geschichtlicher, künstlerischer oder sonstiger kultureller Bedeutung.“*

Weiter folgt unter Abs. 3 DMSG (2000) – Zitat: *„Gruppen von unbeweglichen Gegenständen (Ensembles) und Sammlungen von beweglichen Gegenständen können wegen ihres geschichtlichen, künstlerischen oder sonstigen kulturellen Zusammenhanges einschließlich ihrer Lage ein Ganzes bilden und ihre Erhaltung dieses Zusammenhanges wegen als Einheit im öffentlichen Interesse gelegen sein...“*

Was bedeutet Denkmalpflege und Denkmalschutz?

In der Literatur wird der Begriff Denkmalpflege und Denkmalschutz oft als ein und das Selbe verwendet. Die Denkmalpflege umfasst alle geistigen, technischen, handwerklichen und künstlerischen Maßnahmen, welche zur Er- und Unterhaltung von Kulturdenkmälern erforderlich sind. Der Denkmalschutz hingegen umfasst alle dafür nötigen rechtlichen Anordnungen, Verfügungen, Genehmigungen, Auflagen und Untersagungen welche die Denkmalpflege sicherstellen (vgl. BDA (WEB); GIEBELER U. A. (2008)).

Als international anerkannte Regel der Denkmalpflege gilt die Charta von Venedig aus dem Jahre 1964. Sie legt zentrale Werte und Vorgehensweisen bei der Konservierung und Restaurierung von Denkmalen fest (vgl. Anhang C).

Welche Behörden sind für den Bereich den Denkmalschutzes zuständig?

Verwaltungsbehörde des Denkmalschutzes, welches ein Bundesgesetz ist, ist das Bundesdenkmalamt (BDA). Dieses ist zuständig für die Erhaltung, Restaurierung und Katalogisierung von Bau- und Kunstdenkmalen sowie Ausgrabungsstätten und historischen Gärten. Das Denkmalschutzgesetz ist unter anderem auch eine Datenbank, in welcher bis Dezember 2010 etwa 36.500 Objekte in Österreich verzeichnet wurden. Der Gesamtbestand wird seitens des Bundesdenkmalamtes auf etwa 60.000 geschätzt. Das Bundesdenkmalamt ist dem Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur als Behörde weisungsgebunden und unterhält in allen Bundesländern sogenannte Landeskonservatorate (vgl. BDA (WEB)).

Wie sieht die Gesetzeslage bei einer Instandsetzung aus?

Grundsätzlich liegt nach § 40 des STMK. BAUG (2008) rechtmäßiger Bestand (Bestandsschutz) vor: Zitat: *„...wenn bestehende bauliche Anlagen und Feuerstätten, für die eine Baubewilligung zum Zeitpunkt ihrer Errichtung erforderlich gewesen ist und diese nicht nachgewiesen werden kann, gelten als rechtmäßig, wenn sie vor dem Jänner 1969 errichtet wurden“.*

Nach § 4. Abs. 1 DMSG (2000) – Zitat: *„...ist weiter zu beachten, dass bei Denkmalen, die unter Denkmalschutz stehen, die Zerstörung sowie jede Veränderung, die den Bestand (Substanz), die überlieferte (gewachsene) Erscheinung oder künstlerische Wirkung beeinflussen könnte, ohne Bewilligung gemäß § 5 Abs. 1 verboten“ (vgl. Abschnitt 4.4).*

Denkmalschutzgesetz vs. Bauordnung

Das Denkmalschutzgesetz und die Bauordnung sind parallele Kompetenzen. Ist eine Veränderung eines unter Denkmalschutz gestellten Bauwerks geplant und unterliegt diese einem Veränderungsverfahren, so ist die Bewilligung des Baudenkmalamtes und der zuständigen Baubehörde notwendig.

Zusammenfassend kann man also sagen, dass solange keine Nutzungsänderung, sowie keine Veränderung der Dachtragwerksstruktur und der globalen Lastabtragung erfolgt und solange die Tragsicherheit eines Dachtragwerkes gegeben ist, rechtmäßiger Bestand für jedes vor dem Jahre 1969 erbauten Gebäudes vorliegt und somit bei geplanten Instandsetzungsmaßnahmen kein Veränderungsverfahren einzuleiten ist (vgl. BDA (WEB)).

Sind die Schäden am Dachtragwerk jedoch derart umfangreich, dass z. B. massiv in die Tragstruktur eingegriffen werden muss, wird ein Veränderungsverfahren notwendig. Um einen möglichst reibungsfreien Ablauf zu garantieren, empfiehlt es sich in erster Instanz einen örtlichen Termin mit dem zuständigen Sachbearbeiter des Bundesdenkmalamtes zu vereinbaren, um das Vorhaben zu besprechen (Bauvoranfrage). Danach kann nach Ausarbeitung eines entsprechenden Instandsetzungskonzeptes ein Ansuchen um Bewilligung der Arbeiten beim jeweiligen Landeskonservatorat des Bundesdenkmalamtes sowie der zuständigen Baubehörde erfolgen (vgl. BDA (WEB)).

Im Folgenden werden beispielhaft, häufig anfallende Arbeiten an denkmalgeschützten Bauwerken angeführt, welche einer Genehmigung des Bundesdenkmalamtes bedürfen (vgl. BDA (WEB)):

- Veränderungen an der tragenden Konstruktion (z. B. additive oder subsidiäre Konstruktionen),
- Eingriffe in bestehende Entwässerungsanlagen (z. B. Veränderungen an der Dachentwässerung),
- Nutzungsänderungen,
- Dachgeschoßausbauten,
- Abbruch sowie Teilabbruch von Gebäudeteilen,
- Veränderungen des Erscheinungsbildes (z. B. Einbau von Gaupen),
- Umgestaltung und Instandsetzung (Vorabfrage beim BDA wird empfohlen),
- Anbringen oder Verändern von Werbung oder Schriften.

Ergänzend wird an dieser Stelle angemerkt, dass das DMSG (2000) für die mutwillige Unterlassung von zumutbaren Instandsetzungsmaßnahmen denkmalgeschützter Bauwerke Strafen vorsieht (vgl. Abschnitt 4.4).

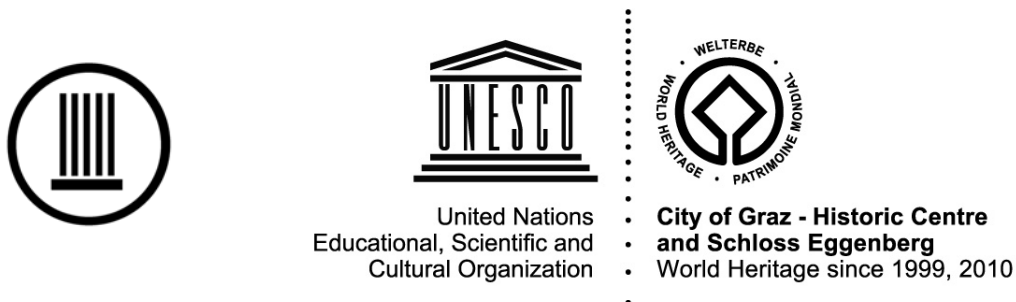


Abb. 4.15: Links: Symbol des Denkmalschutzamtes Österreich (BDA (WEB)); Rechts: Symbol der UNESCO in Verbindung mit dem Zeichen zum Weltkulturerbe Stadt Graz – Historisches Zentrum und Schloss Eggenberg (UNESCO (WEB))

International wird der Denkmalschutz bzw. der Schutz von Weltkultur- und Weltnaturerbe durch die United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO) gesichert. Sie wurde im Jahre 1945 gegründet, zählt bis dato etwa 195 Mitgliedsstaaten und stellt ein Völkerrechtsinstrument dar. Ihr Ziel ist es: Zitat: "...durch Förderung der Zusammenarbeit zwischen den Völkern in den Bereich Bildung, Wissenschaft, Kultur und Kommunikation zur Wahrung des Friedens und der Sicherheit beizutragen". Im Bereich Kultur führt die UNESCO eine Weltkulturerbeliste (World Heritage List) welche eine Reihe von unter Schutz gestellten Bauwerken großer kultureller Wichtigkeit auflistet. Weltweit sind auf dieser Liste bis dato 981 Kultur- und Naturerbestätten aus 160 Staaten verzeichnet. Aus Österreich sind derzeit neun Kultur- und Naturerbestätten verzeichnet, z. B. City of Graz – Historic Centre and Schloss Eggenberg (vgl. UNESCO (Web)).

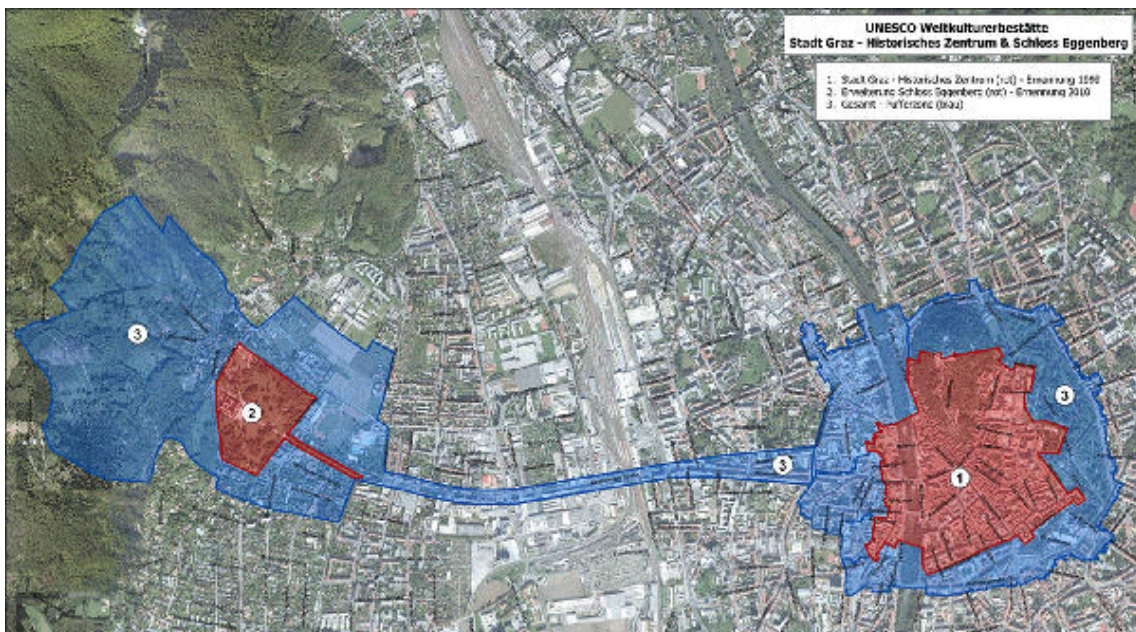


Abb. 4.16: Oben: Dachlandschaft der Kernzone von Graz; Unten: Schutzzonen zum Weltkulturerbe Stadt Graz – Historisches Zentrum & Schloss Eggenberg (Rot = Kernzone, Blau = Pufferzone; vgl. UNESCO (WEB))

Zur Vertiefung des Themas Denkmalschutz wird auf die Homepage des Bundesdenkmalamtes (BDA), sowie der zuständigen Baubehörden und nachfolgende Literatur verwiesen (vgl. BDA (WEB); DMSG (2000); ECKERT (1994); FRITZEN (2006); GERNER (2003); KÖNNER ; WAGENBLAST (2001); LUTZ U. WESSELKAMP (2005); PETZET U. MADER (1993); UNESCO (WEB)).

4.4 Gesetze / Normen

Im Folgenden werden die wichtigsten Gesetzestexte angeführt, mit welchen man sich bei Instandsetzungsmaßnahmen häufig konfrontiert sieht.

Die wichtigsten Gesetze und Normen sind:

- Steiermärkisches Baugesetz (Stmk. BauG)
- Ortsbildgesetz 1977
- Denkmalschutzgesetz (DMSG (2000))
- ÖNORM B 2110 – Teil 1-12
- Richtlinien des Österreichischen Institutes für Bautechnik (OIB – RL)
- Allgemein Bürgerliches Gesetzbuch (ABGB)
- ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG)

Die daraus wichtigsten Abschnitte werden im Folgenden, ohne Gewähr auf Vollständigkeit, angeführt:

Steiermärkisches Baugesetz (Stmk. BauG)

§ 39 Stmk. BauG Instandhaltung und Nutzung

(1) Der Eigentümer hat dafür zu sorgen, daß die baulichen Anlagen in einem der Baubewilligung, der Baufreistellungserklärung und den baurechtlichen Vorschriften entsprechenden Zustand erhalten werden.

(3) Kommt der Eigentümer seinen Verpflichtungen nicht nach, hat ihm die Behörde die erforderlichen Sicherungsmaßnahmen und die Behebung des der Bewilligung und den baurechtlichen Vorschriften widersprechenden Zustandes unter Festsetzung einer angemessenen Frist aufzutragen.

(4) Ist die Behebung von Baugebrechen technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht zumutbar, hat die Behörde aus Gründen der Sicherheit die Räumung und Schließung von baulichen Anlagen oder Teilen derselben und nötigenfalls deren Abbruch anzuordnen.

§ 42 Stmk. BauG Sofortmaßnahmen

(1) Bei Gefahr im Verzug kann die Behörde ohne weiteres Verfahren die erforderlichen Verfügungen und Sicherungsmaßnahmen auf Gefahr und Kosten des Eigentümers (jedes Miteigentümers) einer baulichen Anlage an Ort und Stelle anordnen und sofort vollstrecken lassen.

§ 43 Stmk. BauG Allgemeine Anforderungen

(1) Bauwerke und alle ihre Teile müssen so geplant und ausgeführt sein, dass sie unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit gebrauchstauglich sind und die in Folge angeführten bautechnischen Anforderungen erfüllen. Diese Anforderungen müssen entsprechend dem Stand der Technik bei vorhersehbaren Einwirkungen und bei normaler Instandhaltung über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum erfüllt werden. Dabei sind Unterschiede hinsichtlich der Lage, der Größe und der Verwendung der Bauwerke zu berücksichtigen.

(2) Bautechnische Anforderungen an Bauwerke sind:

- mechanische Festigkeit und Standsicherheit,
- Brandschutz,
- Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz,
- Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit,
- Schallschutz,
- Energieeinsparung und Wärmeschutz sowie
- nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen.

(3) Bauteile müssen aus entsprechend widerstandsfähigen Baustoffen hergestellt oder gegen schädigende Einwirkungen geschützt sein, wenn sie solchen Einwirkungen ausgesetzt sind. Schädigende Einwirkungen sind z. B. Umweltschadstoffe, Witterungseinflüsse, Erschütterungen oder korrosive Einwirkungen.

(4) Zusätzlich zu den bautechnischen Anforderungen muss das Bauwerk derart geplant und ausgeführt werden, dass es in seiner gestalterischen Bedeutung dem Straßen, Orts und Landschaftsbild gerecht wird. Hierbei ist auf Denkmäler und hervorragende Naturgebilde Rücksicht zu nehmen.

Denkmalschutzgesetz (DMSG (2000))

§ 36. DMSG Verfügung der Wiederherstellung und Rückholung

Auf Antrag des Bundesdenkmalamtes kann die zuständige Bezirksverwaltungsbehörde verfügen, dass im Falle einer widerrechtlich erfolgten Veränderung oder Zerstörung eines Denkmals der Schuldtragende auf seine Kosten den der letzten oder den schon einer früher von ihm verschuldeten widerrechtlichen Änderung oder Zerstörung unmittelbar vorausgegangenen Zustand des Denkmals, soweit dies möglich ist, wiederherzustellen hat.

§ 37. DMSG Strafbestimmungen

(1) Wer entgegen den Bestimmungen des § 4 Abs. 1 und § 5 Abs. 1 ein Einzeldenkmal oder ein als Einheit unter Denkmalschutz gestelltes Ensemble oder eine als Einheit unter Denkmalschutz gestellte Sammlung zerstört, ist, wenn die Tat nicht nach einer anderen Bestimmung mit strengerer gerichtlicher Strafe bedroht ist, vom Gericht mit einer Geldstrafe bis zu 360 Tagessätzen zu bestrafen. Neben der Geldstrafe ist für den Fall, dass die in § 36 vorgesehene Wiederherstellung nicht verfügt oder die zwar verfügte Wiederherstellung vorsätzlich trotz förmlicher Mahnung nicht vorgenommen wird, auf eine Wertersatzstrafe zu erkennen. Unter diesen Voraussetzungen ist auf eine Wertersatzstrafe auch dann zu erkennen, wenn die Tat nach einer anderen Bestimmung mit strengerer gerichtlicher Strafe bedroht ist. Die Höhe der Wertersatzstrafe hat entweder den Kosten, die zur Wiederherstellung oder zur Herstellung eines gleichwertigen Gegenstandes aufgewendet hätten werden müssen, oder dem höheren durch die Tat erzielten Nutzen zu entsprechen. Die Wertersatzstrafe ist allen an der Tat Beteiligten unter Bedachtnahme auf die Grundsätze der Strafbemessung (§§ 32 bis 35 StGB) anteilmäßig aufzuerlegen. Das Strafverfahren obliegt den Gerichtshöfen erster Instanz.

(2) 1. Wer vorsätzlich entgegen den Bestimmungen des § 4 Abs. 1 und 2 bzw. § 5 Abs. 1 ein Denkmal verändert oder der §§ 17, 18, 19 und 22... und weiter ...wer die gemäß §§ 31 oder 36 angeordneten Maßnahmen verhindert oder zu erschweren sucht, ist, sofern die Tat nicht den Tatbestand einer in die Zuständigkeit der Gerichte fallenden strafbaren Handlung bildet, von der Bezirksverwaltungsbehörde mit Geldstrafe bis 50 800 Euro zu bestrafen.

(4) Wer vorsätzlich

1. eine Meldung über die Unmöglichkeit der Vornahme notwendiger geringfügiger Instandsetzungsmaßnahmen gemäß § 4 Abs. 1 Z 2 unterlässt,

3. ist, sofern die Tat nicht den Tatbestand einer in die Zuständigkeit der Gerichte fallenden strafbaren Handlung bildet, von der Bezirksverwaltungsbehörde mit Geldstrafe bis 2 100 Euro zu bestrafen. Die Bestimmungen des Abs. 1 hinsichtlich der Verhängung einer Wertersatzstrafe gelten gleichermaßen für Strafverfahren auf Grund dieses Absatzes.

(7) Die Verjährungsfrist gemäß § 31 Abs. 2 VStG beginnt bei den in den Abs. 2 bis 4 aufgezählten Delikten erst ab dem Zeitpunkt, zu dem das Bundesdenkmalamt von den unerlaubt vorgenommenen Handlungen oder Unterlassungen Kenntnis erlangt hat und die schuldtragende Person ausgeforscht ist; die Frist endet jedenfalls fünf Jahre nach Beendigung der Tat.

ÖNORM B 2110 (vgl. § 1168a ABGB)

Punkt 6.2.4 Prüf- & Warnpflicht

6.2.4.1 Der AN hat die Pflicht, die ihm vom AG

- 1) zur Verfügung gestellten Ausführungsunterlagen,
- 2) erteilten Anweisungen,
- 3) beigestellten Materialien und
- 4) beigestellten Vorleistungen

so bald wie möglich zu prüfen und die auf Grund der ihm zumutbaren Fachkenntnis bei Anwendung pflichtgemäßer Sorgfalt erkennbaren Mängel und begründeten Bedenken gegen die vorgesehene Art der Ausführung dem AG unverzüglich schriftlich mitzuteilen.

6.2.4.2 Der AN hat sich vor Leistungserbringung vom ordnungsgemäßen Zustand etwa bereits fertig gestellter Leistungen unter Anwendung pflichtgemäßer Sorgfalt zu überzeugen. Erkennbare Mängel, die seiner Meinung nach die geforderten Eigenschaften der von ihm auszuführenden Leistungen ungünstig beeinflussen könnten, sind unverzüglich dem AG schriftlich bekannt zu geben.

6.2.4.4 Innerhalb einer zumutbaren Frist hat der AN im Rahmen seiner fachlichen Möglichkeiten Hinweise oder Vorschläge zur Behebung oder Verbesserung zu machen. Der AG hat seine Entscheidung rechtzeitig bekannt zu geben.

6.2.4.5 Unterlässt der AN die Mitteilung oder trifft der AG keine Entscheidung, haftet jeder für die Folgen seiner Unterlassung. Trägt der AG den begründeten Bedenken nicht Rechnung und treten Schäden auf, die auf die aufgezeigten Mängel zurückzuführen sind, ist der AN für diese Schäden von seiner Haftung und Gewährleistung befreit.

Allgemein Bürgerliches Gesetzbuch (ABGB)

§ 1299 ABGB

Wer sich zu einem Amte, zu einer Kunst, zu einem Gewerbe oder Handwerke öffentlich bekennt; oder wer ohne Not freiwillig ein Geschäft übernimmt, dessen Ausführung eigene Kunstkenntnisse, oder einen nicht gewöhnlichen Fleiß erfordert, gibt dadurch zu erkennen, daß er sich den notwendigen Fleiß und die erforderlichen, nicht gewöhnlichen, Kenntnisse zutraue; er muß daher den Mangel derselben vertreten. Hat aber derjenige, welcher ihm das Geschäft überließ, die Unerfahrenheit desselben gewußt; oder bei gewöhnlicher Aufmerksamkeit wissen können, so fällt zugleich dem Letzteren ein Versehen zur Last.

§ 1300 ABGB

Ein Sachverständiger ist auch dann verantwortlich, wenn er gegen Belohnung in Angelegenheiten seiner Kunst oder Wissenschaft als Versehen einen nachteiligen Rat erteilt. Außer diesem Falle haftet ein Ratgeber nur für den Schaden, welchen er wissentlich durch Erteilung des Rates dem Andern verursacht hat.

§ 1318 ABGB

Wird jemand durch das Herabfallen einer gefährlich aufgehängten oder gestellten Sache, oder durch Herauswerfen oder Herausgießen aus einer Wohnung beschädigt; so haftet derjenige, aus dessen Wohnung geworfen oder gegossen worden, oder die Sache herabgefallen ist, für den Schaden.

§ 1319 ABGB 6) Durch ein Bauwerk

Wird durch Einsturz oder Ablösung von Teilen eines Gebäudes oder eines anderen auf einem Grundstück aufgeführten Werkes jemand verletzt oder sonst ein Schaden verursacht, so ist der Besitzer des Gebäudes oder Werkes zum Ersatze verpflichtet, wenn die Ereignung die Folge der mangelhaften Beschaffenheit des Werkes ist und er nicht beweist, daß er alle zur Abwendung der Gefahr erforderliche Sorgfalt angewendet habe.

5 Instandsetzungsbeispiele für typische Schadensbilder

Zu Beginn dieses Kapitels werden typische Schäden an historischen Dachtragwerken beispielhaft angeführt und erläutert. In den darauf folgenden Abschnitten werden die im Kapitel 3 – Abschnitt 3.4 bereits erläuterten, häufig auftretenden Schadensbereiche näher betrachtet und unterschiedliche Fälle von möglichen Schäden erläutert. Für die Schadens – Szenarien werden Instandsetzungsbeispiele vorgestellt, die mit erfahrenen Bau- und Zimmermeistern besprochen und weiterentwickelt wurden. Als Referenzsystem zur Ausarbeitung der unterschiedlichen Instandsetzungsbeispiele, wurde das Kehl balkendach mit zweifach liegendem Stuhl und Hängesäule der Alten Universität Graz verwendet (vgl. Kapitel 2 – Abschnitt 2.3).

Wie bereits in Kapitel 1 erläutert, existiert eine enorme Vielfalt an historischen Dachwerken und Verbindungsausbildungen. Die hier vorgestellten Instandsetzungsbeispiele sind individuell an das jeweilige Dachtragwerk anzupassen.

5.1 Allgemeines

Historische Dachtragwerke werden häufig über ihre Lebensdauer hinweg immer wieder an die jeweilige Nutzungsanforderung angepasst und umgebaut, oder nach Auftreten von Schäden in Stand gesetzt. Dies führt meist dazu, dass die ursprüngliche Tragwirkung verändert bzw. beeinträchtigt wird. Weiter bewirken diese Änderungen am Tragsystem Lastumlagerungen, auf welche die Dachtragwerke auf längere Zeit gesehen nicht ausgelegt sind. Folglich kommt es zu ungeplanten Verformungen und/oder schlussendlich zu Schäden. Von außen gut zu erkennende Verformungen an Dachtragwerken deuten häufig auf Schäden am Dachtragwerk hin (vgl. Abb. 5.1).



Abb. 5.1: starke Verformungen an Dachtragwerken der Grazer Dachlandschaft (FOTO ANDREAS MEISEL)

Schäden werden – wie die Gespräche mit Bau- und Zimmermeistern ergaben – zumeist erst bei Zu- und Umbauten bemerkt bzw. sichtbar, so sich diese nicht im Vorfeld bereits durch resultierende Auswirkungen angekündigt haben (z. B. mit „freiem Auge“ erkennbare Verformungen am Dachtragwerk, Risse im Mauerwerk, usw.).

Bei bereits erfolgten Instandsetzungsmaßnahmen kommt es oft vor, dass das vorliegende Dachtragwerk nicht eindeutig erkannt und dadurch mittels systemfremden und/oder wirkungslosen Bauteilen erweitert und ergänzt wurde. Diese Konstruktionen bzw. Flickwerke sollten nach Möglichkeit entfernt werden, um die ursprüngliche Tragwirkung des Dachtragwerkes wiederherstellen zu können. Dabei sollten die bereits erfolgten Verformungen, so sich diese nicht negativ auf die Lastabtragung auswirken, in ihrer Lage gesichert, aber nicht rückgängig gemacht werden (vgl. Kapitel 4 – Abschnitt 4.2.2).

Zur Berechnung der Instandsetzungsdetails wurde, um zu realen Schnittkräften zu kommen, ein sich an das Dachtragwerk der Alten Universität Graz angelehntes Referenzsystem gewählt. Im Anhang D wird beispielhaft die Ermittlung der einwirkenden Lasten auf das Dachtragwerk, sowie die ermittelten Schnittkräfte mittels eines dreidimensionalen Stabtragwerkmodells, bei welchen die Exzentrizitäten und Nachgiebigkeiten berücksichtigt wurden, angeführt.

Weiter wurden die allgemein gültigen technischen Regelwerke und die aus Gesprächen mit Bau- und Zimmermeistern resultierenden Wünsche (vgl. Anhang E) zu den Instandsetzungsbeispielen weitestgehend berücksichtigt. Bei der Ausarbeitung der Instandsetzungsbeispiele wurde versucht, die Richtlinie „Energieeffizienz am Baudenkmal“ des Bundesdenkmalamtes (BDA RL (2011)) miteinzubeziehen.

Ergänzend wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass im Anhang E eine Zusammenfassung der Gespräche mit den Bau- und Zimmermeistern und der zu diesem Zweck verfasste Fragenkatalog zu finden ist.

5.1.1 Anmerkungen zur Anwendbarkeit von Verbindungsmittel

Bei den Gesprächen mit den Bau- und Zimmermeistern wurde häufig der Wunsch geäußert, die Instandsetzungsdetails mit typischerweise auf Lager befindlichen stoffförmigen Verbindungsmitteln auszuführen (Bolzen, GEKA – Dübel, Gewindestangen, Holzschrauben).

Da sich die Instandsetzungsdetails hauptsächlich auf Dauerbauten beziehen, eignen sich nicht alle Verbindungsmittel zur Instandsetzung (vgl. DIN 1052:2008; DIN 18800:2008; enBR:2007).

Als Bolzen werden alle Schraubenbolzen und Bolzen ähnlicher Bauart bezeichnet. Diese werden üblicherweise in ein Millimeter größere Bohrlöcher eingeführt und in Verbindung mit Unterlegscheiben eingebaut. Lt. DIN 1052:2008 sind Bolzen nicht in Dauerbauten zu verwenden, bei welchen es auf Steifigkeit und Formbeständigkeit der Konstruktion ankommt.

Gewindestangen sind für Querkraftbeanspruchungen (auf Lochleibung beanspruchte Verbindungen) nicht zulässig, da sie nur mit einem erheblichen Lochspiel eingebaut werden können. Gewindestangen werden lt. DIN 1052:2008 als Gewindebolzen bezeichnet und es gelten die selben Regeln wie für Bolzenverbindungen.

Stabdübel zählen ebenfalls zu den stoffförmigen Verbindungsmitteln und dürfen lt. EN 1995-1-1:2009 mit maximal dem Nenndurchmesser des Stabdübels vorgebohrt werden. Für eine Stabdübelverbindung wird empfohlen mindestens zwei Verbindungsmittel anzuordnen. Bei Konstruktionen mit wiederholten Lastwechseln besteht bei Stabdübeln die Gefahr des „Herauswanderns“ (vgl. SIA_265). Daher sind diese entweder dagegen zu sichern oder die Verbindung ist mit Passbolzen auszuführen.

Passbolzen sind Stabdübel mit einem Gewinde auf einer bzw. beiden Seiten und können in Verbindung mit einer Unterlegscheibe und Muttern auch Zugbeanspruchungen aufnehmen. Diese eignen sich gut zur Instandsetzung historischer zimmermannsmäßiger Verbindungen und werden hiermit ausdrücklich empfohlen. Weiter wird an dieser Stelle angemerkt, dass das aufgedrehte Gewinde mit einem Durchmesser kleiner, als der Durchmesser des Passbolzen hergestellt werden sollte. Dies verhindert in weiterer Folge, dass die Bohrlochwandung sowie das Holz bei Austritt beschädigt wird.

Als Alternative zu den Passbolzen und Stabdübeln besteht die Möglichkeit der Verwendung von Holzbau-schrauben. Hierfür wird auf die Zulassungen der Hersteller verwiesen. Werden die Schrauben hauptsächlich auf Abscheren beansprucht, eignen sich Sechskant-Holzschrauben (auch als Schlüsselschrauben bezeichnet) nach DIN 571 mit einem Gewinde nach ON M 1530 gut.

5.2 Schäden im Fußpunktbereich

Der häufigste Fall, wie die Gespräche mit Bau- und Zimmermeistern und die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt „D(N)achhaltigkeit Graz“ ergaben, ist ein mehr oder weniger zerstörter Fußpunkt aufgrund eines Pilzbefalls (z.B. Moderfäule). Unfachmännisch ausgeführte Instandsetzungen führen früher oder später zu weiteren, oft gravierenderen Schäden und sollten daher vermieden werden.

Im Folgenden werden Bilder von unfachgemäßen Instandsetzungen an Fußpunkten in historischen Dachtragwerken aufgezeigt. Diese erfolgten Instandsetzungen wurden überwiegend im Zuge der Forschungsarbeit D(N)achhaltigkeit des Institutes für Holzbau und Holztechnologie der TU – Graz aufgenommen.

Unfachgemäße Mauerbankinstandsetzungen

Abb. 5.2 zeigt Mauerbankinstandsetzungen von Kehlbalkendächern, welche nicht fachgerecht ausgeführt wurden. Da es in Kehlbalkendächern aufgrund des Tragsystems (Dreigelenkrahmen, mit oder ohne weitere Unterstützungen durch Stühle) zu großen Horizontalkräften am Sparrenfußpunkt kommt, ist eine Stoßverbindung, wie auf Bild Abb. 5.2 – links, nicht ausreichend, um die auftretenden Biegemomente und Querkräfte aufnehmen zu können. Gleiches gilt für die Instandsetzung, welche am rechten Bild zu sehen ist. Hier kann durch die zu kurz gewählten Überblattungslängen, der nicht fachmännischen Ausführung des Verbundes der einzelnen Bauteile, sowie der zu kurz gewählten Bauteillängen, das horizontale Biegemoment nicht aufgenommen und übertragen werden. Folglich ist bei dieser Instandsetzung mit großen Verformungen der Mauerbank in horizontaler Richtung zu rechnen.



Abb. 5.2: Links: Mauerbankinstandsetzung mittels schrägem Stoß (Anonym); Rechts: instandgesetzter Fußpunktbereich eines Kehlbalkendachs mit zweifach liegendem Stuhl (Graz, Hofgasse 10A)

Eine weitere häufig auftretende, unfachgemäße Instandsetzung von Mauerbänken, ist das Hinzufügen einer neuen Mauerbank auf teils ganzer Länge, ohne die geschädigte Mauerbank zuvor zu entfernen.

Bei dieser Art der Instandsetzung ist darauf zu achten, dass die Druckfestigkeit des historischen Mauerwerkes im Kantenbereich nicht überschritten wird, da es in diesem Bereich zu lokalen Spannungspitzen kommt. Dadurch würde das Mauerwerk auf Schub versagen und die Instandsetzung somit unwirksam. Wird diese Art der Instandsetzung ausgeführt, ist in jedem Fall ein statischer Nachweis zur Tragfähigkeit des Mauerwerkes zu erbringen (vgl. Abb. 5.3).

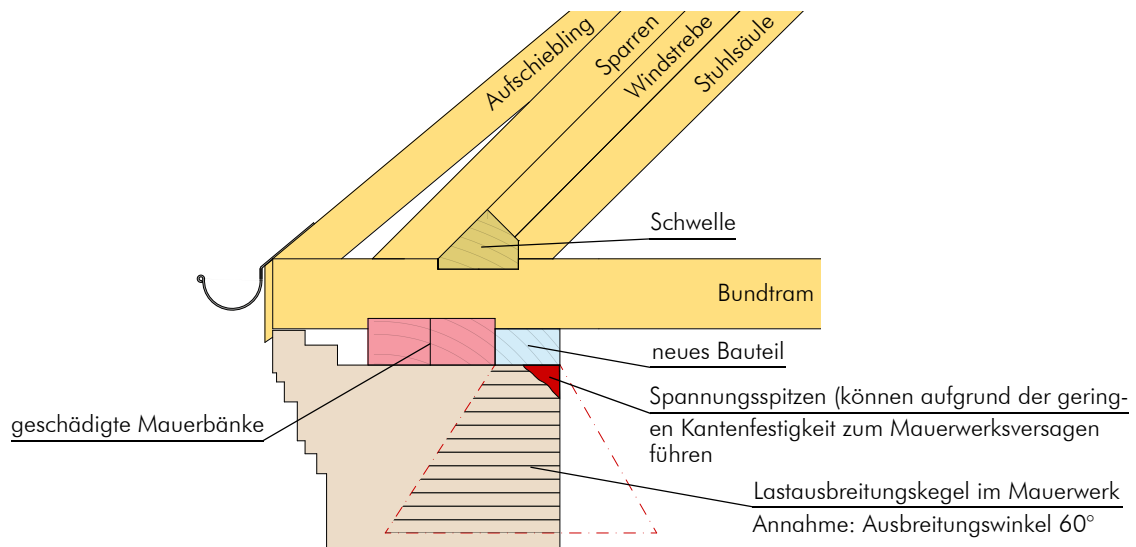


Abb. 5.3: Mauerbankinstandsetzung mittels Hinzufügen eines neuen Bauteils, ausdrücklich NICHT empfohlen

Mangelhafte Verstärkungen zur Horizontalkrafteinleitung in den Fußpunkten

Abb. 5.4 zeigt eine Instandsetzung, welche häufig in historischen Sparren- bzw. Kehlbalkendächern vorzufinden ist, jedoch nicht zu den fachgerechten Instandsetzungen zählt. Anwendung findet diese Art der Instandsetzung meist bei nicht ausreichender horizontaler Kräfteinleitung in den Bundtram. Dabei wird mit Hilfe von seitlich schräg angebrachten Brettern versucht, die Lasteinleitung zu bewerkstelligen.

Es wird empfohlen, diese Art der Instandsetzungen zu vermeiden, da einerseits diese Verbindungen ausgeprägt schubweich sind und es somit trotz des Verbundes zu größeren Verformungen kommt und andererseits man durch die Vernagelung keine Sicht mehr auf die eigentliche Verbindung hat. Daher kann man eventuelle Schäden, welche sich in weiterer Folge möglicherweise ergeben, nicht frühzeitig erkennen und erst nach dem Eintreten eines eventuellen Teilsystemversagens reagieren.

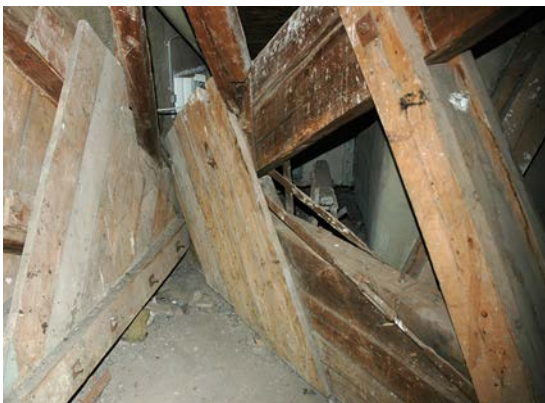


Abb. 5.4: Instandsetzung durch Vernagelung mit Brettern zur horizontalen Lasteinleitung (Palais Herberstein, Graz)

Unfachgemäß ausgeführte Horizontalkrafteinleitung in den Bundtram bzw. Stichbalken

Abb. 5.5 – linkes Bild, zeigt eine in der Praxis häufig anzutreffende Instandsetzung eines Fußpunktes in Kehlbalkendächern mittels Unterfütterung mit Kanthölzern und Bauklammern nach DIN 7961. Hier lag ein Fußpunktschaden vor, welcher durch Gesundscheiden beseitigt wurde. Um den benötigten Aufwand für eine fachmännische Instandsetzung zu umgehen, wurde der Anschluss des Sparren an den Bundtram mit Kanthölzern geschlossen und diese mittels Bauklammern verbunden, um die horizontalen Kräfte rückzuverankern. Bauklammern sind jedoch ausschließlich Glieder einer behelfsmäßigen Bauweise und deren Tragfähigkeit ist für derartige Instandsetzungen meist unzureichend (vgl. KRAUTH U. MEYER (1881)).

Aufgrund der mehrfachen Unterfütterung zwischen Stuhlsäule – Bundtram bzw. Sparren – Bundtram mit Kanthölzern, ist aufgrund der untereinander nicht kraftschlüssigen Verbindung dieser Hölzer, diese Art der Instandsetzung schubweich. Weiters sind diese mehrfachen Unterfütterungen, bei in Längsrichtung des Dachtagwerkes auftretenden Kräften, als instabil zu betrachten (z. B. aufgrund von Windlasten resultierende über die Windverbände eingeleitete Horizontalkräfte). Durch die unterschiedlichen Auflagerpressungen ist mit daraus resultierenden Exzentrizitäten zu rechnen, welche in weiterer Folge Verformungen verursachen. Diese Art der Instandsetzung sollte in keinem Fall zur Anwendung kommen.

Das rechte Bild zeigt eine weitere, in mehrerer Hinsicht, unfachgemäße Instandsetzung eines Fußpunktbereiches eines Kehlbalkendach. Hier wurde eindeutig das Tragsystem nicht erkannt und somit ein falsches Instandsetzungskonzept angewandt. Um die Kräfte aus dem Sparren in den Stichbalken zu leiten, wurde eine Instandsetzung mittels Anlaschung gewählt. Diese wurde jedoch am Aufschiebling befestigt und nicht am Sparren. Der Aufschiebling ist jedoch einerseits nicht tragfähig genug um die Lasten aus dem Sparren ableiten zu können und andererseits ist dieser nur durch ein paar Eisennägeln mit dem Sparren verbunden. Zusätzlich wurde der neue Stichbalken nicht in die Systemachse gelegt und somit treten hier große Exzentrizitäten auf. Der ausgeführte Vollkamm der Mauerbank – Stichbalkenverbindung schwächt den Stichbalken durch eine zu große Kammtiefe zusätzlich. In Abb. 5.5 – rechtes Bild ebenfalls zu erkennen, ist der entfernte Wechselbalken welcher ersatzlos blieb (vgl. Kapitel 1 – Abschnitt 1.5).



Abb. 5.5: Links: Instandgesetzter Sparrenfußpunkt mittels Kanthölzern und Eisenklammern (Palais Herberstein, Graz); Rechts: unfachgemäße Fußpunktinstandsetzung eines Leergespärres (Graz, Hofgasse 10A)

Fehlende Horizontalkrafteinleitungen

Abb. 5.6 zeigt Instandsetzungen von Fußpunkten, bei welchen die Einleitung der Horizontalkräfte und somit der Kraftschluss im Kehlbalkendreieck fehlt. Am linken Bild ist eine Instandsetzung eines Fußpunktes durch Gesundschneiden des betroffenen Bereichs zu sehen. Das entfernte Holz wurde jedoch nicht fachmännisch ersetzt, sondern der gesamte entstandene Freiraum wurde mit Hilfe von Normalformatziegeln aufgefüllt und die Stuhlsäule sowie der Sparren auf diese aufgelagert. Durch die fehlende Verbindung mit dem Bundtram, können die horizontalen Kräfte nicht mehr „kurzgeschlossen“ werden. Daraus resultieren zumindest große Verformungen des Dachtragwerkes in diesem Bereich. Liegen solche Instandsetzungen an mehreren nebeneinander liegenden Gespärren von Kehlbalkendächern vor, ist die Tragsicherheit des Dachtragwerkes nicht mehr gewährleistet.

Das rechte Bild in Abb. 5.6 zeigt den Fußpunkt eines Vollgespärres, welches ebenfalls unsachgemäß in Stand gesetzt wurde. Auch hier wurden Stuhlsäule, Sparren und Aufschiebling gekappt und die Ersatzbauteile stumpf angestossen. Die Verlängerung des Aufschieblings wurde mittels beidseitigen Laschen und mit Hilfe eines horizontalen Balkenstückes an die Verlängerung der Stuhlsäule angeschlossen und auf die Mauerbank aufgekämmt. Zusätzlich wurde die Stuhlsäule mittels Laschen verstärkt und mit Hilfe eines Knechtes auf ein gemauertes Auflager abgestellt. Ein Nachvollziehen des Kraftverlaufes ist hier nicht mehr möglich. Weiters fehlt der Bundtram bzw. eine Ersatzkonstruktion dafür.



Abb. 5.6: Links: fehlende Horizontalkrafteinleitung in das Mauerwerk (Palais Herberstein, Graz); Rechts: unfachgemäß instandgesetzter Fußpunktbereich eines Kehlbalkendachs (Graz, Hofgasse 10A)

Passungungenauigkeiten

Bei der Instandsetzung historischer Dachtragwerke ist auf eine fachmännische Ausführung der gewählten Verbindung zu achten (vgl. Abb. 5.7). Die Kontaktflächen der Hölzer zueinander sollten keine Klaffungen aufweisen, da folglich die wirkenden Kräfte nicht ordnungsgemäß weitergeleitet werden können. Werden die Verbindungen nicht passgenau ausgeführt, kann es zu Spannungspitzen in den Kontaktflächen und daraus resultierenden Überbelastungen und in Folge zu Schäden kommen.



Abb. 5.7: Links: Längsstoß mittels Hakenblatt (ERLER (2004) S. 153); Rechts: Sparreninstandsetzung durch geraden Stoß und Anlaschung (Anonym)

5.2.1 Instandsetzungsbeispiele bei Schäden im Fußpunktbereich

Im Folgenden werden zur besseren Übersicht der möglichen auftretenden Schäden, unterschiedliche Schadensfälle angenommen. Da die häufigste Schadensursache von zerstörten Fußpunkten eindringende Feuchtigkeit ist, wird in den Instandsetzungen ein Pilzbefall (z. B. Moderfäule) angenommen.

Um die Instandsetzungsbeispiele entwerfen zu können, wurde ein Referenzsystem gewählt, welches in weiterer Folge, um realitätsnahe Schnittkräfte zu erhalten, berechnet wurde. Abb. 5.8 zeigt den Bereich des Referenzsystemes, welcher zur Ausarbeitung der überwiegenden Instandsetzungsbeispiele herangezogen wurde. Die Lastermittlung, Modellbildung sowie die berechneten Schnittkraftverläufe können dem Anhang D entnommen werden.

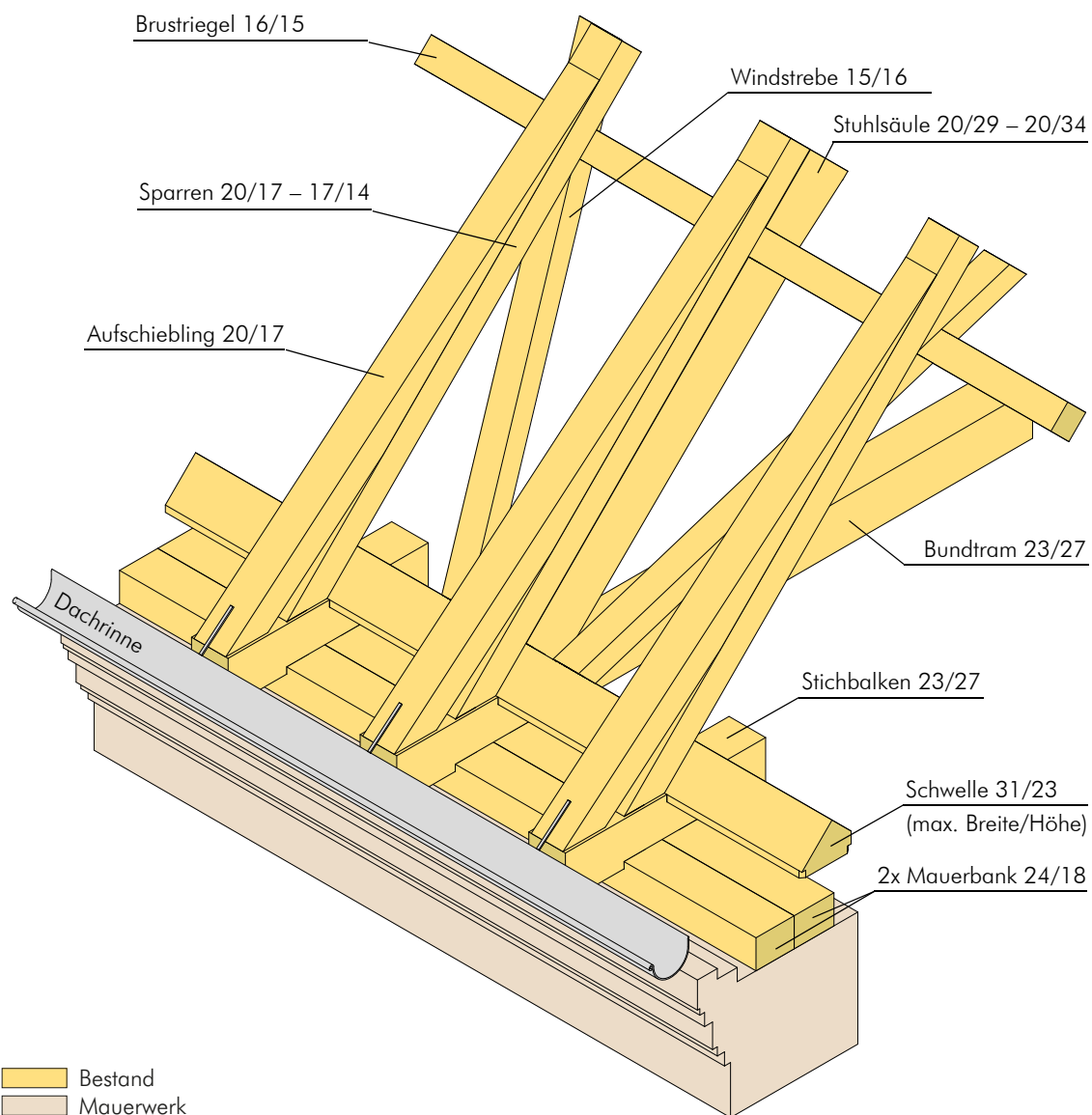
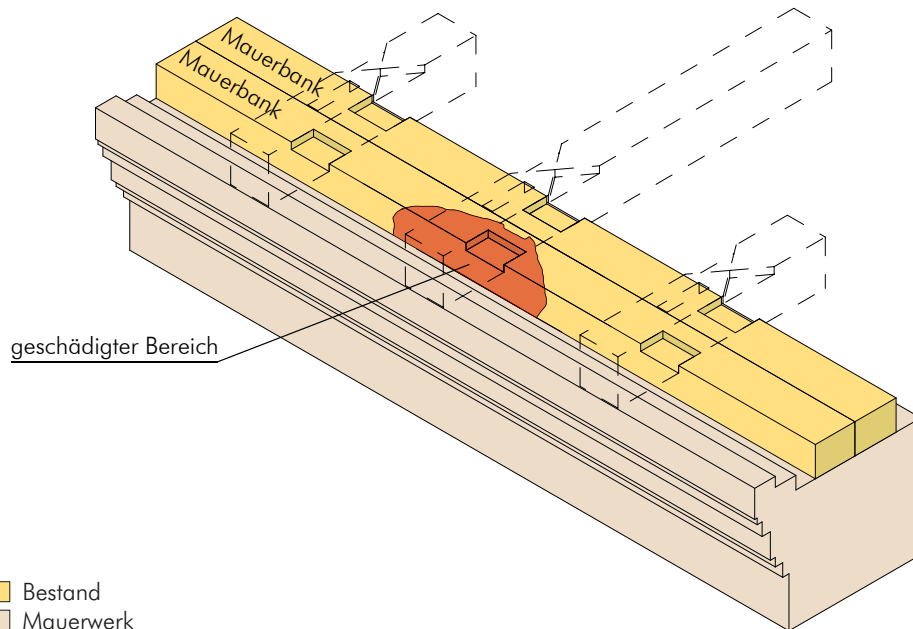


Abb. 5.8: gewähltes Referenzsystem (Kehlbalkendach mit liegendem Stuhl und schematisch angedeutetem Gesimse)

1. Fall: geschädigte Mauerbank

Im Falle des gewählten Referenzsystems liegt eine doppelte Mauerbank vor. Im ersten Schritt wird die Annahme getroffen, dass die Mauerbank im Bereich der Dachhaut zugewandten Seite zerstört wurde (vgl. Abb. 5.9).



Bestand
Mauerwerk

Abb. 5.9: Schädigung der Mauerbank im Bereich der Dachhaut zugewandten Seite

Um die Mauerbank ausbauen zu können, muss das Bestandstragwerk angehoben werden (vgl. Abb. 5.10). Diese Stützkonstruktionen sollten stets gesichert werden, um ein Um- oder Herausfallen zu verhindern. Weiter ist auf die Pressungen der Hebewerkzeuge am z. B. Bestandsmauerwerk zu achten.



Abb. 5.10: eingebrachte Konstruktion zum Anheben des Bestandes (FOTO: ANDREAS MEISEL)

Die im Folgenden vorgeschlagenen Instandsetzungsbeispiele können für Mauerbänke, Schwellen und/oder Rähme angewandt werden. Es wird empfohlen die Bauteillängen nicht zu kurz zu wählen, da die Verbindungen ansonsten nicht ordnungsgemäß ausgeführt werden können. Weiter ist auf die Restlängen der verbleibenden Mauerbänke bzw. Balken zu achten.

Der Vorschlag sieht folgendes vor:

- Zu Beginn wird der Bestand angehoben.
- Der zerstörte Bereich wird herausgeschnitten und eine neue, der alten geometrisch angepassten, Mauerbank wird eingebracht. Diese wird mit dem Bestand großzügig überblattet.
- Als Sicherung gegen ein Querkzugversagen (vgl. Abb. 5.14) werden im rechten Winkel zur Überblattung an den Ecken jeweils Holzschrauben mit Berücksichtigung der Mindestabstände angeordnet.
- Aufgrund der aus den Horizontalkräften resultierenden Biegemomente, werden die Überblattungen mit Passbolzen miteinander verbunden. Diese werden durch beide Mauerbänke geführt. Bei den folgenden regelmäßigen Inspektionen kann somit auch deren Passung jederzeit überprüft werden.

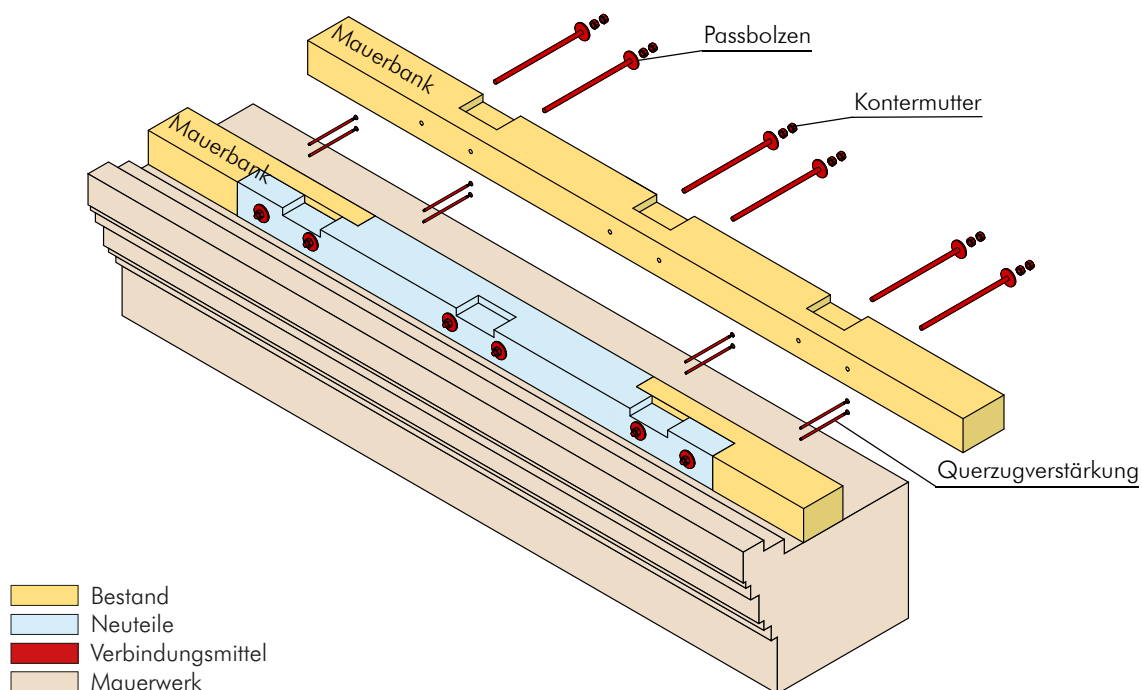


Abb. 5.11: Explosionszeichnung der Instandsetzung der Mauerbank mittels geradem Blatt

Alternativ könnte man auch eine Instandsetzung mittels liegendem Ballt und vertikal eingebrachten Stabdübeln ausführen. Dabei ist zu beachten, dass man für diese Verbindung einerseits eine große Anzahl an Stabdübeln benötigt und andererseits diese vorwiegend auf Abscheren beansprucht werden.

Vorteile:

- die historische Substanz bleibt weitestgehend erhalten
- durch die Verbindung mit Passbolzen können auch Biegemomente übertragen werden
- die Zugänglichkeit zu den Verbindungsmitteln ist jederzeit gegeben
- die Lage der Bauteile und somit das Dachtragwerkssystem wird nicht verändert
- zwischen den Mauerbänken entsteht ein nachgiebiger Verbund

Nachteile:

- eingebaute Schwellen und/oder Windverbände in Kehlbalkendächern können die Zugänglichkeit zusätzlich erschweren

Sind beide Mauerbänke zerstört (vgl. Abb. 5.12), muss ein größerer Bereich aus dem Bestand entnommen werden, da die kraftschlüssige Verbindung ansonsten nicht gewährleistet werden kann.

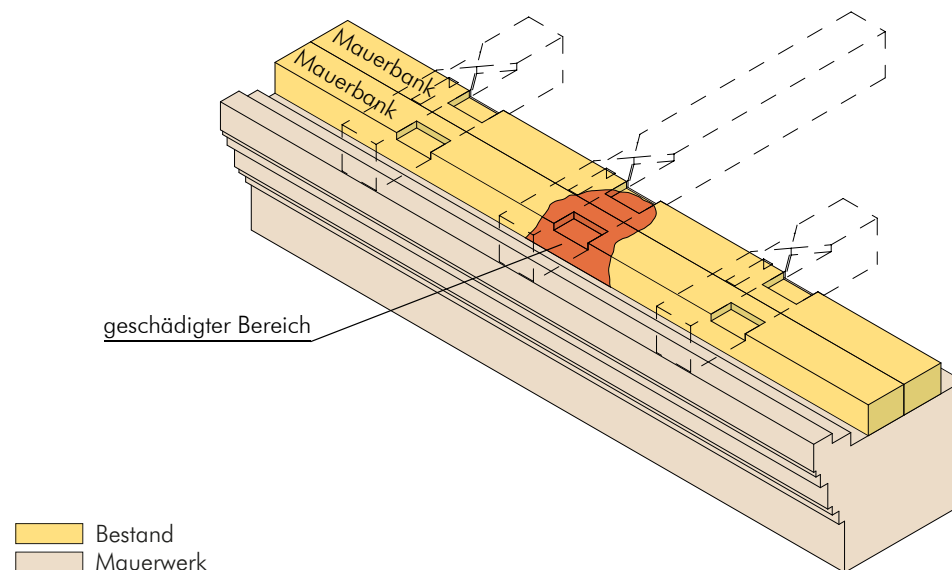


Abb. 5.12: lokale Schädigung beider Mauerbänke

Analog zum vorherigen Beispiel wird folgende Lösung vorgeschlagen:

- Der Bestand wird angehoben und die zerstörten Mauerbankteile werden herausgeschnitten. Dabei sollten die Restbauteile so wenig als möglich geschwächt werden.
- Die neue Mauerbank wird mit dem Bestand großzügig überblattet. Dabei werden die Überblattungen versetzt angeordnet.
- Als Sicherung gegen Querkzug werden im rechten Winkel zur Überblattung an den Ecken jeweils Holzschrauben in die Mauerbänke eingebracht (vgl. Abb. 5.11).
- Die Überblattungen werden mit Passbolzen miteinander verbunden, welche durch den gesamten Querschnitt geführt und mit Kontermuttern versehen werden.

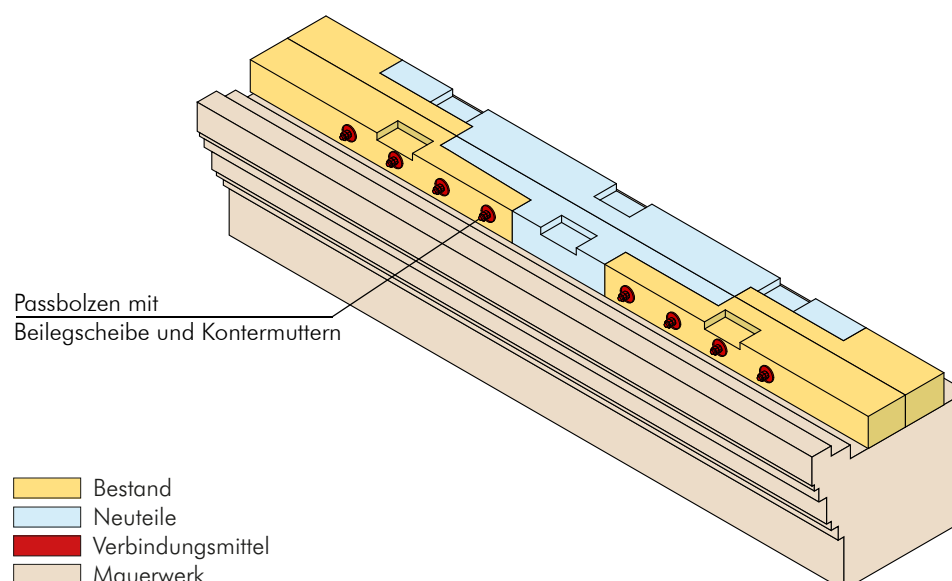


Abb. 5.13: Instandsetzung beider Mauerbänke mittels versetztem geraden Blatt

2. Fall: Mauerbank und Bundtram geschädigt

Erfolgt der Feuchtigkeitseintrag über das Mauerwerk oder Undichtigkeiten der Dachdeckung über längere Zeit, kommt es häufig vor, dass neben der Mauerbank auch der Bundtram zerstört ist. Die Instandsetzung der Mauerbank erfolgt analog zu Abb. 5.11 und Abb. 5.13. Da der Bundtram in Kehlbalkendächern außer Zugkräften auch Momente und Querkräfte aufnehmen muss, ist hierfür eine geeignete Verbindungsart zu wählen. Eine bewährte Möglichkeit stellt die Überblattung dar. Diese kann mittels geradem oder schrägem, stehenden Blatt mit geradem oder schräg angeschnittenem Stoß oder aber mittels einem geraden oder schrägen Hakenblatt ausgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit der Instandsetzung eines im Fußbereich geschädigten Bundtrames stellt die Anlaschung dar (vgl. Abschnitt 5.2.1 – 4. Fall).

Je nach Größe der Kräfte sind entsprechende Verbindungsmittel zur Übertragung dieser zu wählen. Um die auftretenden Biegemomente und Zugkräfte so effektiv als möglich übertragen zu können wird empfohlen, zusätzlich zu den Passbolzen, Dübel besonderer Bauart (GEKA oder Bulldog) zu verwenden (vgl. Abschnitt 5.1.1). Als Verbindungsmittel sind auch Holzbauschrauben denkbar (vgl. Kapitel 4 – Abschnitt 4.2.2). Bei Verbindungen mit Holzschrauben sind die gültigen Zulassungen der Hersteller zu beachten.

Da auf die Instandsetzung der Mauerbank bereits im 1. Fall eingegangen wurde, wird diese hier nicht weiter ausgeführt.

Der Vorschlag zur Instandsetzung des Bundtrames sieht folgendes vor:

- Der geschädigte Bereich des Bundtrames wird gesund geschnitten und eine großzügige Überblattung mit einem stehenden Blatt hergestellt.
- Der neue Bauteil wird der alten Geometrie des Bundtrames angepasst und die Verbindungen passgenau hergestellt.
- Der neue Teil des Bundtrames wird eingebracht und mittels Passbolzen mit dem Bestand kraftschlüssig verbunden.
- In weiterer Folge ist auch der kraftschlüssige Verbund mit der Schwelle und dem Sparren herzustellen.
- Als Sicherung gegen ein Querkzug- bzw. Rollschubversagen werden an den beiden Seiten des Bundtrames, im rechten Winkel zur Überblattung an den Ecken, jeweils Holzschrauben mit Berücksichtigung der Mindestabstände angeordnet.

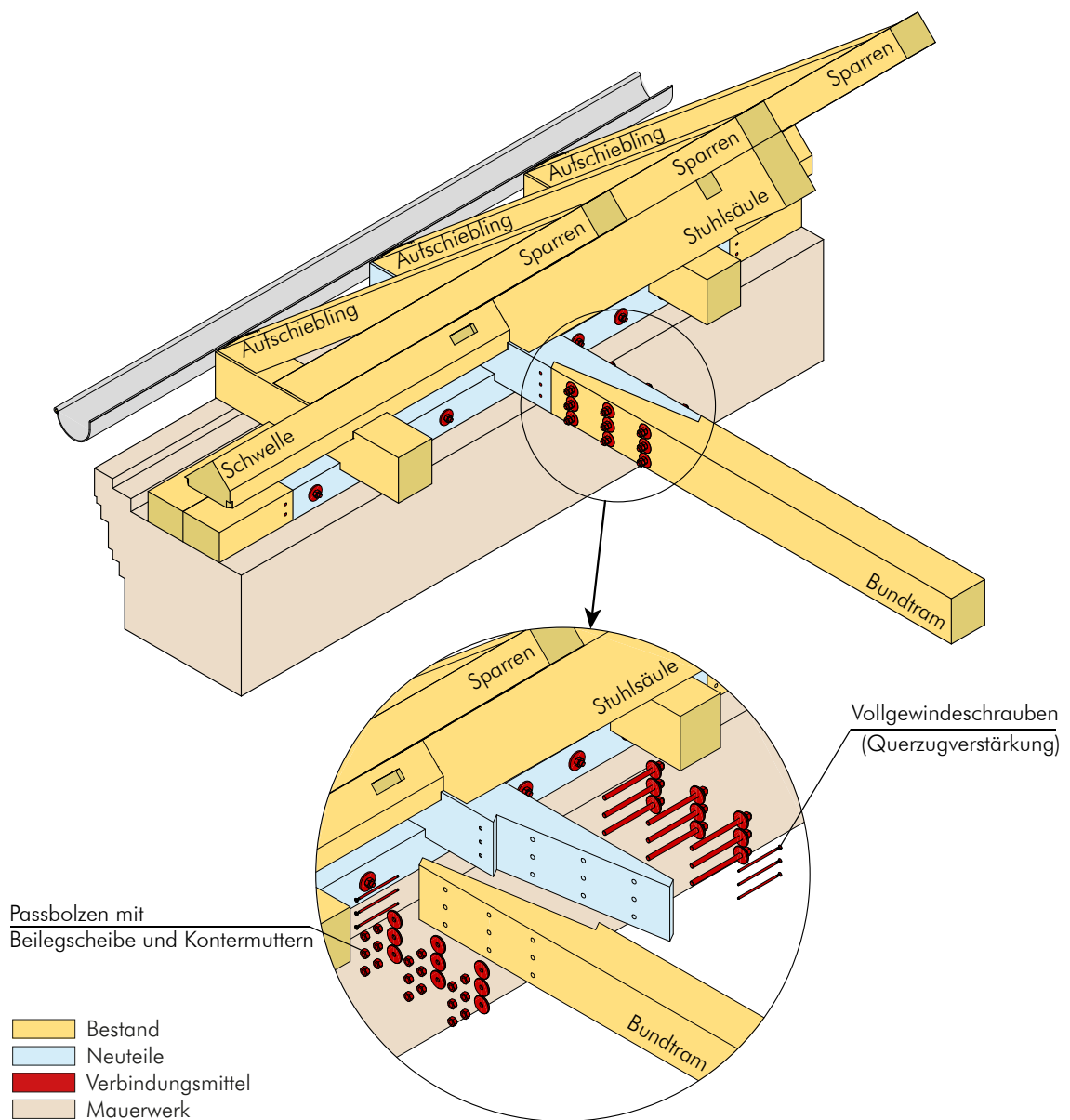
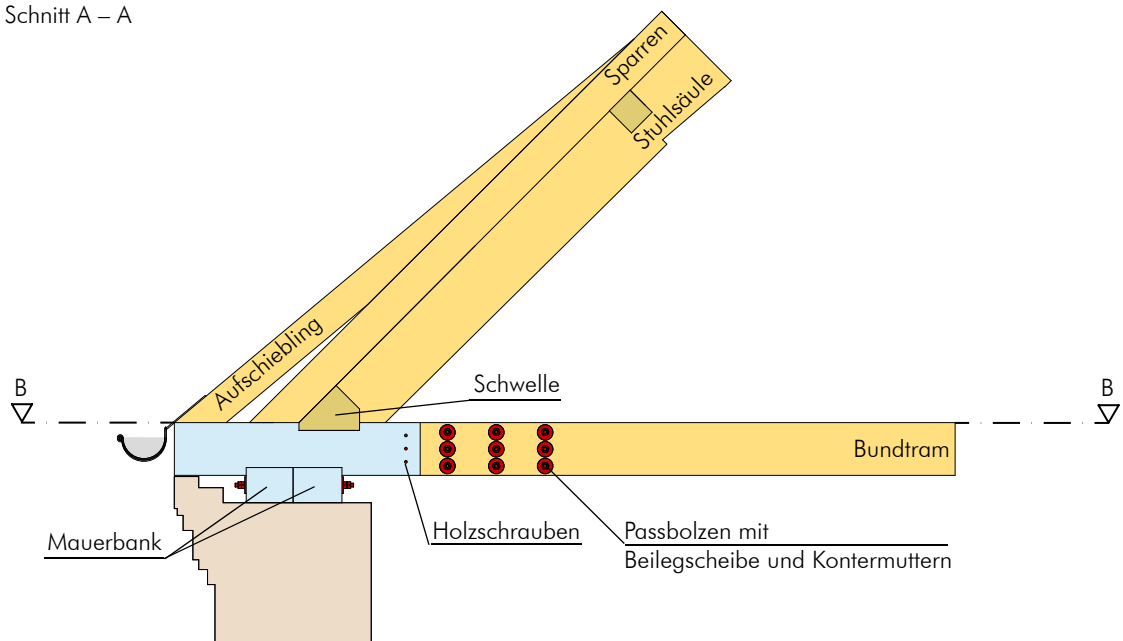


Abb. 5.14: Instandsetzung eines zerstörten Bundtrahmes mittels schrägem Blatt mit schrägem Stoß in 3D – Ansicht, sowie Detail der Verbindung als Explosionszeichnung

Schnitt A – A



Schnitt B – B

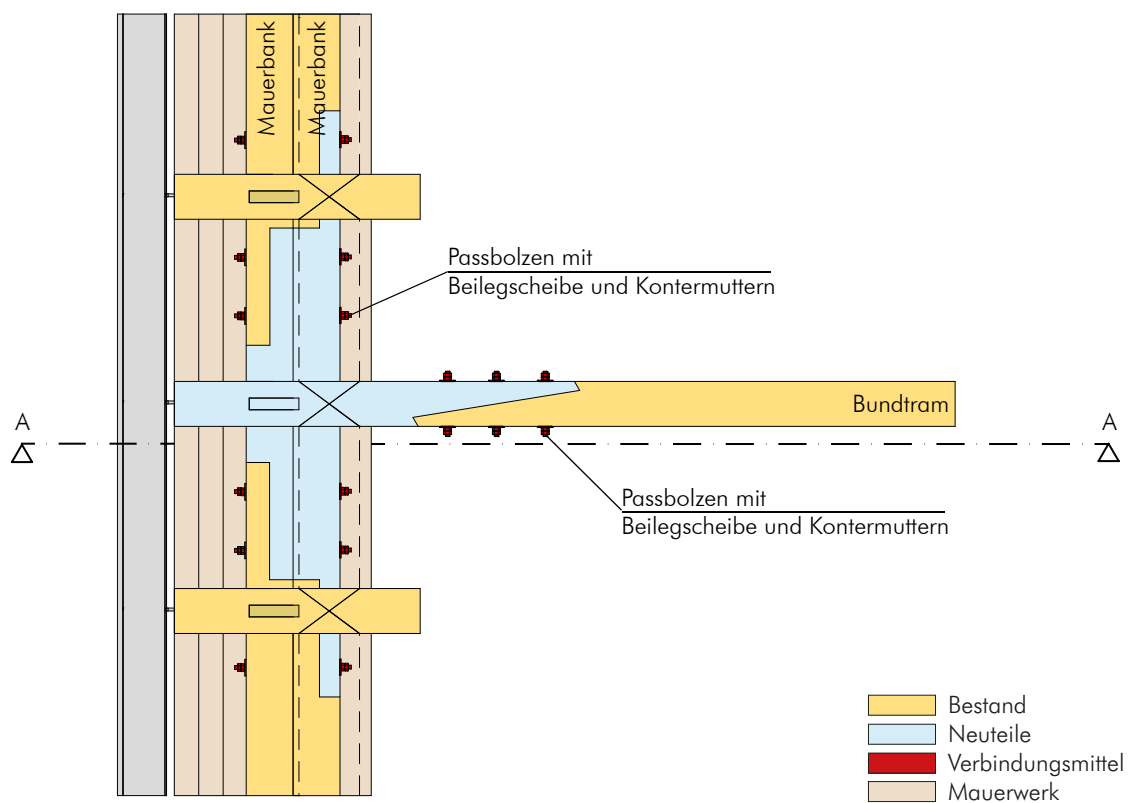


Abb. 5.15: Instandsetzung eines zerstörten Bundtrames mittels schrägem Blatt mit schrägem Stoß

3. Fall: zerstörter Zapfen eines Bundtram – Sparrenanschlusses

Ein häufig vorzufindender Schaden im Fußpunktbereich von Kehlbalkendächern ist ein durch Pilze (z. B. Moderfäule) zerstörter Bundtram – Sparrenanschluss. Hier betrifft der Schaden hauptsächlich die Verbindungen mittels Zapfen, da die eingedrungene Feuchtigkeit nicht mehr abtransportiert werden kann. Schäden dieser Art sind häufig von außen nicht zu erkennen und nur durch die Verformungen des Sparrens zu erahnen bzw. durch umfangreiche Prüfung, z. B. mit der Spitze eines Zimmermannshammers oder einem Bohrwiderstandsmessgerät zu eruieren.

Das folgende Instandsetzungsbeispiel bietet die Möglichkeit, eine Überbelastung des Fußpunktbereiches frühzeitig zu erkennen. Da der Sparren nur bestimmte, berechenbare Tragfähigkeiten aufweist, kann durch den angeordneten Winkel eine zu groß werdende Belastung durch Biegeverformungen des Winkels angezeigt werden. Dazu wird der Winkel auf Biegung, bezogen auf die maximal auftretende Horizontalkraft, bemessen (vgl. Anhang D). Wird diese Kraft überstiegen, verformt sich der Winkel plastisch und zeigt dies somit an.

Der Vorschlag zur Instandsetzung des Bundtrames sieht folgendes vor:

- Je nach Platzangebot, um den Sparren anzuschneiden, ist die Dachhaut zu öffnen und der Aufschiebling zu entfernen.
- In der Höhe der Zugstange wird eine etwas größere Bohrung durch Stuhlsäule und Sparren geführt.
- Der Sparren wird im Stirnbereich vertikal angeschnitten und die Winkelkonstruktion wird eingebracht.
- Die Zugstange wird montiert und vorgespannt, bis der Winkel anfängt sich leicht zu verformen.
- Um die Auflagerpressung des Sparrens am Bundtram zu reduzieren kann es mitunter nötig sein, den Sparren mit der Stuhlsäule mittels Bolzen bzw. Passbolzen zu verbinden.

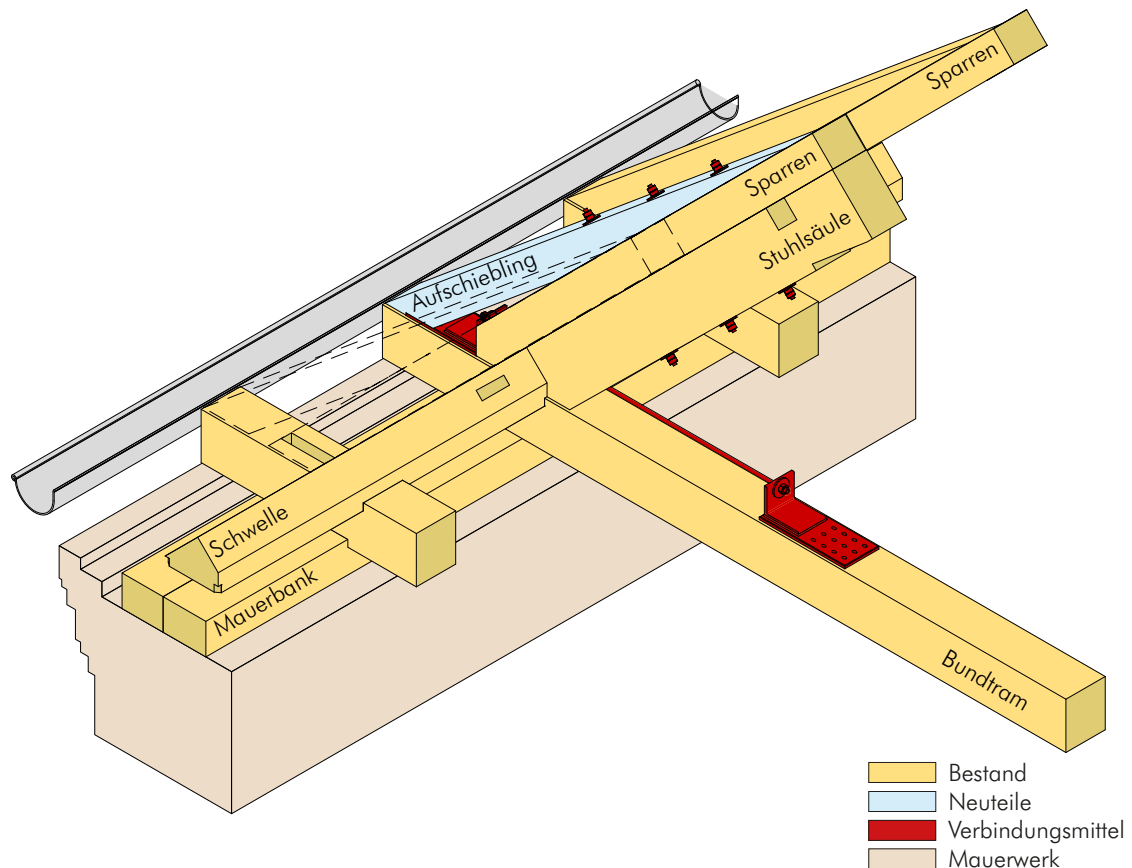
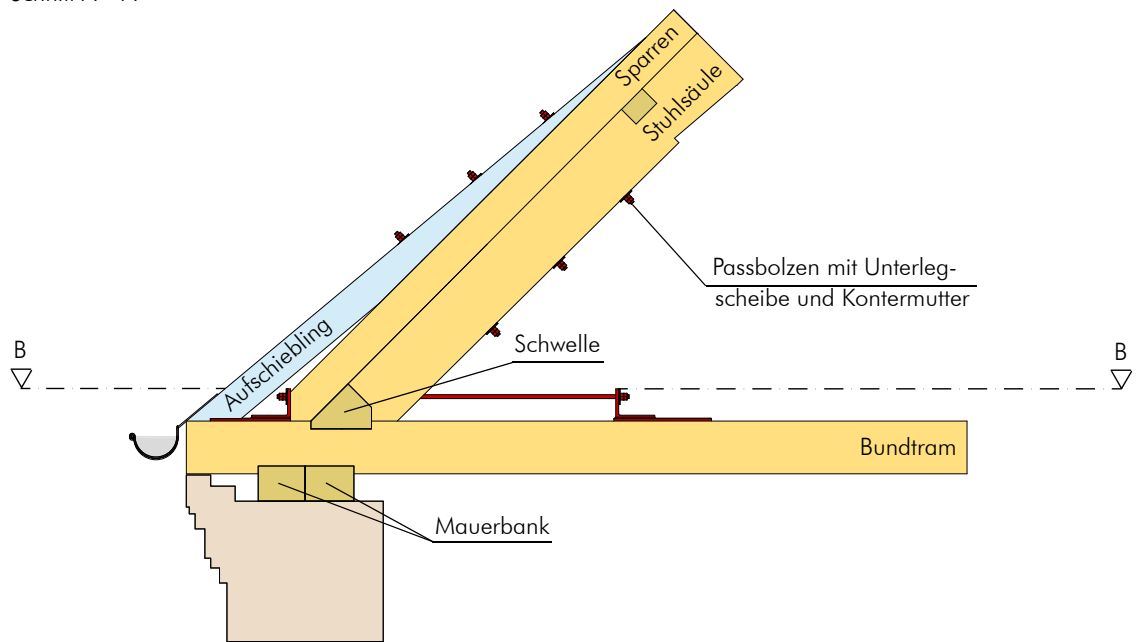


Abb. 5.16: „Frühwarnsystem“ mittels auf Biegung bemessenem Stahlwinkel

Schnitt A – A



Schnitt B – B

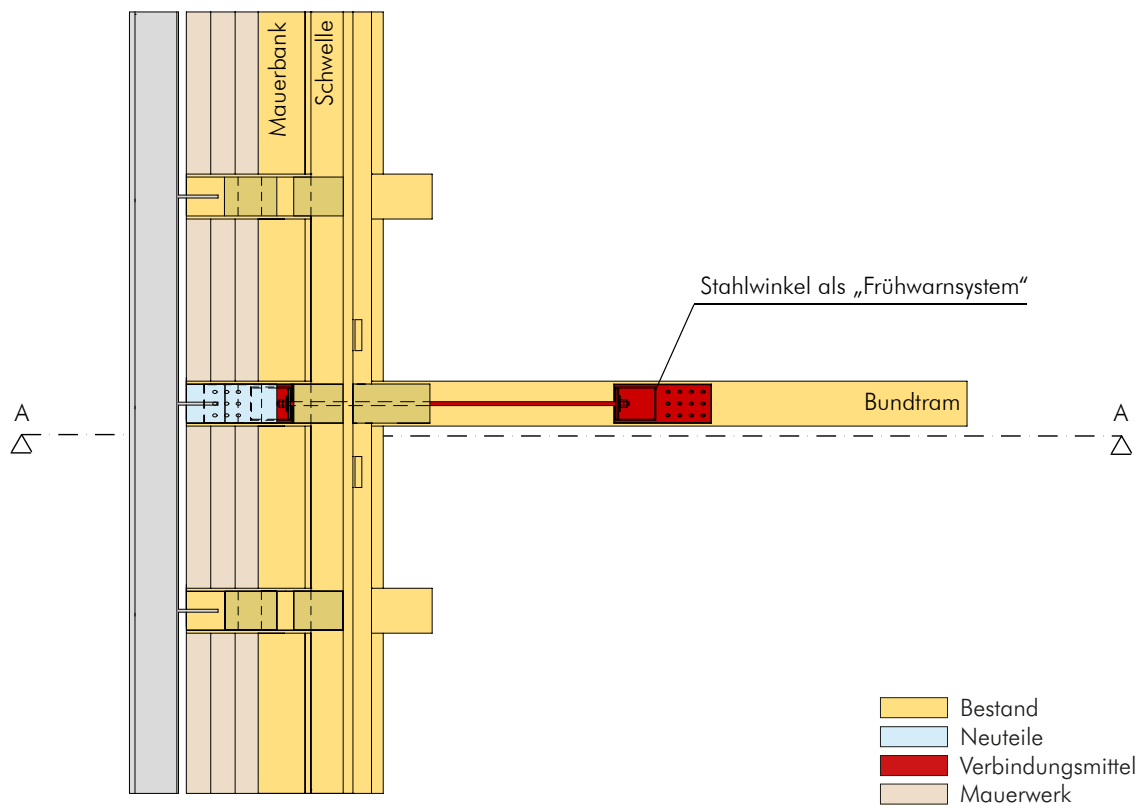


Abb. 5.17: Schnitte zur Instandsetzung mittels auf Biegung bemessenem Stahlwinkel als „Frühwarnsystem“

Eine weitere Möglichkeit der Instandsetzung eines zerstörten Sparren – Bundtramanschlusses wird in Abb. 5.18 dargestellt. Hier wird die fehlende Horizontalkrafteinleitung mittels Zugstangen und einem Kantholz in den Bundtram bewerkstelligt. Der Vorteil dieser Instandsetzung liegt in der Möglichkeit, den Bestand weitestgehend erhalten zu können. Bei einfachen Sparrendächern kann diese Instandsetzung meist ohne Öffnung der Dachhaut durchgeführt werden.

Der Vorschlag zur Instandsetzung des Zapfens zwischen Bundtram und Sparren sieht folgendes vor:

- Je nach Platzangebot, um den Sparren anzuschneiden, ist die Dachhaut zu öffnen und der Aufschiebling zu entfernen.
- In Höhe der Durchdringung der Schwelle mit der Zugstange werden Bohrungen angebracht, welche etwas größer sind, als der Durchmesser der Zugstange.
- Der Sparren wird im hinteren Bereich vertikal angeschnitten, um Platz für das Flacheisen zu schaffen.
- Im nächsten Schritt wird das Kantholz mit dem Bundtram mittels Passbolzen verbunden.
- Zuletzt wird die Zugstange montiert und vorgespannt.
- Um die Auflagerpressung des Sparrens am Bundtram zu reduzieren kann es mitunter nötig sein, den Sparren mit der Stuhlsäule mittels Bolzen bzw. Passbolzen zu verbinden.

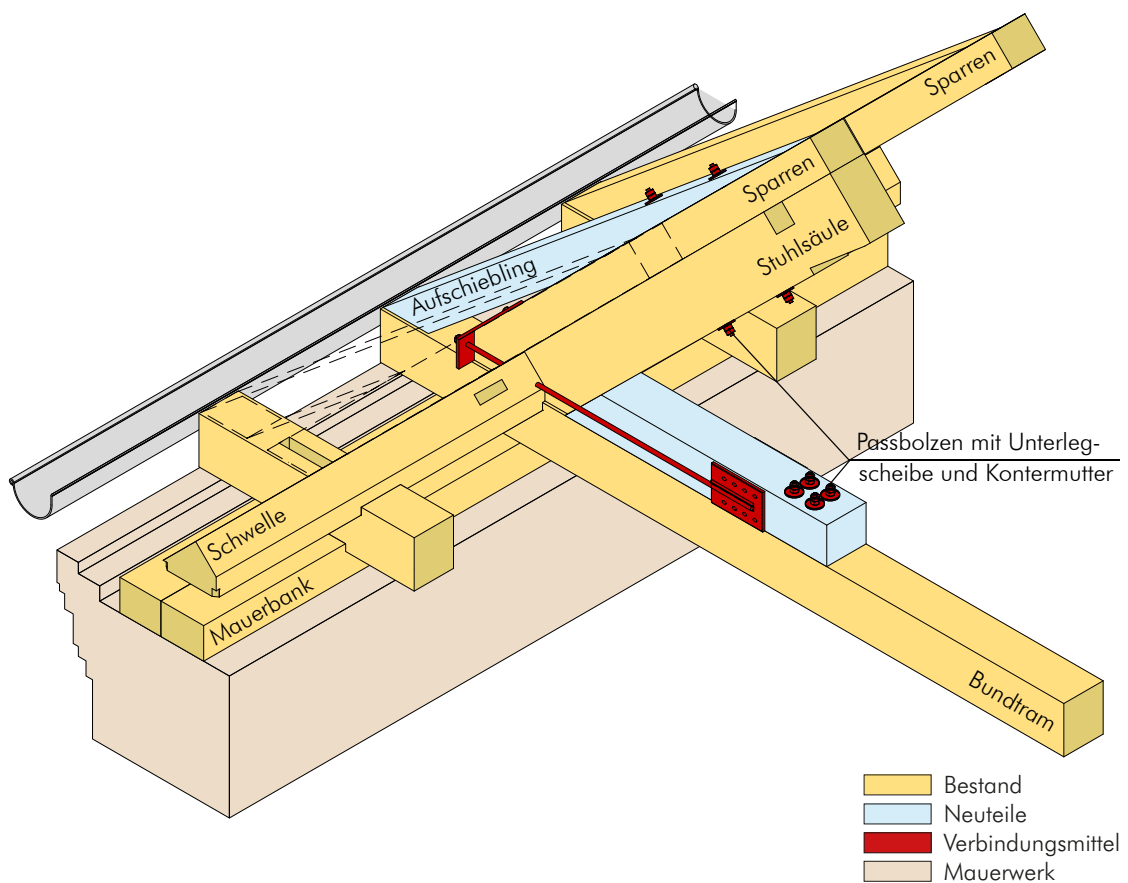
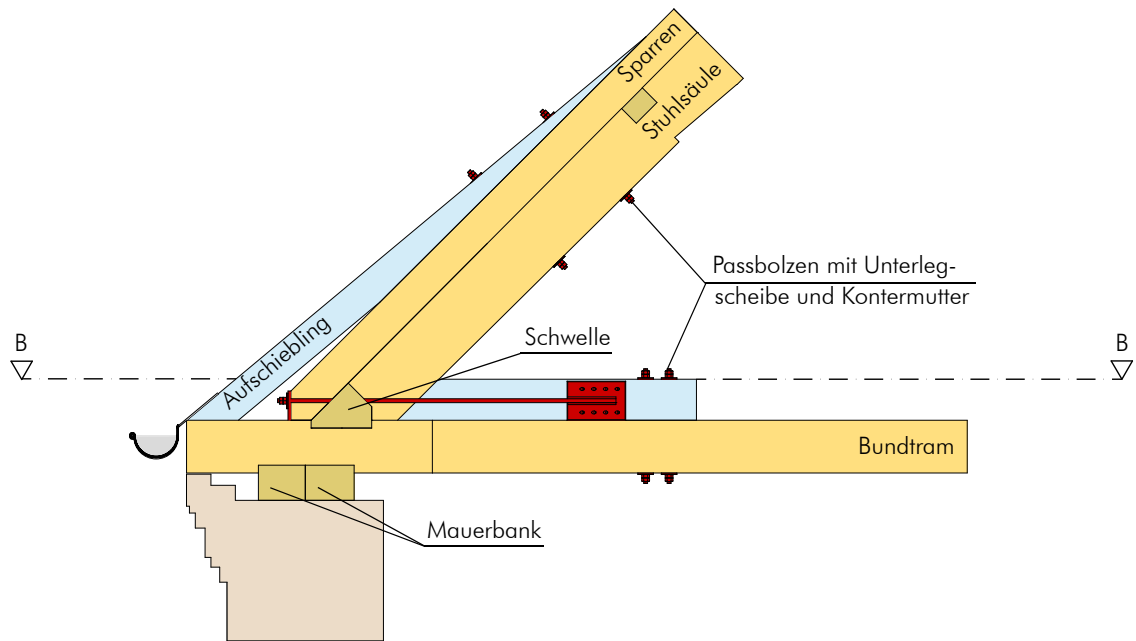


Abb. 5.18: Instandsetzung eines Sparren – Bundtramanschlusses mittels Zugstangensystem

Schnitt A – A



Schnitt B – B

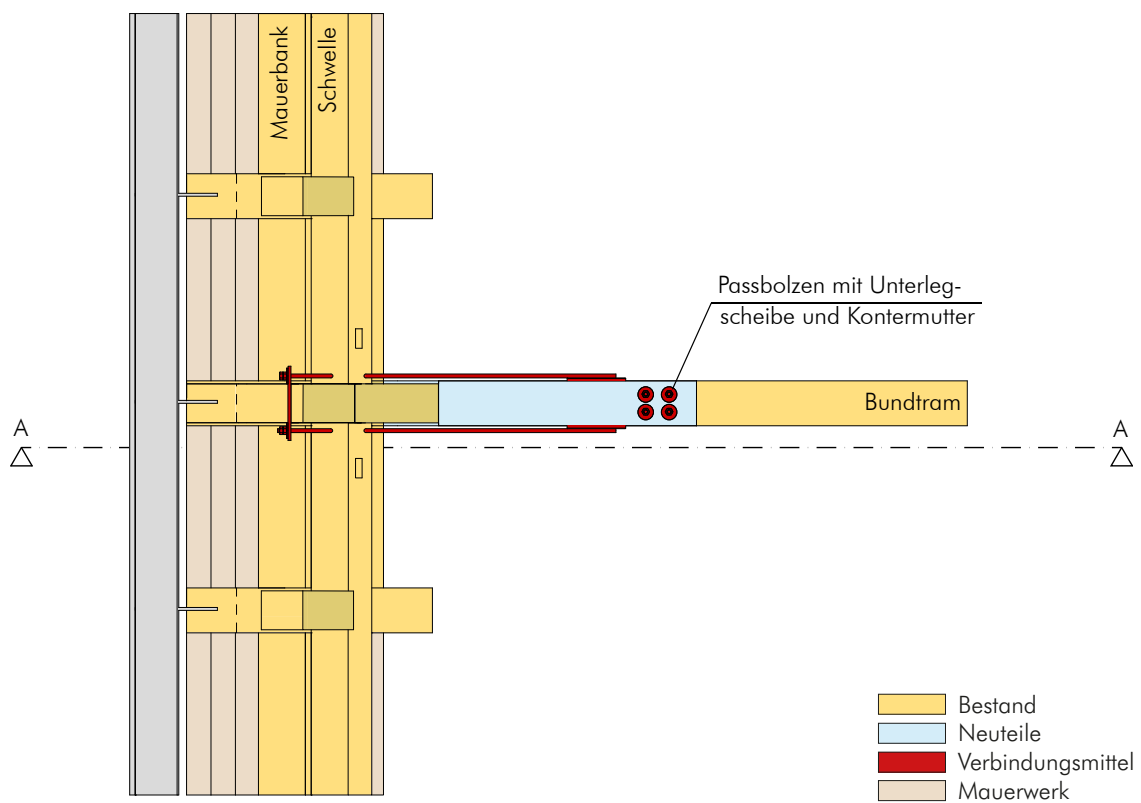


Abb. 5.19: Schnitte der Instandsetzung eines Sparren – Bundtramanschlusses mittels Zugstange

Abb. 5.20 zeigt eine Instandsetzung eines zerstörten Sparren – Bundtramanchlusses mit Hilfe eines neuen Bauteils, welches mit dem Bundtram kraftschlüssig verbunden wird. Weiter wird zur Kraftübertragung des Sparrens in den neuen Bauteil, eine neue Verbindung benötigt. Als Verbindung wird hier der Fersenversatz empfohlen, da dieser vergleichsweise einfach herzustellen ist und sich somit bei beengten Verhältnissen besonders eignet. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass das vorhandene Vorholz lt. Norm mit mindestens 20 cm eingehalten werden kann, weshalb ein z. B. Stirnversatz hier häufig nicht in Frage kommt.

Der Vorschlag zur Instandsetzung des Zapfens zwischen Bundtram und Sparren sieht folgendes vor:

- Der geschädigte Bereich des Sparrens wird, passend zum neuen Bauteil, gesund geschnitten und mit einem Fersenversatz versehen.
- Der neue Bauteil wird in der Länge so gewählt, dass ein problemloses Einbringen der Passbolzen möglich ist.
- Im nächsten Schritt wird das Kantholz mit dem Bundtram mittels Passbolzen verbunden.
- Bei Bedarf kann der Sparren zusätzlich noch gegen abhebende Kräfte mit Hilfe von Holzschrauben in das neue Bauteil rückverankert werden. Zwecks konstruktiver Lagesicherung werden solche Schrauben immer empfohlen.

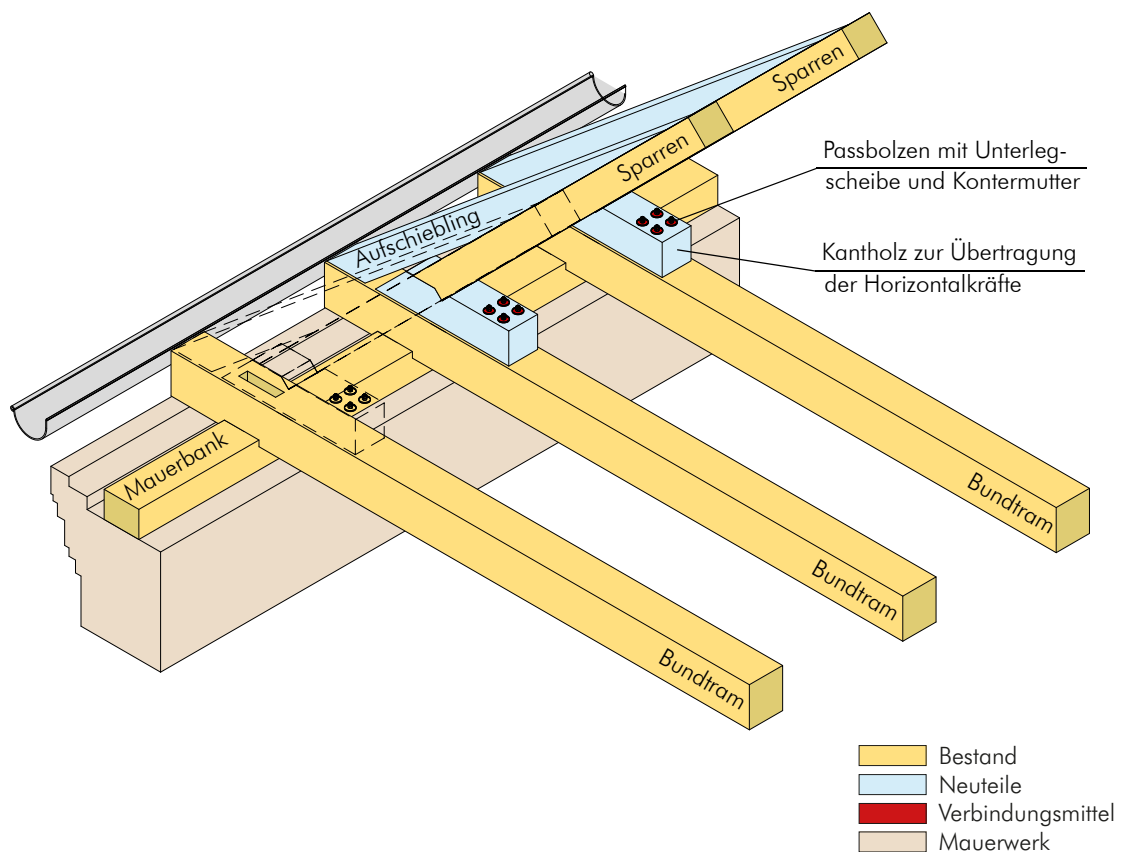
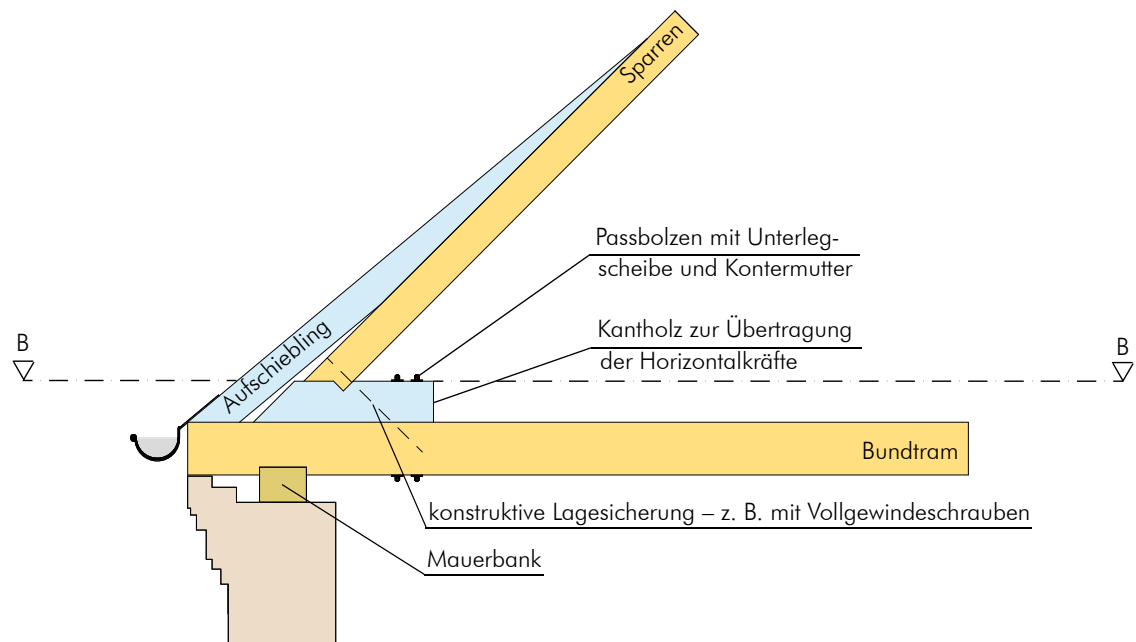


Abb. 5.20: Instandsetzung eines Sparren – Bundtramanchlusses mittels neuem Bauteil

Schnitt A – A



Schnitt B – B

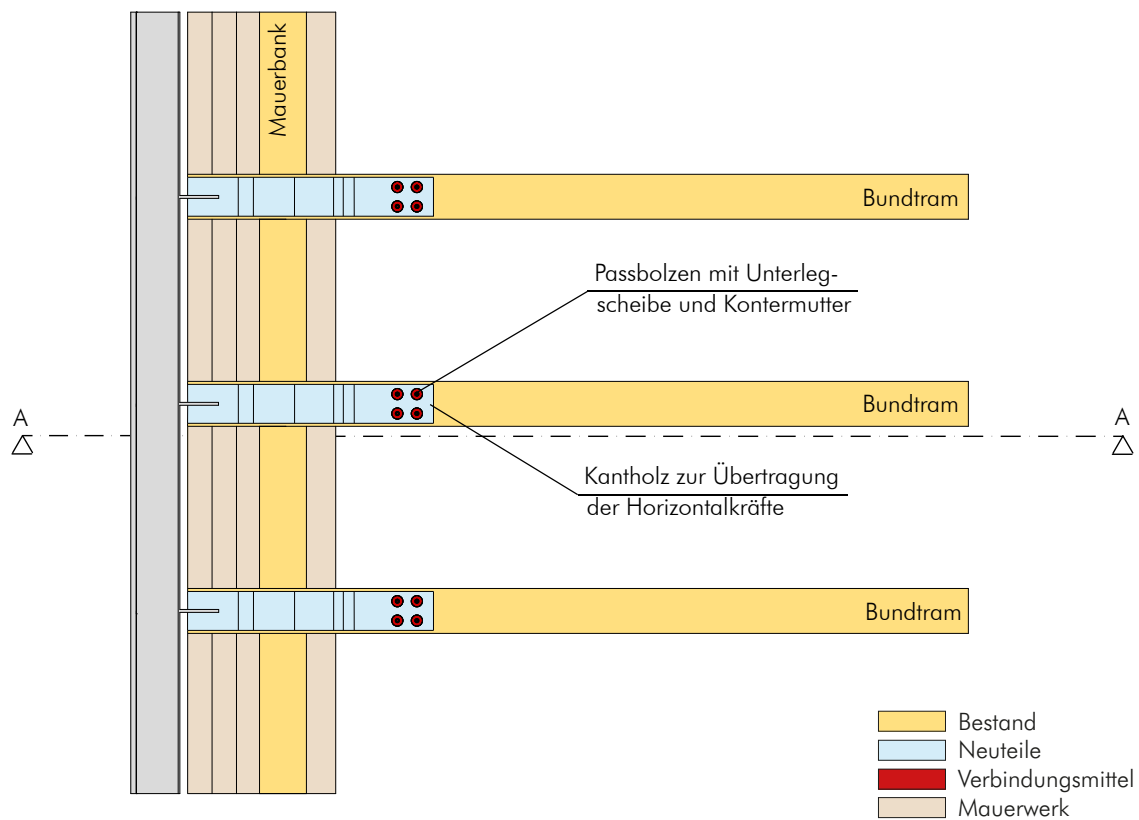


Abb. 5.21: Schnitte der Instandsetzung eines Sparren – Bundtramanschlusses mittels neuem Bauteil

4. Fall: Gesamter Fußpunktbereich zerstört

Der letzte betrachtete Fall ist der zur Gänze zerstörte Fußpunktbereich. Dieser Umfang der Zerstörung kommt z. B. besonders häufig im Bereich von Kamindurchführungen vor (vgl. Abb. 5.28). Im Folgenden werden hierzu drei unterschiedliche Instandsetzungsmöglichkeiten angegeben.

Die erste Instandsetzung zielt auf die Erhaltung der intakten Sparren und Stuhlsäulen. Dazu wird ein Flacheisen mit aufgeschweißten Stahlwinkeln empfohlen. Die Stahlwinkel dienen dabei zur Aufnahme und Weiterleitung der Kräfte aus dem Sparren bzw. der Stuhlsäule in das Flacheisen und weiter in den Bundtrah. Dieses Flacheisen wird in den neuen Teil des zerstörten Bundtrahes mit der Oberfläche eben eingefräst und mit Passbolzen kraftschlüssig mit dem Bundtrah verbunden. Dazu müssen der Sparren bzw. die Stuhlsäule entsprechend im Fußbereich im rechten Winkel abgeschnitten werden. Um zu verhindern, dass der Sparren bzw. die Stuhlsäule seitlich vom Winkeleisen ausweicht, werden hier in Längsrichtung des Flacheisens zusätzliche Steifen angeordnet und angeschweißt und diese wiederum im Sparren bzw. der Stuhlsäule eingeschlitzt (siehe Abb. 5.22).



Abb. 5.22: Instandsetzung eines Bundtrah – Sparren bzw. Stuhlsäulenanschlusses mittels Flacheisen und aufgeschweißten Stahlwinkeln (FOTO: ANDREAS MEISEL – Alter Hof, München)

Der Vorschlag zur Instandsetzung des Bundtrahes sieht folgendes vor:

- Im ersten Schritt wird der Bestand angehoben und gesichert.
- Danach werden die geschädigten Bauteile entfernt.
- Die Mauerbank wird in Stand gesetzt (vgl. Abb. 5.11 und Abb. 5.13).
- Der neue Teil des Bundtrahes mit dem eingefrästen und mit Passbolzen fixierten Flacheisen wird mit dem Bestand überblattet und mittels Bolzen, Unterlegscheiben und Kontermuttern mit diesem kraftschlüssig verbunden (vgl. Abb. 5.14 und Abb. 5.15)
- Der Sparren und die Stuhlsäule sind entsprechend den Positionen der Stahlwinkel zu kappen und einzuschlitzen.
- Danach kann der Bestand wieder gesenkt und auf den Winkeln abgestellt werden. Bei Bedarf kann der Sparren bzw. die Stuhlsäule zusätzlich mit selbstbohrenden Stabdübeln mit den Steifen verbunden werden.
- Zum Schluss wird der neue Aufschiebling angebracht und die Dachhaut wieder verschlossen.

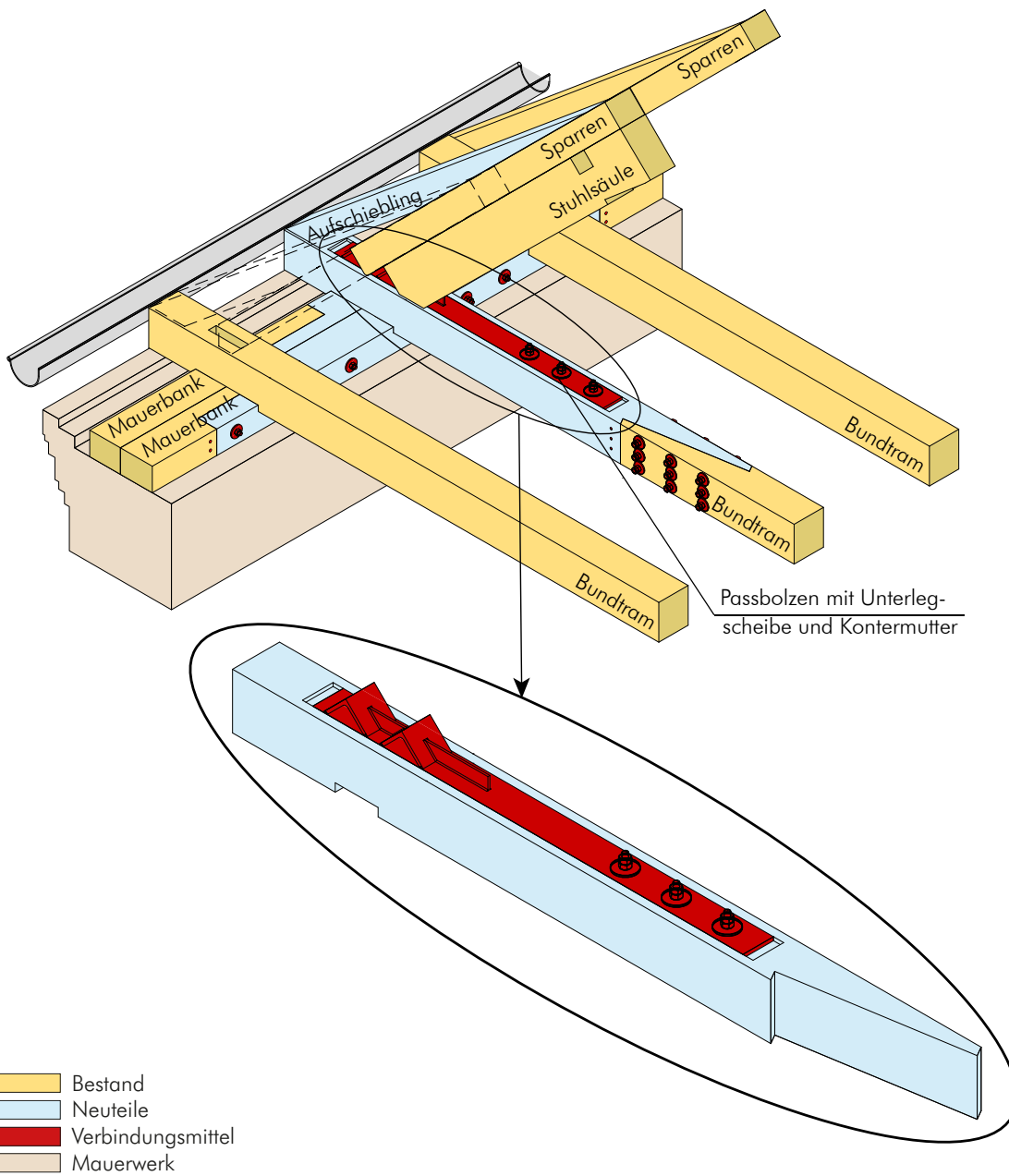
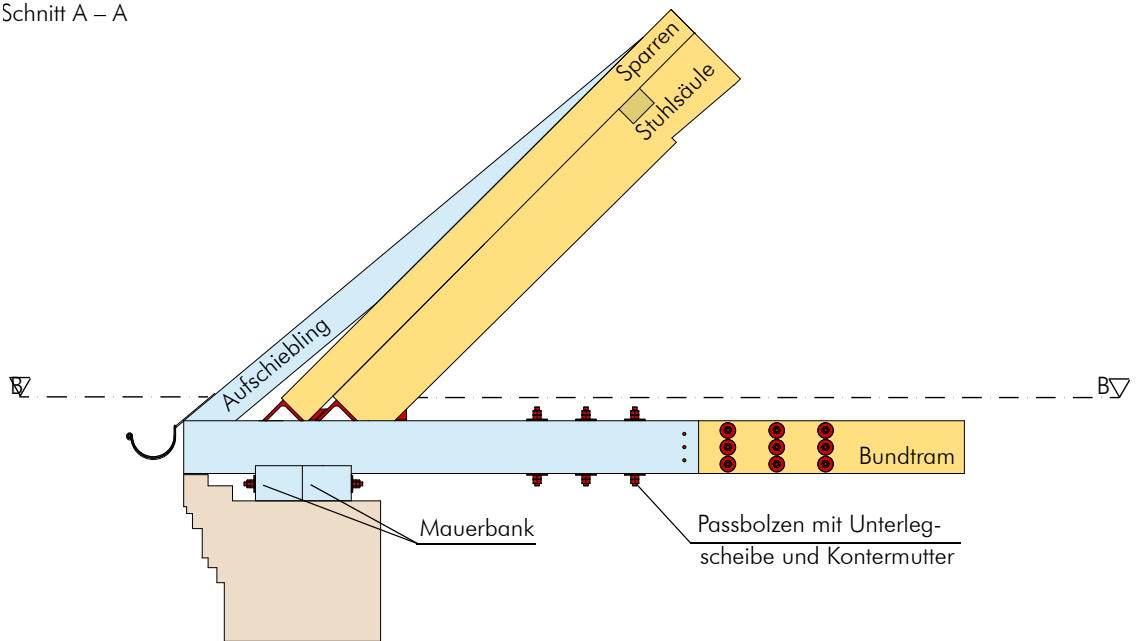


Abb. 5.23: Instandsetzung eines Bundtram – Sparren- bzw. Stuhlsäulenanschlusses mittels Flacheisen und aufgeschweißten Stahlwinkeln als 3D – Modell

Schnitt A – A



Schnitt B – B

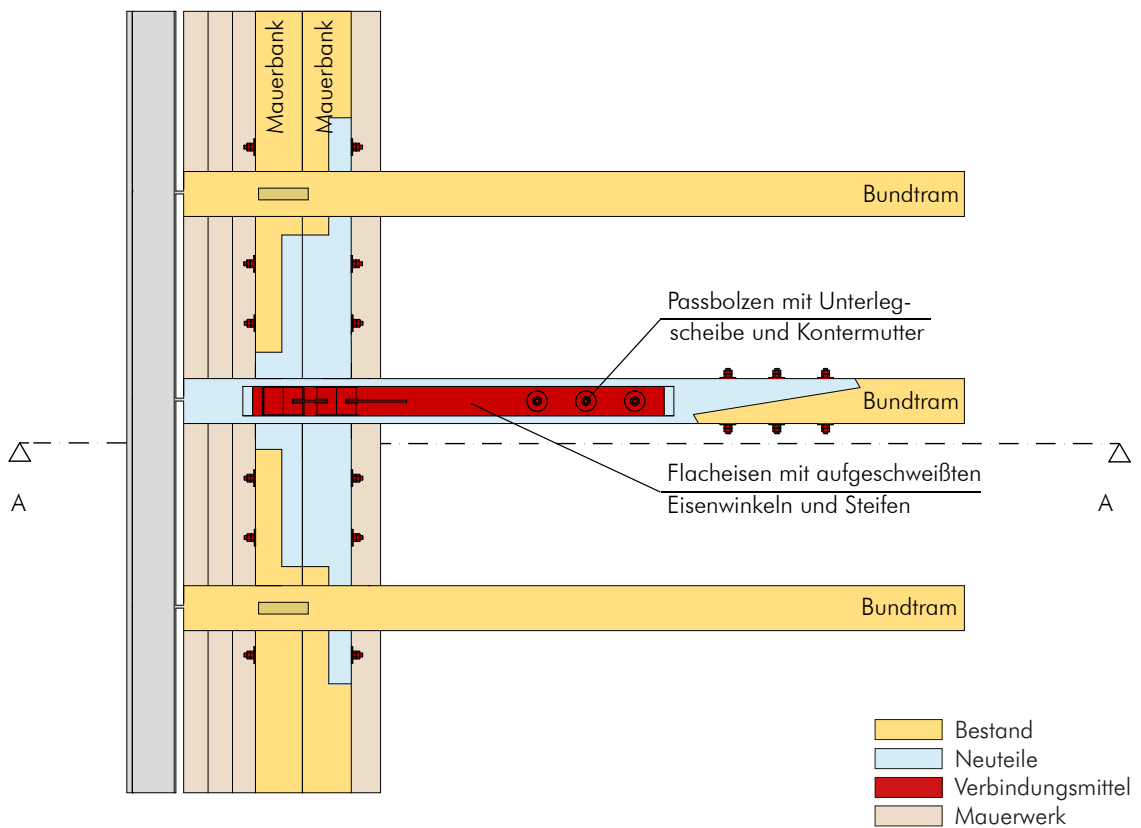


Abb. 5.24: Auf- und Grundriss einer Instandsetzung eines Bundtram – Sparren- bzw. Stuhlsäulenanschlusses mittels Flacheisen und aufgeschweißten Stahlwinkeln

Die zweite Möglichkeit einen zur Gänze zerstörten Fußbereich wieder in Stand zu setzen, bietet die Instandsetzung mit Hilfe von Anlaschungen. Bei Instandsetzungen dieser Art wird empfohlen, die Anlaschungen immer beidseitig anzubringen, da es ansonsten zu ungewollten Exzentrizitäten kommt und daraus können Verformungen und Folgeschäden resultieren. Weiter sind die Laschen so zu dimensionieren, dass diese die gesamte Last des in Stand gesetzten Bauteils übertragen können. Um die auftretenden Kräfte aus den Sparren in den Bundtrarm leiten zu können, werden die Laschen der Sparren mittels einem Fersenversatz an die Laschen des Bundtrarmes angeschlossen. Hierbei ist wiederum auf die Mindestvorholzlänge lt. Norm zu achten.

Der Vorschlag zur Instandsetzung des Bundtrarmes sieht folgendes vor:

- Im ersten Schritt wird der Bestand angehoben und gesichert.
- Danach wird der betroffene Bereich gesund geschnitten.
- Weiter wird die Mauerbank wieder in Stand gesetzt (vgl. Abb. 5.11 und Abb. 5.13).
- Die herausgeschnittenen Teile des Bundtrarmes und des Sparrens werden durch neue Holzteile, welche in ihrer Geometrie dem Bestand angepasst sind, ersetzt.
- Im nächsten Schritt werden die neuen Holzteile mit dem Bestand mittels stumpfem Stoß und seitlich angebrachten Laschen wieder verbunden. Um einen durchgehenden Kontakt der Anlaschungen mit dem Bestand und somit eine kraftschlüssige Verbindung gewährleisten zu können, wird empfohlen, die Laschen zu Beginn mittels einer Zwinge oder Teilgewindeschrauben mit dem Bestand zu verbinden. Als Verbindungsmittel werden, entsprechend der berechneten Tragfähigkeit, Passbolzen, Unterlegscheiben und Muttern bzw. Kontermuttern angeordnet.
- Abschließend wird der neue Aufschiebling angebracht und die Dachhaut wieder verschlossen.

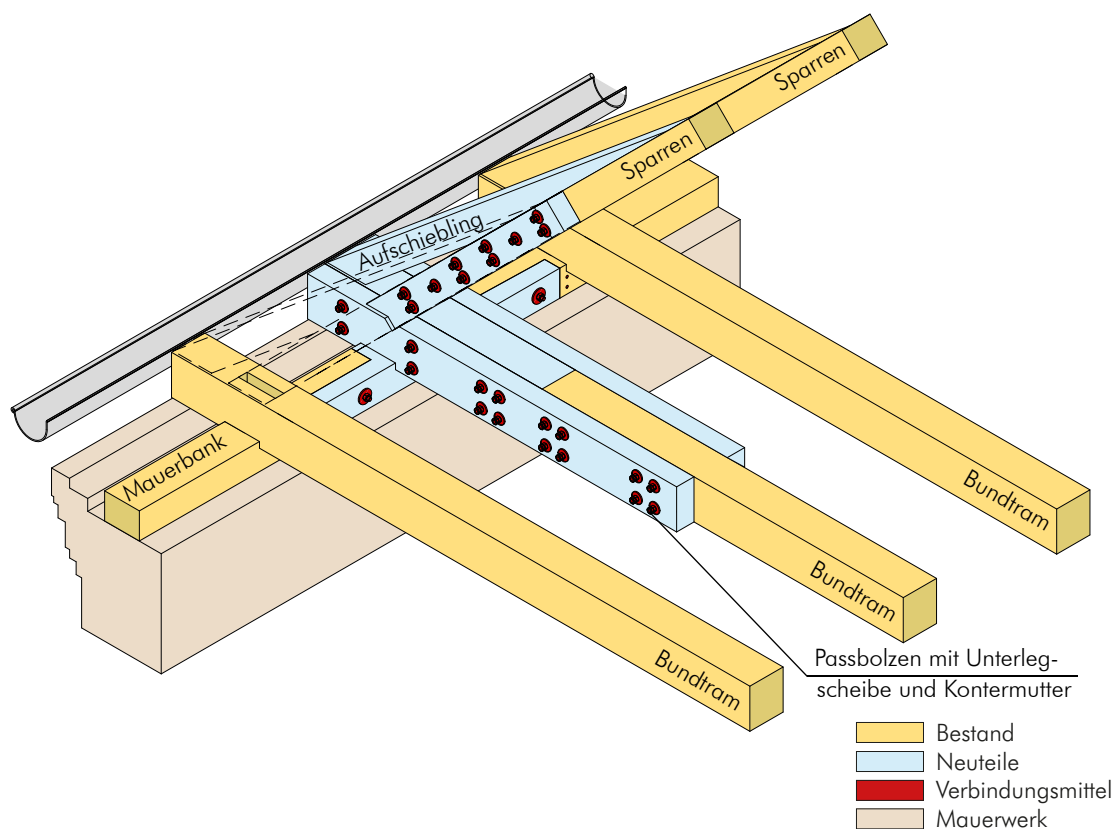
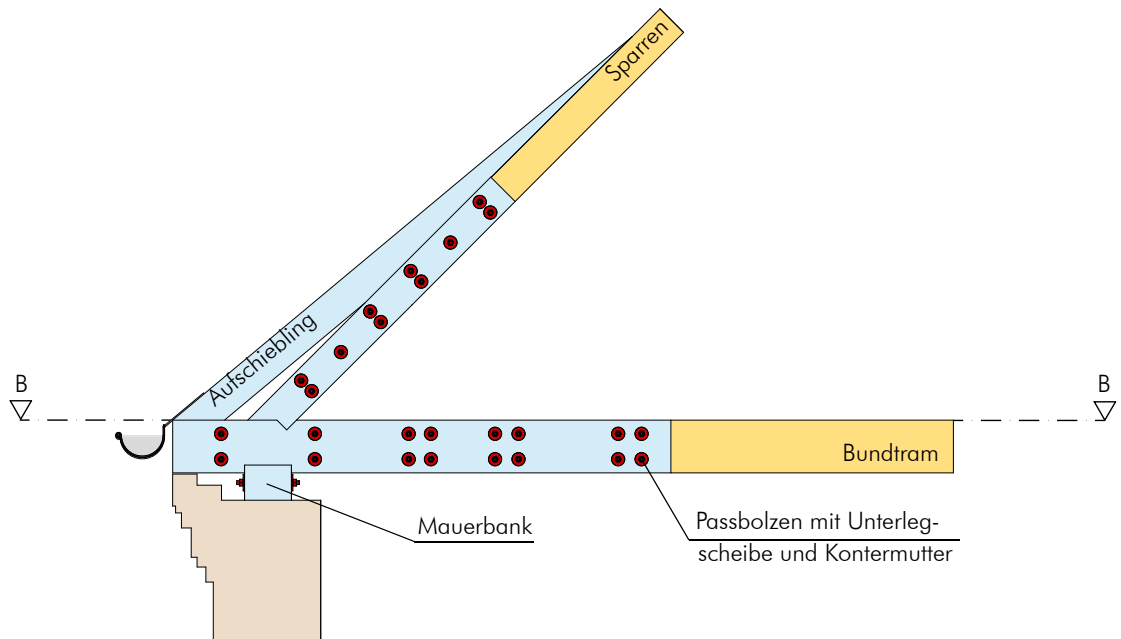


Abb. 5.25: räumliche Darstellung der Instandsetzung eines Fußpunktes mittels Anlaschungen

Schnitt A – A



Schnitt B – B

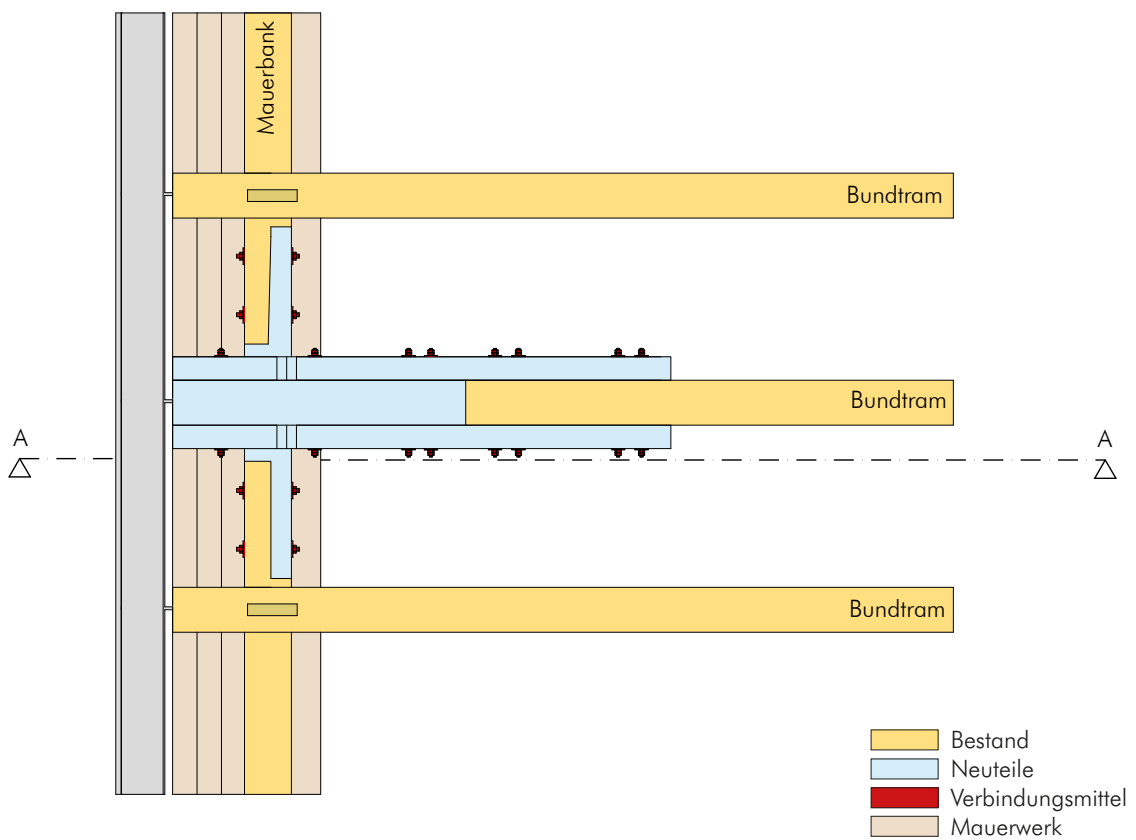


Abb. 5.26: Schnitte zur Fußpunktinstandsetzung mittels Anlaschungen

Ein Beispiel für eine gelungene Instandsetzung eines Fußpunktes eines historischen Dachtragwerkes zeigt Abb. 5.28. Wie auf den Bildern in Abb. 5.27 ersichtlich, lag hier ein Schaden aufgrund eines Pilzbefalls neben einer Kamindurchführung vor. Dabei wurde der gesamte Fußpunktbereich zerstört. Bei der Instandsetzung wurde der betroffene Bereich gesund geschnitten und die Bauteile in ihrer Geometrie und deren Verbindungen zimmermannsmäßig nachgebildet. Beide Mauerbänke sowie die Schwelle wurden in diesem Bereich erneuert und mit dem Altbestand ingenieurmäßig verbunden. Der Längsstoß der Stuhlsäule wurde mit Hilfe eines schrägen Blattes und der des Sparren mittels eines geraden Blattes ausgeführt. Der Bundtram wurde ebenfalls mit Hilfe eines geraden Blattes mit dem neuen Bauteil verbunden. Als Verbindungsmittel wurden hauptsächlich Passbolzen und für untergeordnete Aufgaben Vollgewindeschrauben verwendet (vgl. Abb. 5.29).



Abb. 5.27: Links: Schaden am Fußpunkt aufgrund von Pilzbefall (Kehlbalkendach – Alte Universität, Graz); Rechts: aus Sicht der Denkmalpflege korrekt sanierter Fußpunkt (Kehlbalkendach – Alte Universität, Graz)



Abb. 5.28: Instandsetzung eines Fußpunktschadens aufgrund Pilzbefall (Alte Universität, Graz)

Die Ansicht der Abb. 5.29 zeigt die ausgeführte Instandsetzung des Fußpunktbereiches eines Vollgespärres der Alten Universität Graz. Dabei ist anzumerken, dass das liegende Blatt der vorliegenden Instandsetzung nur aufgrund der Verschraubung mit dem Sparren als fachgemäß angesehen werden kann.

Schnitt B – B

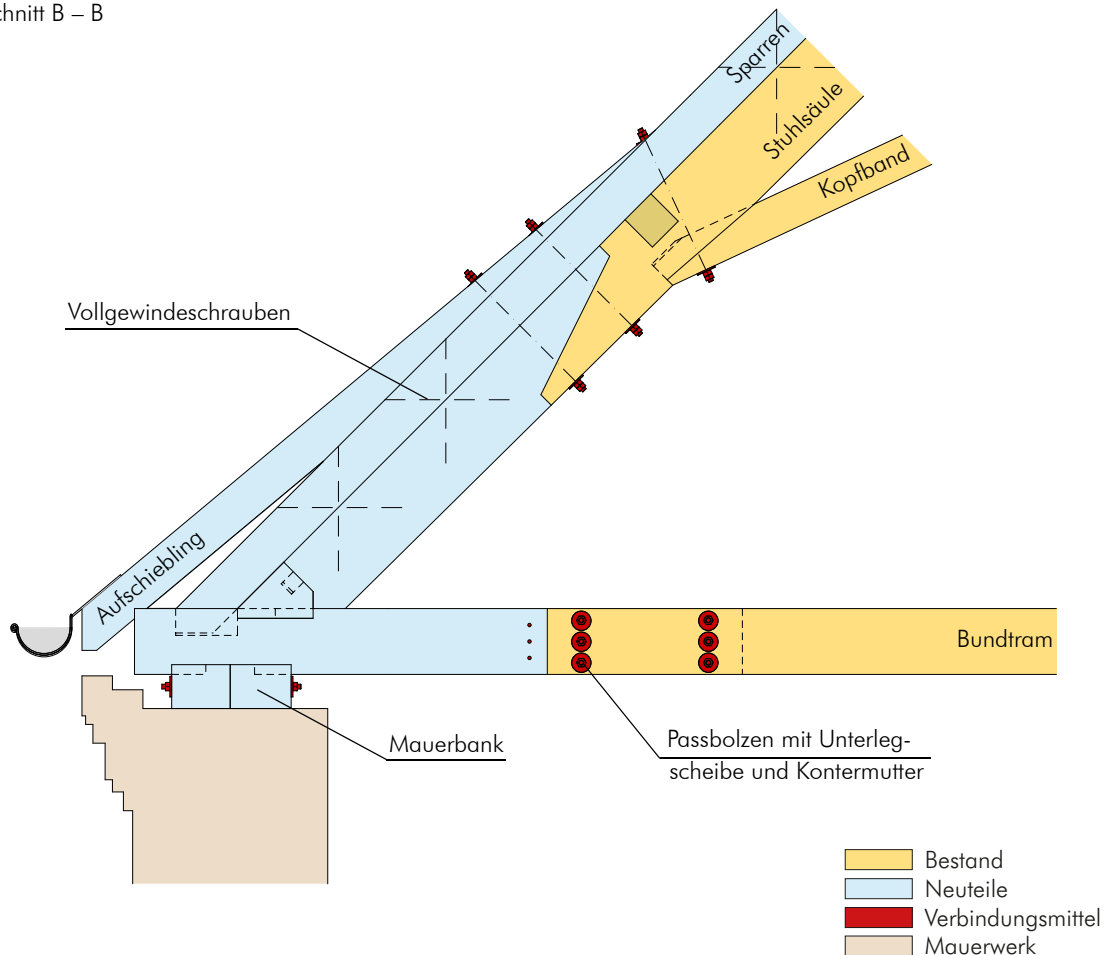


Abb. 5.29: zweidimensionale Darstellung der erfolgten Instandsetzung des Fußpunktes der Alten Universität, Graz

Im Folgenden wird in Abb. 5.30 sowie Abb. 5.31 gezeigt, wie eine fachmännische Instandsetzung eines Bundtrapes mittels schrägem Blatt mit schrägem Stoß, sowie eines Sparren mittels geradem Blatt mit schrägem Stoß aussehen kann. Weiters ist auf den folgenden Bildern gut zu erkennen, mit welchen Werkzeugen man eine solche Instandsetzung durchführen und die kraftschlüssige Verbindung der Bauteile gewährleisten kann.



Abb. 5.30: fachmännische Instandsetzung eines Bundtrames mittels schräger Überblattung mit schrägem Stoß
(FOTO: NORDKURIER)



Abb. 5.31: fachmännische Instandsetzung eines Sparren mittels geradem Blatt und schrägem Stoß
(FOTO: NORDKURIER)

5.2.2 Querschnittsschwächungen

Querschnittsschwächungen können unterschiedliche Ursachen haben. Ein typischer Fall stellt der Befall durch Insekten dar. Hier kommt es vor allem nach dem Bebeilen der geschädigten Bauteile zu Querschnittsschwächungen und folglich häufig zu daraus resultierenden Verstärkungsbedarf. In weiterer Folge könnten z. B. geplante Nutzungsänderungen ebenfalls dazu führen, dass der Bestand den Belastungen nicht mehr standhält und somit verstärkt werden muss. In diesen Fällen wird empfohlen, die betroffenen Bauteile des Dachtragwerkes mittels Aufdopplung des Bestandes in Stand zu setzen. Es können hierbei aus statischen Gründen auch zusätzliche Zug- bzw. Druckglieder zur Windlastabtragung und Aussteifung des gesamten Dachtragwerkes erforderlich werden.

Abb. 5.32 zeigt nicht fachgerechte Instandsetzungen eines zerstörten Sparren. Anlaschungen sollten stets beidseitig angeordnet werden um Exzentrizitäten bei der Lasteinleitung in den nächsten Bauteil zu vermeiden. Bei Instandsetzungen dieser Art sind durch die unterschiedlich starken Querschnitte oft Futterhölzer nötig, um diese kraftschlüssig miteinander verbinden zu können. Daraus resultiert eine höhere Nachgiebigkeit der Verbindung, welche bei der Wahl der Instandsetzungsart Berücksichtigung finden sollte. Äquivalent zur Instandsetzung mittels Anlaschungen sind auch Stahlprofile (z. B. U-Profile) denkbar.



Abb. 5.32: unfachgemäße Instandsetzungen eines Sparren mittels Aufdopplung bzw. Anlaschung (Schloss Hainfeld, Steiermark)

Abb. 5.33 – linkes Bild, zeigt eine fachmännische Instandsetzung eines Sparren mittels Anlaschung. Abb. 5.33 – rechtes Bild, zeigt eine Instandsetzung, welche aufgrund eines grundsätzlichen Konstruktionsfehlers bei der Erstellung des Dachtragwerkes im Jahre 1585 durchgeführt wurde. Aufgrund der fehlenden Bundträme wurden, um die horizontalen Kräfte „kurzschließen“ zu können, Zugstangen eingebracht. Die Verformungen, welche sich über die Jh. eingestellt haben, wurden rückgängig gemacht. Durch die neue Dachdeckung und den Eingriff in das statische System, mussten in weiterer Folge sämtliche Sparren verstärkt werden.



Abb. 5.33: Links: Instandsetzung eines Sparren mittels Anlaschung (Alter Hof, München); Rechts: Instandsetzung der Sparren mittels Anlaschung und Aussteifung des Dachtragwerkes (Schloss Greifenstein, Niederösterreich)

5.2.3 Schäden an Kehlbalken – Sparrenverbindungen sowie Firstpunkten

Der Anschluss der Kehlbalken an die Sparren in historischen Dachtragwerken wurde typischerweise als Zapfen- oder Blattverbindung ausgeführt. Am häufigsten wurden der schräge Zapfen und das Weißschwanzblatt als Verbindung gewählt. Die Instandsetzungen dieser Knotenpunkte kommen häufig aufgrund von Verdrehungen der Bauteile (z. B. aufgrund von Drehwuchs oder Verformungen des Dachtragwerkes) oder Bruch der Verbindungen (z. B. aufgrund von Überbelastung) vor. Firstpunkte wurden typischerweise als Scherzapfen bzw. Ecküberblattung ausgeführt (vgl. Abb. 5.34).



Abb. 5.34: Links: Bruch eines Weißschwanzblattes aufgrund Rollschubversagen (Ferdinandum, Graz); Rechts: zerstörter Firstpunkt aufgrund Pilzbefall (Schloss Hainfeld, Feldbach)

Die Instandsetzungsbeispiele zu diesen Schäden sind relativ einfach durchzuführen und universell anwendbar. Abb. 5.35 zeigt die Instandsetzung der zwei typischerweise auftretenden Verbindungsarten an Firstpunkten. Hierzu ist anzumerken, dass sowohl die Anlaschung als auch die Instandsetzung mittels eines Bolzens oder Passbolzens für beide Verbindungsarten, je nach Schadensbild, angewendet werden können.

Da die folgenden Instandsetzungen selbsterklärend sind, werden diese in weiterer Folge nicht weiter erläutert.

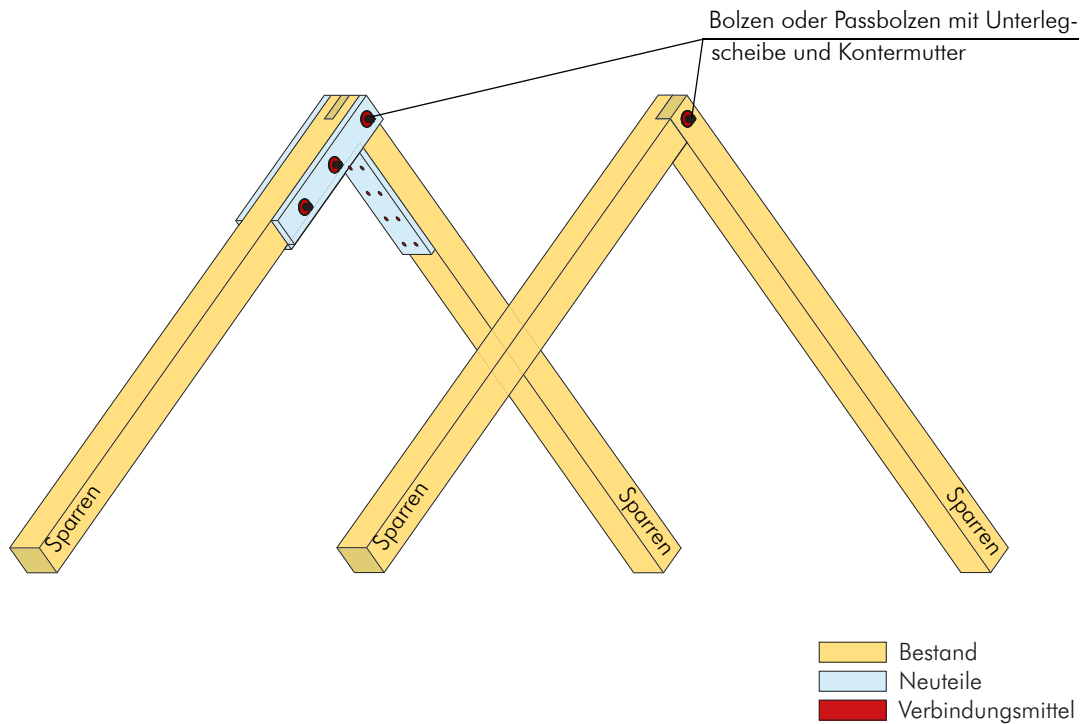


Abb. 5.35: Links: Instandsetzung nach zerstörtem Scherzapfen mittels Anlaschung und Bolzen; Rechts: Instandsetzung einer stark klaffenden Verbindung durch Passbolzen mit Unterlegscheibe und Kontermutter

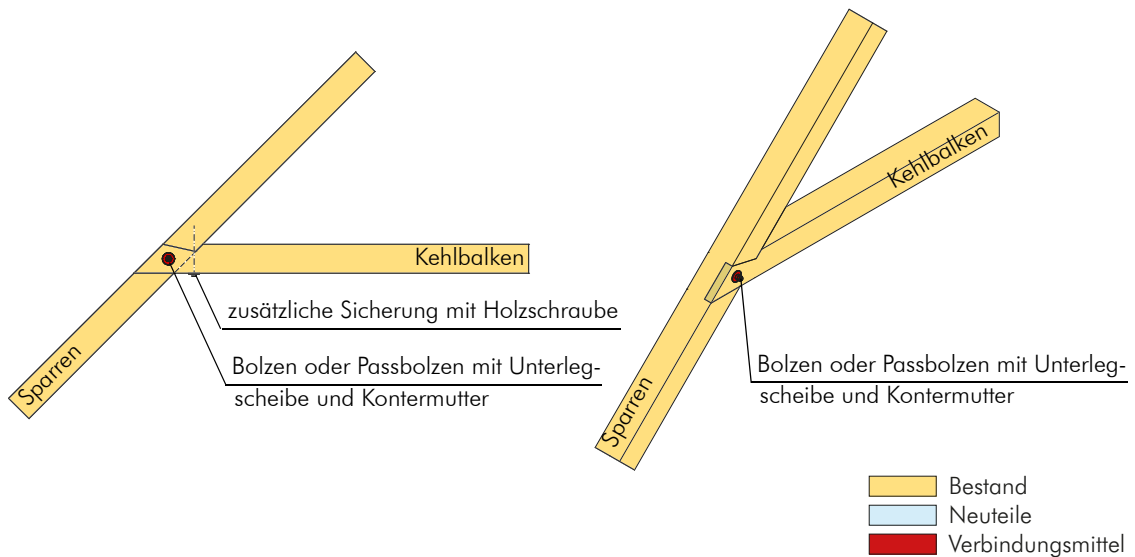


Abb. 5.36: Instandsetzungsmöglichkeiten von Weißschwanzblättern einer Kehlbalken – Sparrenverbindung

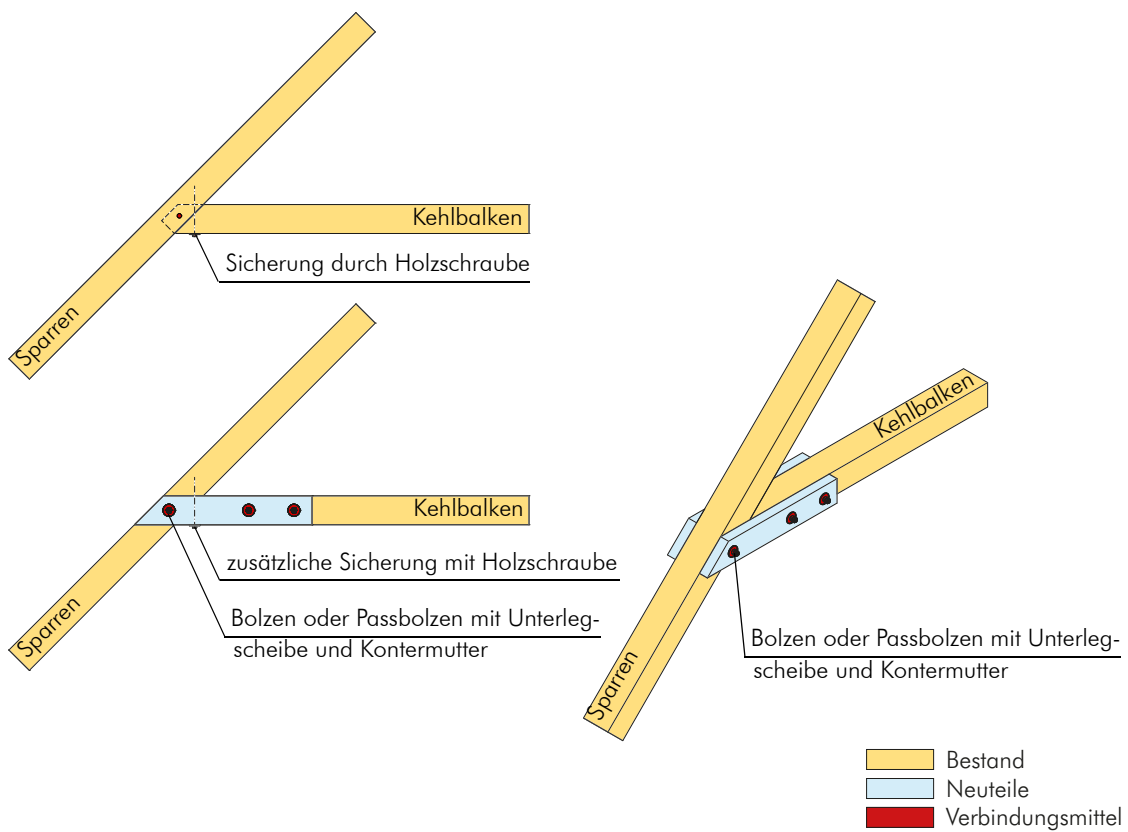


Abb. 5.37: Links oben: Ansicht einer Instandsetzung eines Kehlbalken – Sparrenanschlusses mittels Holzschrauben; Links unten: Ansicht einer Instandsetzung eines Kehlbalken – Sparrenanschlusses mittels Anlaschung und Bolzen; Rechts: Instandsetzungsdetail in 3D eines Kehlbalken – Sparrenanschlusses mittels Anlaschung und Bolzen

6 Vereinfachte Berechnung historischer Verbindungen

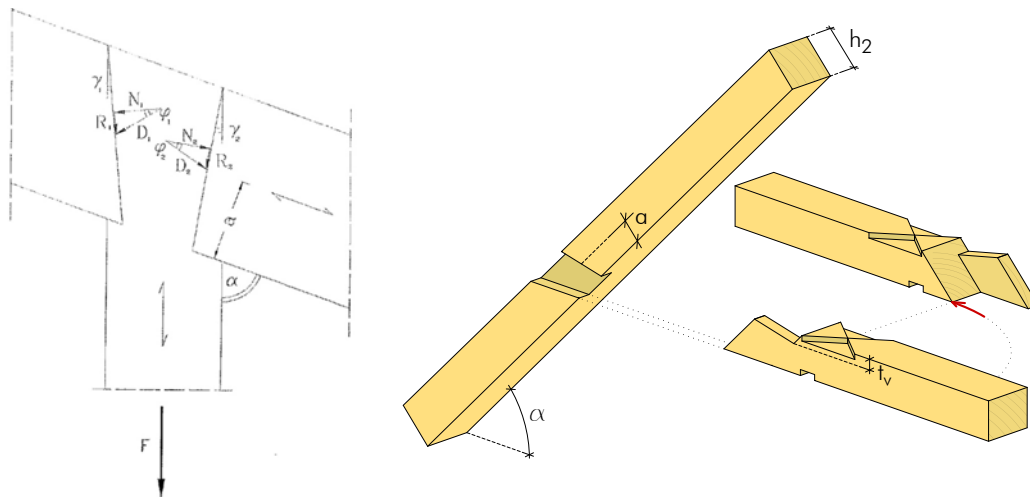
In diesem Kapitel werden im folgenden Diagramme zur vereinfachten Tragfähigkeitsbemessung typischer historischer Verbindungen angeführt. Diese sollen eine schnelle Vorbemessung ermöglichen.

Im Anhang F werden in weiterer Folge die Auszüge zu den Berechnungsfiles für typische historische Verbindungen, welche auf der beigelegten CD zu finden sind und mittels dem Office Programm Excel erstellt wurden, angehängt.

6.1 Weißschwanzverbindung

6.1.1 Weißschwanzverbindung auf Zug belastet

Zur Berechnung der Weißschwanzverbindung auf Zug wurden die Formeln von GÖRLACHER U. A. (1990) herangezogen (vgl. Abb. 6.1).



Es bedeuten:

- zul F ... maximal aufnehmbare Zugkraft [kN]
- a ... halbe Einbindetiefe des Blattes rechtwinkelig zur Faserrichtung des Hauptträgers [mm]
- α ... Anschlusswinkel zwischen Haupt- und Nebenträger [°]
- k ... Geometriefaktor [-]
- γ_1, γ_2 ... Winkel zwischen Längsachse des Nebenträgers und den Flanken des Blattes [°]
- φ_1, φ_2 ... Reibungswinkel zwischen Blatt und Blattsasse [°]
- h_2 ... Höhe des Hauptträgers [mm]
- t_v ... Kerbtiefe [mm]

Abb. 6.1: Links: Kräftespiel und Geometrieparameter in einer zugbeanspruchten Blattverbindung (vgl. GÖRLACHER U. A. (1990)); Rechts: 3D – Darstellung der Weißschwanzverbindung

$$\text{zul } F_1 = 0,06 \cdot \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \frac{1}{1-k} \quad k \leq 0,5$$

$$\text{zul } F_2 = 0,06 \cdot \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \frac{1}{k} \quad k > 0,5$$

$$k = \frac{\tan(\gamma_2 + \varphi_2) - \frac{1}{\tan \alpha}}{\tan(\gamma_1 + \varphi_1) + \tan(\gamma_2 + \varphi_2)}$$

In weiterer Folge sind bei den Formeln lt. GÖRLACHER U. A. (1990) das zur damaligen Zeit herangezogene deterministische Sicherheitskonzept zu berücksichtigen. Dieses Sicherheitskonzept arbeitete mit globalen Sicherheitsfaktoren, mit welchen die Unsicherheiten der Einwirkungsseite und der Widerstandsseite erfasst wurden:

$$\text{zul } \sigma_R \geq \sigma_{Ek} = \text{zul } R \geq E_k \dots 1)$$

Um dieses deterministische Sicherheitskonzept in weiterer Folge auf das derzeit gültige semiprobabilistische Sicherheitskonzept überzuführen wird der Lastfaktor $f_{LF} = 1,40$ angewandt (vgl. BIERBRAUER (2008); STEINMETZ (2009)). Dieser setzt sich aus einem Anteil aus ständiger Einwirkung und veränderlicher Einwirkung zusammen.

Nach dem heutigen semiprobabilistischen Sicherheitskonzept gilt: $E_d \leq R_d$

$$\text{dies aufgelöst ergibt: } E_k \cdot \gamma_E \leq \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M}$$

$$\text{nach } E_k \text{ gelöst und gleichgesetzt folgt weiter: } E_k = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M} \cdot \gamma_E \dots 2)$$

setzt man nun die Formel 2) in Formel 1) ein erhält man:

$$\text{zul } R = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M \cdot \gamma_E}$$

$$\text{und löst man diese Formel nach } R_k \text{ erhält man: } R_k = \frac{\text{zul } R \cdot \gamma_M \cdot \gamma_E}{k_{\text{mod}}}$$

Die Berechnung der charakteristischen aufnehmbaren Zuglast R_k lt. GÖRLACHER U. A. (1990) wurde mit den Faktoren $\gamma_M = 1,30$, $\gamma_E = 1,40$ und $k_{\text{mod}} = 0,9$ durchgeführt. Zur vereinfachten Bemessung der Weißschwanzverbindung auf Zug wurde die Einbindetiefe a des Blattes mit der halben Höhe des Hauptträgers und der Reibungswinkel mit $\varphi_{\text{Holz-Holz}} = 15^\circ$ gewählt (vgl. GÖRLACHER U. A. (1990 S. 77)).

Zur Abschätzung der maximal übertragbaren charakteristischen Zugkraft der Weißschwanzverbindung über die Blattlänge ($2 \cdot a$), in Verbindung mit dem vorliegenden Winkel α und der Einschnitttiefe t_w , kann folgendes Diagramm verwendet werden (Mittelwerte können interpoliert werden):

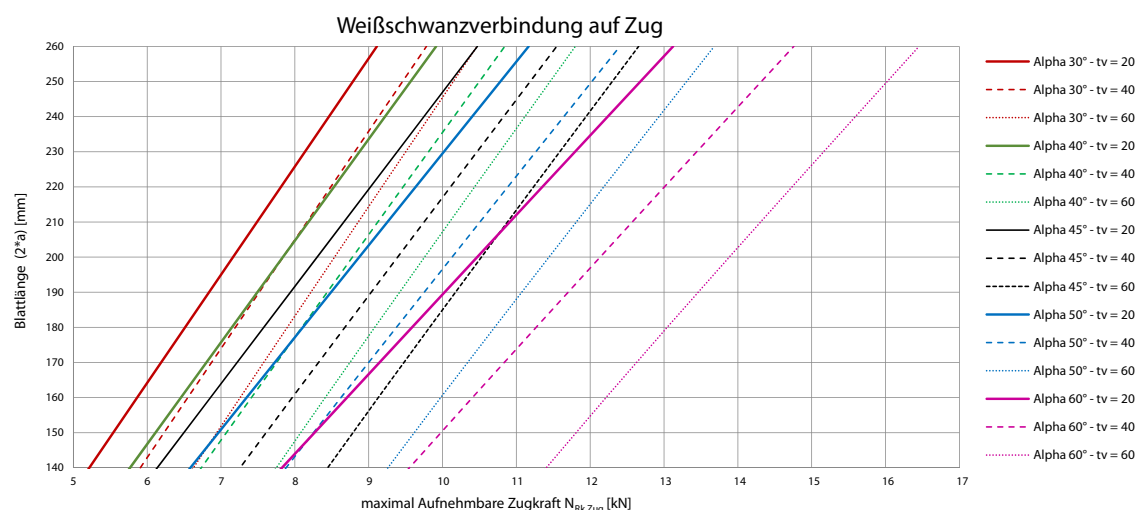


Abb. 6.2: vereinfachte Bemessung der Weißschwanzverbindung auf Zug

6.1.2 Weißschwanzverbindung auf Druck belastet

Zur Berechnung der Weißschwanzverbindung auf Druck wurden die Formeln des Bridge – Forschungsprojektes „HOLZ – HOLZ – Verbindungen“, welches an der Technischen Universität Graz in Kooperation mit der holz.bau forschungs gmbh bearbeitet wurde, herangezogen. Zur Tragfähigkeit einer Weißschwanzverbindung auf Druck wird folgender Bemessungsvorschlag angeführt:

$$N_{Rk, Druck} = k_1 \cdot (a + b \cdot \alpha^{2,5})^2$$

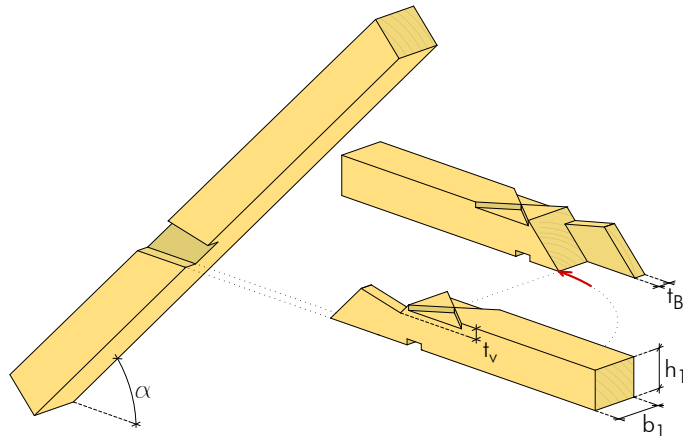
mit:

$$k_1 = \frac{b_1 \cdot h_1 + t_B \cdot (t_v - h_1)}{16400}$$

$$a = 3,98$$

$$b = 2,08 \cdot 10^{-4}$$

Es bedeuten:



N_{Rk} ... charakteristische aufnehmbare Druckkraft der Verbindung [kN]

a, b ... empirisch ermittelte Parameter für den Zusammenhang zwischen Neigungswinkel und Bruchlast [-]

k_1 ... Geometriefaktor [-]

b_1 ... Querschnittsbreite Stabrichtung Blatt [mm]

h_1 ... Querschnittshöhe Stabrichtung Blatt [mm]

t_B ... Blatttiefe [mm]

t_v ... Kerbtiefe [mm]

α ... Neigungswinkel zwischen den Stabachsen [°]

Um die charakteristische aufnehmbare Druckkraft der Verbindung aus dem Diagramm auslesen zu können, muss im Vorfeld der Geometriefaktor k_1 berechnet werden. Mit diesem Faktor ist in weiterer Folge die Kraft über den Winkel α abzulesen.

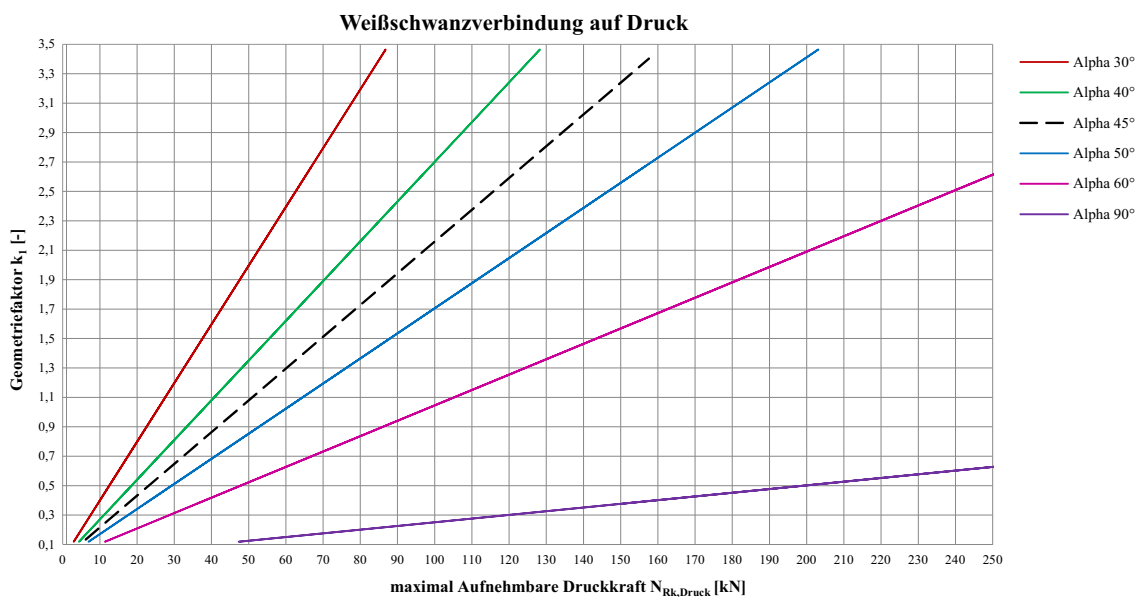


Abb. 6.3: vereinfachte Bemessung der Weißschwanzverbindung auf Druck

6.2 Schwalbenschwanzverbindung – Anschlusswinkel $\alpha = 90^\circ$

6.2.1 Schwalbenschwanzverbindung auf Zug belastet

Die Berechnung der charakteristischen aufnehmbaren Zuglast R_k des Schwalbenschwanzblattes erfolgt analog zum Weißschwanzblatt auf Zug lt. GÖRLACHER U. A. (1990) mit den Faktoren $\gamma_M = 1,30$, $\gamma_E = 1,40$ und $k_{mod} = 0,9$. Zur vereinfachten Bemessung der Schwalbenschwanzblattes auf Zug wurde die Blattlänge der Höhe des Sparren gleichgesetzt und der Reibungswinkel mit $\varphi_{\text{Holz-Holz}} = 15^\circ$ angesetzt (vgl. GÖRLACHER U. A. (1990 S. 77)). Die Geometrie ist wie in Abb. 6.4 dargestellt definiert:

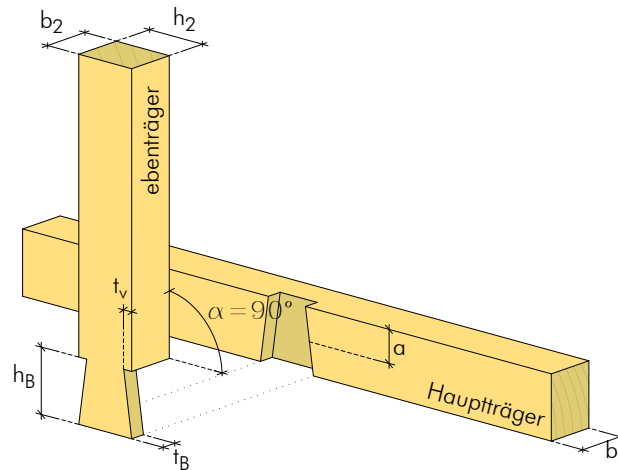


Abb. 6.4: geometrische Darstellung des Schwalbenschwanzblattes

Nach Görlacher hat die Kerbtiefe des Blattes bei einer Anordnung des Nebenträgers zum Hauptträger von $\alpha = 90^\circ$ keine Auswirkung auf die maximal aufnehmbare charakteristische Zugkraft wenn die Winkel zwischen der Längsachse des Nebenträgers und den Flanken des Blattes äquivalent sind ($\gamma_1 = \gamma_2$). Unter dieser Annahme wurde die folgende Tabelle, mit welcher man die maximal aufnehmbare charakteristische Zugkraft eines Schwalbenschwanzblattes unter einem Anschlusswinkel von 90° auslesen kann, erstellt.

Blattlänge h_B [m m]	maximale Zugkraft R_k [kN]
120	14,6
140	17,0
160	19,4
180	21,8
200	24,3
220	26,7
240	29,1
260	31,5

Tab. 6.1: Tabelle zur Bestimmung der maximal aufnehmbaren Zugkraft eines unter 90° angeschlossenen Schwalbenschwanzblattes.

6.2.2 Schwalbenschwanzverbindung auf Druck belastet

Im Folgenden wird eine vereinfachte Bemessung eines unter $\alpha = 90^\circ$ angeschlossenen Schwalbenschwanzblattes angeführt. Die maximal aufnehmbare charakteristische Drucklast der Schwalbenschwanzverbindung kann mittels der effektiven Kontaktfläche A_{ef} und dem in Abb. 6.5 dargestellten Diagramm abgeschätzt werden. Hierbei ist der Eingangsparameter A_{ef} im Vorfeld wie folgt nach EN 1995-1-1:2009 – 6.1.5 zu bestimmen:

$$A_{\text{ef}} = (b_1 - t_B) \cdot (30 + h_2 + 30)$$

... lt. EN 1995-1-1 darf die tatsächliche Kontaktflächenlänge L_z auf jeder Seite um 30 mm erhöht werden.

In weiterer Folge kann das Diagramm in Abb. 6.5 im Allgemeinen für alle Querdrucknachweise dieser Art verwendet werden (z. B. Halb-, Mittel-, Voll- und Kreuzkamm).

Zur Bestimmung des Beiwertes $k_{c,90}$ wurde die Annahme getroffen, dass beidseitiges Vorholz vorliegt. Daraus ergibt sich der Beiwert zu $k_{c,90} = 1,5$ (vgl. enBR:2007 – Tab. 6.1 und 6.2 in Anlehnung an die EN 1995-1-1:2009 – siehe Anhang F).

Um die maximal aufnehmbare Druckkraft aus dem Diagramm ermitteln zu können, folgt man im Folgenden der horizontal verlaufenden effektiven Kontaktfläche A_{ef} und schneidet diese mit der zugehörigen Materialfestigkeitsklasse. Durch diesen Schnittpunkt legt man im weiteren Verlauf eine vertikale Linie und kann somit die maximal aufnehmbare charakteristische Druckkraft $N_{\text{Rk,Druck}}$ an der horizontalen Achse ablesen.

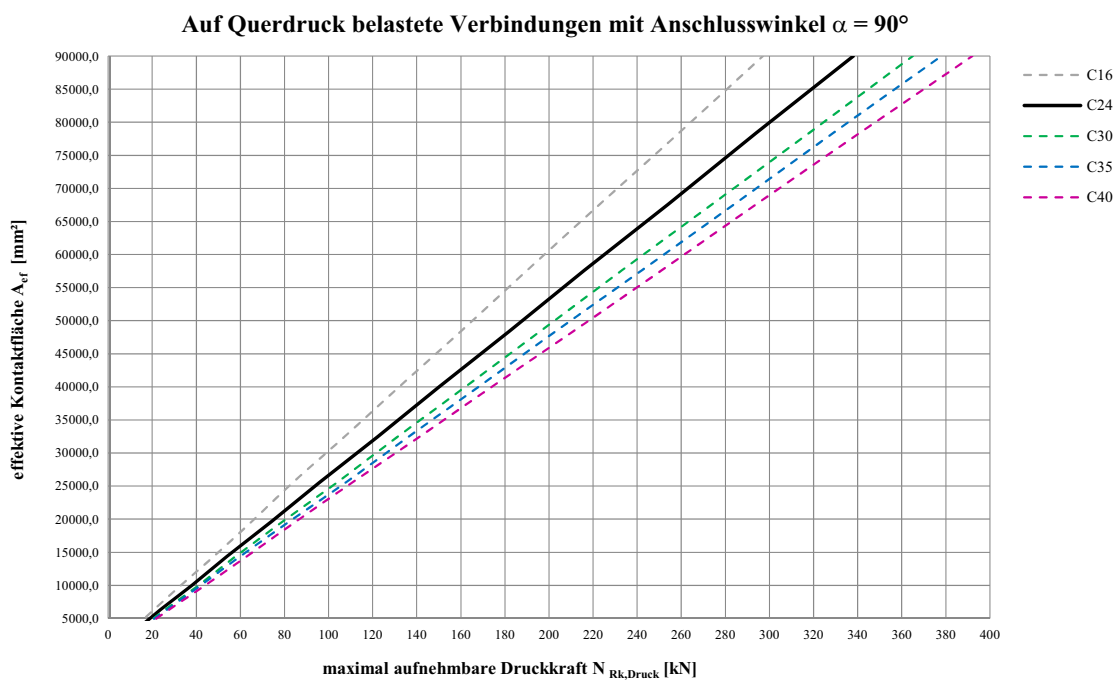


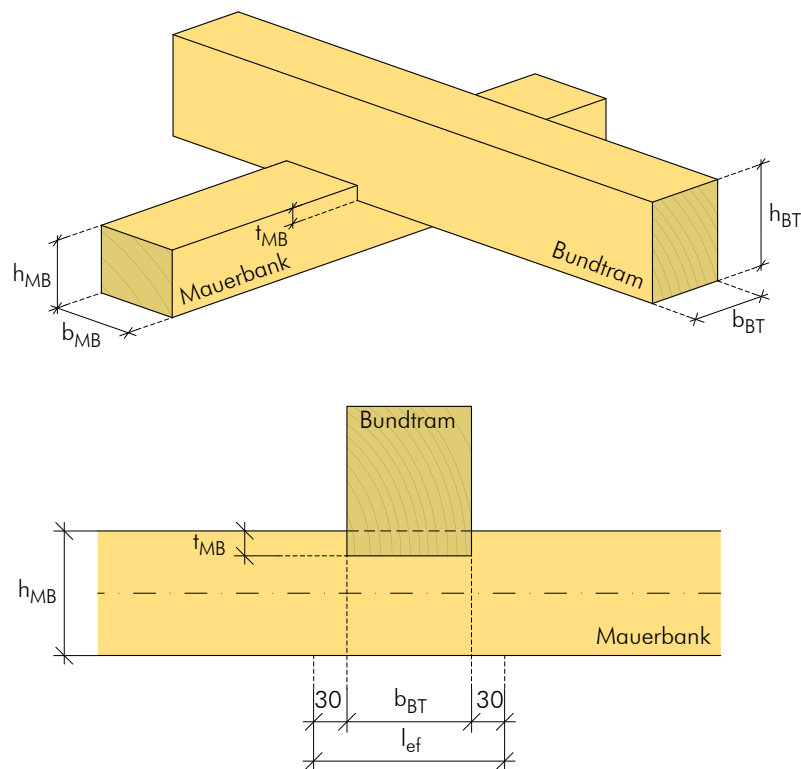
Abb. 6.5: Diagramm zur Bestimmung der charakteristischen aufnehmbaren Querdruckkraft unter einem Winkel von 90° zur Faserrichtung.

6.3 Vereinfachte Berechnung typischer Kammverbindungen

Im Folgenden werden für typische Kammverbindungen in historischen Dachtragwerken Bemessungsvorschläge angegeben. Diese beziehen sich einerseits auf das Bridge – Forschungsprojekt „HOLZ – HOLZ – Verbindungen“ und andererseits auf die EN 1995-1-1:2009.

6.3.1 Halb-, Mittel- und Vollkamm

Der Bemessungsvorschlag für den Halb-, Mittel- und Vollkamm erfolgt nach EN 1995-1-1:2009, da hierzu keine vereinfachten Bemessungsformeln in der vorliegenden Literatur gefunden wurde. In Abb. 6.6 wird beispielhaft eine Kammverbindung aufgezeigt.



Ansicht

Abb. 6.6: Darstellung einer Kammverbindung in Perspektive und Ansicht.

Vertikal und/oder horizontal druckbelastete Halb-, Mittel- oder Kammverbindungen versagen auf Querdruk. Die maximal aufnehmbare charakteristische Druckkraft ist abhängig von der Kontaktfläche A_{eff} . Diese effektive Kontaktfläche wird wie folgt, für die vertikal sowie für die horizontal aufnehmbare Kraft gesondert nach EN 1995-1-1:2009 berechnet:

$$A_{eff, horizontal} = t_{MB} \cdot (30 + b_{BT} + 30)$$

$$A_{eff, vertikal, 1} = b_{MB} \cdot (30 + b_{BT} + 30) \dots \text{gilt für } b_{MB} \leq b_{BT}$$

$$A_{eff, vertikal, 2} = b_{BT} \cdot (30 + b_{MB} + 30) \dots \text{gilt für } b_{MB} \geq b_{BT}$$

... lt. EN 1995-1-1 darf die tatsächliche Kontaktflächenlänge L_z auf jeder Seite um 30 mm erhöht werden.

In weiterer Folge kann die maximal aufnehmbare charakteristische Druckkraft in Abhängigkeit der Kontaktfläche A_{eff} und der Materialfestigkeitsklasse mit Hilfe des Diagrammes aus Abb. 6.5 ermitteln.

6.3.2 Kreuzkamm

Der Bemessungsvorschlag für den Kreuzkamm in horizontaler Richtung erfolgt nach den Ergebnissen des Bridge – Forschungsprojekt „HOLZ – HOLZ – Verbindungen“. Es wird vorgeschlagen, zur Abschätzung der maximal aufnehmbaren charakteristischen Horizontalkraft, im ersten Schritt den Widerstand $\sigma_{c,\alpha,k}$ in der Kontaktfläche zwischen Haupt- und Nebenträger mittels des Diagrammes in Abb. 6.7 zu ermitteln.

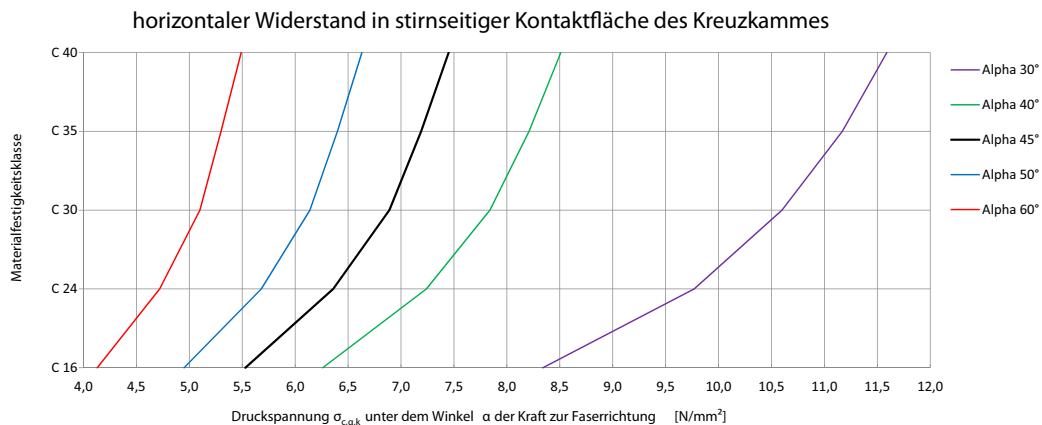


Abb. 6.7: Diagramm zur Ermittlung der Druckspannung $\sigma_{c,\alpha,k}$ in der Kontaktfläche schräg zur Faserrichtung

In weiterer Folge ist die effektive Kontaktfläche A_{ef} zu ermitteln. Diese berechnet sich wie folgt:

$$A_{ef} = \frac{b_{MB} \cdot 0,5}{\sin \alpha}$$

Die charakteristische maximal aufnehmbare, horizontale Druckkraft unter Berücksichtigung des Reibungskoeffizienten μ berechnet sich in weiterer Folge zu:

$$N_{Rk,MB} = 2 \cdot \sigma_{c,\alpha,k} \cdot A_{ef} \cdot \frac{\cos(\alpha - \tan^{-1} \mu)}{\cos(\tan^{-1} \mu)}$$

... Reibungskoeffizient $\mu = 0,4$ in Analogie zum Bridge – Forschungsprojekt HOLZ – HOLZ – Verbindungen.

Zur Berechnung der maximal aufnehmbaren, vertikalen, charakteristischen Druckkraft wird die effektive Kontaktfläche in vertikaler Richtung benötigt. Diese berechnet sich in weiterer Folge zu:

$$A_{eff,vertikal,1} = b_{MB} \cdot (30 + b_{BT} + 30) \quad \dots \text{ gilt für } b_{MB} \leq b_{BT}$$

$$A_{eff,vertikal,2} = b_{BT} \cdot (30 + b_{MB} + 30) \quad \dots \text{ gilt für } b_{MB} \geq b_{BT}$$

... lt. EN 1995-1-1 darf die tatsächliche Kontaktflächenlänge L_z auf jeder Seite um 30 mm erhöht werden.

In weiterer Folge kann die maximal aufnehmbare charakteristische Druckkraft in vertikaler Richtung in Abhängigkeit der Kontaktfläche A_{ef} und der Materialfestigkeitsklasse mit Hilfe des Diagrammes aus Abb. 6.5 ermittelt werden.

6.4 Umrechnungstabelle auf Designwerte

Die folgende Umrechnungstabelle bezieht sich auf den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1,30$ für Vollholz und soll zur raschen Abschätzung Bemessungswerte der Bauteil- oder Verbindungswiderstände dienen.

Art der Einwirkung	KLED	Kategorie ¹⁾	Nutzungsstufe (NKL)		
			1	2	3
Eigengewicht	ständig		0,60	0,60	0,50
Vertikale Nutzlasten	lang	E	0,70	0,70	0,55
* aus Lagerflächen					
Vertikale Nutzlasten	mittel	A, B, D, J	0,80	0,80	0,65
* aus Wohnflächen, Büroflächen, Lade- und Verkehrsflächen, Stiegen					
Schnee- und Eislasten > 1000 m ü. NN					
Schnee- und Eislasten < 1000 m ü. NN					
Statische Windkräfte	kurz	C, F, H, K, T, Z	0,90	0,90	0,70
Horizontale Nutzlasten					
* Veranstaltungsflächen (Personenansammlungen), Landeflächen, Balkone, Dächer, Terrassen, Tribünen, Podien					
Außergewöhnliche Einwirkungen	sehr kurz		1,10	1,10	0,90
* Erdbeben					
* Horizontalstöße von Fahrzeugen (Anpralllasten)					
* Hubschrauberlandeflächen auf Decken, Überrollschutz					

¹⁾ Die Kategorien entsprechen der Einteilung gemäß ON EN 1991-1-1 "Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau"

Abb. 6.8: k_{mod} – Werte nach EN 1995-1-1-2009

$R_d = R_k \cdot \text{Umrechnungsfaktor } u_f$

k_{mod}	$\gamma_M = 1,30$
	Umrechnungsfaktor (u_f)
1,10	0,85
0,90	0,69
0,80	0,62
0,70	0,54
0,65	0,50
0,60	0,46
0,55	0,42
0,50	0,35

Tab. 6.2: Umrechnung auf Designlasten mit $\gamma_M = 1,30$

Literaturverzeichnis

In diesem Literaturverzeichnis sind sämtliche zu dieser Diplomarbeit recherchierten und verwendeten Werke vollständig angeführt.

[ABELS 2013]

ABELS Michael: *Holzkonstruktionen im Baubestand*. 1. Aufl. Köln : Bruderverlag Albert Bruder GmbH & Co. KG, 2013. - ISBN 978-3-87104-189-1

[ADAM 2009]

ADAM Bernd: *Baumaterialientransporte im 18. Jahrhundert – Beispiele aus Niedersachsen*. In: ZALEWSKI (2009)

[AHNERT U. A. 2002]

AHNERT Rudolf ; KRAUSE Karl Heinz: *Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960*. 6. Aufl. Berlin : HUSS-Medien GmbH, 2002. - ISBN 3-345-00624-3 (Band III)

[ANSORGE U. GEBURTIG 2008]

ANSORGE Dieter ; GEBURTIG Gerd: *Historische Holzbauwerke und Fachwerk – Instandsetzen – Erhalten – Teil 1: Schwerpunkt Wärme- und Feuchteschutz*. Stuttgart : Fraunhofer IRB-Verlag, 2008. - ISBN 978-3-8167-7756-4

[ALTE UNIVERSITÄT GRAZ 2010]

Alte Universität Graz: URL <http://www.alte-universitaet.at>, Aktualisierungsdatum: 28.07.2010

[AMMAN U. A. 1568]

AMMAN Jost ; SACHS Hans: *Holzschnitt in Eygentliche Beschreibung aller Stände auff Erden, hoher und nidriger, geistlicher und weltlicher, aller Künsten, Handwercken und Händeln 1774 bis 1775*. Gedruckt zu Frankfurt am Main, 1568.

[AMT 2009]

AMT Stefan: *Gutachten zum Wiederaufbau des Dachwerks der St. Jacobi-Kirche in Husum 1774 bis 1775*. In: ZALEWSKI (2009)

[BÄCHLE ; JUNGHANS U. A. 2007]

BÄCHLE F. ; JUNGHANS K.: *Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung im Bauwesen*. Zürich, ETH Zürich, Institut für Baustoffe, Skriptum, 2007

[BARGMANN 1993]

BARGMANN Horst: *Historische Bautabellen : Normen und Konstruktionshinweise 1870 bis 1960*. 1. Aufl. Düsseldorf : Werner-Verlag GmbH, 1993. - ISBN 3-8041-4220-6

[BARON 2009]

BARON Thomas: *Untersuchungen an ungeschädigten und durch Pilzbefall geschädigten Nadelholzteilen mit ausgewählten Prüfverfahren*. Technische Universität Dresden – Fakultät Maschinenwesen, Diss., 2009

[BARTHEL U. A. 2006]

BARTHEL Rainer ; BRENGELMANN Tim ; ECKL Michael: *BayFORREST Forschungsprojekt F230 : Ressourcenschonende Instandsetzung alter Dachtragwerke - Nutzung des Laseraufmaßes und objektorientierter Modellierung*, Abschlussbericht, Technische Universität München, München : August 2006. - ISBN 3-938660-16-3

-
- [BDA WEB]
BDA.AT: *Homepage des Bundesdenkmalamtes Österreich*, Link: www.bda.at
- [BDA – RL 2011]
BUNDESDENKMALAMT: *Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal*, Bundesdenkmalamt, 1. Fassung, 17. März 2011
- [BEEK 1999]
BEEK Herbert: *Der Dachstuhl der Klosterkirche St. Johannes Evangelista in Michelfeld*. In: *Jahrbuch der Bayerischen Denkmalpflege* (1995–1999), Band 49–53, S. 95–108
- [BINDING U. A. 1988/89]
BINDING Günther ; LÖVENICH Ursula ; STEINMETZ Anja: *Bibliographie zum mittelalterlichen Baubetrieb Westeuropas*. In: *Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters*, 1988/89, S. 185–198.
- [BINDING U. ROGGATZ 1990]
BINDING Günther (Hrsg.) ; ROGGATZ Annette (Hrsg.): *Fachterminologie für den historischen Holzbau : Fachwerk – Dachwerk*. Köln : Kleinkamp Druck GmbH, 1990.
- [BINDING 1991]
BINDING Günther: *Das Dachwerk auf Kirchen im deutschen Sprachraum : vom Mittelalter bis zum 18. Jahrhundert*. München : Deutscher Kunstverlag, 1991. - ISBN 3-422-06068-5
- [BINDING 2010]
BINDING Günther: *Bauen im Mittelalter*. Darmstadt : Primus Verlag, 2010. ISBN 978-3-89678-826-9
- [BIERBRAUER 2008]
BIERBRAUER Kerstin: *Ein Beitrag zur Bestimmung der Biegetragfähigkeit bestehender Stahlbetonbauteile*. Universität der Bundeswehr München. Diss. 2008
- [BLASS U. A. 1995]
BLASS Hans Joachim ; FALK Volker Claus ; GÖRLACHER Rainer: *Statische Modellierung hölzerner Dachtragsysteme am Beispiel des Dachwerks der katholischen Kirche in Kirchdorf/Brigachtal*. In: *SFB 315 – Jahrbuch 1995*, S. 303–325. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [BLASS U. A. 1996]
BLASS Hans Joachim ; FALK Volker Claus ; GÖRLACHER Rainer: *Historische Holzkonstruktionen - Statische Modellierung der Nachgiebigkeiten historischer Holzverbindungen*. In: *SFB 315 – Jahrbuch 1996*, S. 219–249. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [BLASS U. FRESE 2006]
BLASS Hans Joachim ; FRESE Matthias: *Schadensanalyse, Schadensursachen und Bewertung der Standsicherheit bestehender Holzkonstruktionen*. Karlsruher Institut für technologie, Forschungsbericht 2006
- [BLASS U. A. 2006]
BLASS Hans Joachim ; BRÜNINGHOFF Heinz ; KREUZINGER Heinrich ; RADOVIC Borimir ; WINTER Stefan ; STUDIENGEMEINSCHAFT HOLZLEIMBAU e. V. (Hrsg.): *Leitfaden zu einer ersten Begutachtung von Hallentragwerken aus Holz*. Juli 2006
- [BLIEM 1995]
BLIEM Christoph: *Möglichkeiten zur Sanierung historisch wertvoller Holzbausubstanz aus der Sicht des konstruktiven Ingenieurbauwesens*. Innsbruck, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Fakultät für Bauingenieurwesen und Architektur, Dipl.-Arb., 1995. – Institut für Stahlbau und Holzbau

-
- [BOSSEL 2004]
BOSSEL Hartmut: *Systeme, Dynamik, Simulation : Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme*. 1. Aufl. Norderstedt : Books on Demand GmbH, 2004. - ISBN 3-8334-0984-3
- [BOUDOUIN 1908]
BOUDOUIN Andreas: *Der Zimmerer-Meister : Ein Überblick über die gesamten Zimmerungen und Verbindungen : in vier Serien*. Wien, 1908. - aus dem Privatbesitz von Prof. Schickhofer. - Losebl.-Ausg.
- [BÖHM 1911]
BÖHM Theodor: *Handbuch der Holzkonstruktionen*. 5. Reprintauflage. Springer Verlag Berlin (Reprint-Verlag Leipzig), 1911. - ISBN 3-8262-0207-4
- [BRANDNER U. SCHICKHOFER 2009]
BRANDNER Reinhard ; SCHICKHOFER Gerhard: *Das mechanische Potential von Kanthölzern aus adultem Holz im Einsatz als stabförmige Systemstruktur GLT:beam : Experiment und Modellbildung*. - Forschungsbericht (unveröffentlicht) des Comet-Forschungsprojekts APTM 2.1.1 mature_wood, Graz, 2009
- [BRÄNDLE U. A. 1997]
BRÄNDLE Evemarie ; WITTMANN Franz Xaver: *Sanierung alter Häuser*. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, 1997. - ISBN 3-405-14945-2
- [BREYMANN 1900]
WARTH Otto: *Die Konstruktionen in Holz (Allgemeine Baukonstruktionslehre/2)*. Gebhardt Verlag, Leipzig, 1900
- [BUCHHÄUSL 2010]
BUCHHÄUSL Bertram: *Bestandserfassung, Modellbildung und Tragverhalten historischer Dachstühle am Beispiel des Stiftes Zwettl*. Graz, TU Graz, Fakultät für Bauingenieurwissenschaften, Dipl.-Arb., 2010. – Institut für Holzbau und Holztechnologie
- [BÜREN 1985]
BÜREN Charles von: *Funktion und Form : Gestaltungsvielfalt im Ingenieur-Holzbau*. Birkhäuser Verlag Basel, 1985. - ISBN 3-7643-1707-8
- [CAMESASCA 1986]
CAMESASCA Ettore: *Die Geschichte des Hauses*. Leipzig : E. A. Seemann Verlag (Reprint-Verlag Leipzig), 1986. - ISBN 3363001037
- [CASTON 1998]
CASTON Philip: *Dachwerkstopographie für die Steiermark – ein Survey der historischen Dachwerkskonstruktionen in der Mur-Mürz-Furche*. In: *Österreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege*, Heft 3/4, 1998
- [CRAMER U. EISSING 1996]
CRAMER Johannes ; EISSING Thomas: *Dächer in Thüringen*. Leipzig : Verlag Ausbildung + Wissen 1996. - ISBN 3-927879-87-8
- [DEINHARD 1962]
DEINHARD Martin: *Spannungen und Sicherheitsgrade historischer Holzkonstruktionen*. TH Darmstadt, Diss., 1962
- [DIN 1052 2008]
DIN 1052: *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken*, Dezember 2008

-
- [DIN 1076 1999]
DIN 1076: *Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen : Überwachung und Prüfung*, November 1999
- [DIN 31051 2003]
DIN 31051: *Grundlagen der Instandhaltung*, März 2003
- [DMSG 2000]
Denkmalschutzgesetz – DMSG : *Bundesgesetz betreffend den Schutz von Denkmalen wegen ihrer geschichtlichen, künstlerischen oder sonstigen kulturellen Bedeutung (Denkmalschutz – DMSG)*, StF: BGBl. Nr. 533/1923 (NR: GP I 1513 AB 1703 S. 209, 2000
- [EBINGHAUS 1954]
EBINGHAUS Hugo: *Das Zimmerhandwerk : Ein Lehrbuch und Nachschlagewerk für Studium und Praxis*. Gießen : Fachbuchverlag Dr. Pfanneberg & Co., 3. Auflage, 1954
- [ECKERT 1994]
ECKERT Hannes: *Zum denkmalpflegerischen Umgang mit alternden Holzbauten*. In: *SFB 315 – Jahrbuch 1994*, S. 269–284. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [EGGERSMANN 2000]
EGGERSMANN Clemens: *Standsicherheit herstellen : Sanierung einer historischen Dachkonstruktion*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2000, Nr. 12, S. 8–13
- [EHLBECK U. GÖRLACHER 1987]
EHLBECK Jürgen ; GÖRLACHER Rainer: *Erste Ergebnisse von Festigkeitsuntersuchungen an altem Konstruktionsholz*. In: *SFB 315 – Jahrbuch 1987*, S. 235–247. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [EHLBECK U. HÄTTICH 1988]
EHLBECK Jürgen ; HÄTTICH Ronnie: *Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von ein- und zweischneitig beanspruchten Holznägeln*. In: *SFB 315 – Jahrbuch 1988*, S. 281–298. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [EHLBECK U. GÖRLACHER 1990]
EHLBECK Jürgen ; GÖRLACHER Rainer: *Zur Problematik bei der Beurteilung der Tragfähigkeit von altem Konstruktionsholz*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 1990, Nr. 2, S. 117–121
- [EISSING 2009]
EISSING Thomas: *Genesevorstellungen in Ostendorfs Dachwerkbuch zu offenen und sichtbaren Dachstühlen und Holztonnen*. In: *Friedrich Ostendorf : Bauten und Schriften*. Kolloquium des Arbeitskreises für Hausforschung e. V. (AHF) und des Südwestdeutschen Archivs für Architektur und Ingenieurbau, Verlag Müry Salzmann, 2009. - ISBN 9783990140116, Band 1, S. 79–95
- [ERLER 2002]
ERLER Klaus: *Was trägt ein Holznagel?* In: *Fachwerkinstandsetzung nach WTA : Band 2 : Aktuelle Berichte*. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag 2002. - S. 234–245
- [ERLER 2004]
ERLER Klaus: *Alte HolzBauWerke : Beurteilen und Sanieren*. 3. Aufl. Neufassung. Berlin : Huss-Medien GmbH Verlag Bauwesen, 2004. - ISBN 3-345-00864-5
- [FELLNER 2002]
FELLNER Josef: *Schlägerungszeit und Holzqualität*. Universität für Bodenkultur, Wien, Diss., 2002

[FISCHER-KOHNERT 1999]

FISCHER-KOHNERT Barbara: *Das mittelalterliche Dach als Quelle zur Bau- und Kunstgeschichte : Dominikanerkirche, Minoritenkirche, Dom, Rathaus und Alte Kapelle in Regensburg*. Petersberg : Michael Imhof Verlag, 1999. - ISBN 3-932526-22-8

[FOUAD U. A. 2010]

FOUAD Nabil ; PETERSON L. ; SCHMIDT A. ; GEERDES G.: *Die Holzkuppel des Neuen Palais in Potsdam*. In: *Bauingenieur*, Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag 2010, Band 85, S. 324–330

[FRITSCH 1954]

FRITSCH G.: *Anreiß- und Abbundtechnik*. In: EBINGHAUS Hugo: *Das Zimmerhandwerk : ein Lehrbuch und Nachschlagewerk für Studium und Praxis*. Giessen : Pfanneberg 1954. - S. 365–406.

[FRITZEN 1998]

FRITZEN Klaus: *CNC-Abundanlagen verlangen Umdenken beim Konstruieren und Gestalten*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 1998, Nr. 03, S. 16–21

[FRITZEN 2002]

FRITZEN Klaus: *Binder aus Gebinden : Statisches Konzept der kleinen Saalkirche als Beispiel für die Sanierung von Denkmälern*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2002, Nr. 9, S. 12–15

[FRITZEN 2003]

FRITZEN Klaus: *Das Dach*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2003, Nr. 3, S. 1

[FRITZEN 2006]

FRITZEN Klaus: *Denkmalpflege : Betrachtungen aus aktuellem Anlass*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2006, Nr. 10, S. 1

[GERNER 2000]

GERNER Manfred: *Entwicklung der Holzverbindungen*. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000. - ISBN 3-8167-4728-0

[GERNER 2002]

GERNER Manfred: *Die Kunst der Zimmerer : Meisterwerke aus Europa, Amerika und Asien*. Stuttgart München : Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, 2002. - ISBN 3-421-03287-4

[GERNER 2003]

GERNER Manfred: *100 Jahre Denkmalpflege : als Arbeitsfeld für die Zimmerer*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2003, Nr. 4, S. 36–42

[GIEBELER U. A. 2008]

GIEBELER Georg ; FISCH Rainer ; KRAUSE Harald ; MUSSO Florian ; PETZINKA Karl-Heinz ; RUDOLPHI Alexander: *Atlas Sanierung – Instandhaltung, Umbau, Ergänzung*. Birkhäuser Verlag AG, München, 2008. – ISBN 978-3-7643-8874-4

[GÖRLACHER U. A. 1990]

GÖRLACHER Rainer u. a.: *Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von zugbeanspruchten Blattverbindungen in historischen Holzkonstruktionen*. In: *SFB 315 – Jahrbuch 1990*, S. 273–291. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.

[GÖRLACHER U. A. 1991]

GÖRLACHER Rainer ; KROMER Martin ; EHLBECK Jürgen: *Historische Holzkonstruktionen - Untersuchung alter Holzkonstruktionen: Ermittlung von Spannungen in einem Bauteil*. In: *SFB 315 – Jahrbuch 1991*, S. 193–199. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.

-
- [GÖRLACHER U. KROMER 1991]
GÖRLACHER Rainer ; KROMER Martin : *Tragfähigkeit von Versatzanschlüssen in historischen Holzkonstruktionen*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 1991, S. 164–169.
- [GÖRLACHER U. A. 1994A]
GÖRLACHER Rainer ; KROMER Martin ; EHLBECK Jürgen : *Behutsame Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen von historischen Holzkonstruktionen*. In: *SFB 315 – Jahrbuch 1994*, S. 285–299. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [GÖRLACHER U. A. 1994B]
GÖRLACHER Rainer ; KROMER Martin ; EHLBECK Jürgen ; ECKERT Hannes: *Historische Holzkonstruktionen zwischen Alterung und „Sanierung“*. In: *SFB 315 – Jahrbuch 1994*, S. 267–268. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [GÖRLACHER U. A. 1995]
GÖRLACHER Rainer ; KROMER Martin ; EHLBECK Jürgen: *Das Dachtragwerk der Klosterkirche in Kirchheim/Ries*. In: *SFB 315 – Jahrbuch 1995*, S. 97–105. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [GÖRLACHER U. A. 1999]
GÖRLACHER Rainer ; WENZEL Fritz (Hrsg.); KLEINMANNS Joachim (Hrsg.) ; FALK Volker Claus (Mitarb.) ; ECKERT Hannes (Mitarb.): *Historische Holztragwerke : Untersuchen, Berechnen, Instandsetzen*, Sonderforschungsbereich 315. Universität Karlsruhe (TH), 1999. - ISBN-3-934540-01-5
- [GÖTZ 2007]
GÖTZ Jürgen: *Außergewöhnliches, gotisches Kehlriegeldach*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2007, Nr. 10, S. 16–20
- [GÖTZ 2011]
GÖTZ Jürgen: *Instandsetzung der Johanniskirche in Göttingen*. In: *2. Grazer Holzbau-Sonderfachtagung 2011 : Historisch wertvolle Dachwerke in UNESCO–Weltkulturerbe–Zonen*, Tagungsband. Graz : Verlag der Technischen Universität Graz.
- [GRAF U. A. 2001]
GRAF Erwin ; MEILI Markus: *Holzerstörende Pilze und Insekten – Analyse, Prognose, Bekämpfung*. In: *Lignatec – Die technischen Holzinformationen der Lignum*. Zürich: Schweizerische Holzwirtschaftskonferenz, Nr. 14 / 2001. ISSN 1421-0320
- [GRAEFE 1989]
GRAEFE Rainer: *Hängedächer des 19. Jahrhunderts*. In: GRAEFE Rainer (Hrsg.): *Zur Geschichte des Konstruierens*. Stuttgart: Dt. Verl.-Anst.: 1989, S. 168–187. - ISBN: 3-421-02958-X
- [GREIMEL 2003]
GREIMEL Rudolf: *Festigkeitslehre (Elastostatik)*. Graz, TU Graz, Institut für Allgemeine Mechanik, Skriptum, 2003
- [GROSS U. THIERSCH 2002]
GROSS R., THIERSCH K.: *Kloster, Schloss und Domäne Heydau*. Landesamt für Denkmalpflege Hessen: Konrad Theiss Verlag GmbH, Stuttgart, 2002. ISBN 3-8062-1629-0
- [HASENSTAB 2006]
HASENSTAB Andreas Georg Maximilian: *Integritätsprüfung von Holz mit dem zerstörungsfreien Ultraschall-echoverfahren*. Technischen Universität Berlin, Diss., 2006

-
- [HAUER 1993]
HAUER Markus ; SEIM Werner ; WENZEL Fritz: *Wirklichkeitsnahe Simulation des Tragverhaltens alter Dachstühle*. In: *SFB 315 – Jahrbuch 1993*, S. 195–203. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [HEIMESHOF U. A. 1988]
HEIMESHOF Bodo ; SCHELLING Wolfgang ; REYER Eckhard ; Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (Hrsg.): *Informationsdienst Holz : Zimmermannsmäßige Holzverbindungen*. Düsseldorf, November 1988. - ISBN: 0446-2114
- [HEIMESHOF U. KÖHLER 1989]
HEIMESHOF Bodo ; KÖHLER N. ; Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (Hrsg.): *Untersuchung über das Tragverhalten von zimmermannsmäßigen Holzverbindungen* : T 2189. München : IRB Verlag, 1989. - Forschungsbericht
- [HENRICHSEN 2003A]
HENRICHSEN Christoph: *Reparaturen und statische Sicherungen an historischen Holzkonstruktionen*. Landesamt für Denkmalpflege Hessen, Wiesbaden 2003. Konrad Theiss Verlag GmbH, Stuttgart 2003. - ISBN 3-8062-1830-7
- [HENRICHSEN 2003B]
HENRICHSEN Christoph: *Historische Holzarchitektur in Japan : Statische Ertüchtigung und Reparatur*. Konrad Theiss Verlag GmbH, Stuttgart 2003. - ISBN 3-8062-1815-3
- [HINKES 1987]
HINKES Franz-Josef: *Experimentelle und rechnerische Untersuchung zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Zapfenverbindungen*. Universität Hannover, Diss., 1987
- [HOFFSUMMER U. A. 2009]
HOFFSUMMER Patrick u. a.: *Roof Frames from the 11th to the 19th century : Typology and Development in Northern France and in Belgium*. Brepols Publishers n.v, 2009. - ISBN 978-2-503-52987-5
- [HOLZBAU HANDBUCH 2001]
INFORMATIONSDIENST HOLZ – HOLZBAU HANDBUCH: *Modernisierung von Altbauten*. Reihe 1: Entwurf und Konstruktion, Teil 14: Umbau und Modernisierung, Folge 1: Modernisierung von Altbauten, 2001. - ISSN 0466-2114
- [HOLZER U. KÖCK 2008]
HOLZER Stefan M. ; KÖCK Bernd: *Meisterwerke Barocker Bautechnik: Kuppeln, Gewölbe und Kirchendachwerke in Südbayern*. Regensburg : Verlag Schnell & Steiner GmbH, 2008. - ISBN 978-3-7954-2035-2
- [HOLZER U. KÖCK 2009]
HOLZER Stefan M. ; KÖCK Bernd: *Barocke Dachwerke: Konstruktion und Analyse des Tragverhaltens*. In: *Bautechnik* Berlin: Verlag Ernst & Sohn 2009, Nr. 1, S. 36–47
- [HOLZER 2013A]
HOLZER Stefan M.: *Beurteilung und Ertüchtigung historischer Tragwerke*. Vorlesungsunterlagen: Einführung; München: Universität der Bundeswehr München, 2013
- [HOLZER 2013B]
HOLZER Stefan M.: *ERASMUS Intensive Programme – European Summer School on Construction History – CH.ESS 2013*. Vorlesungsunterlagen. München: Universität der Bundeswehr München, 2013

-
- [HUCKFELDT U. SCHMIDT 2006]
HUCKFELDT Tobias ; SCHMIDT Olaf: *Hausfäule- und Bauholzpilze : Diagnose und Sanierung*. 1. Auflage. Verlagsgesellschaft Müller, 2006. - ISBN-10: 3481021429
- [HUSER U. TOGNOLA 2005]
HUSER C., TOGNOLA C.: *Schloss Hallwyl - Bauliche Sanierung und Restaurierung 1998-2004*. Verlag für Kultur und Geschichte, Baden, 2005. ISBN 3-906419-99-1
- [HÜBNER 2000]
HÜBNER Ulrich: *Abschätzung der Zuverlässigkeit des Dachtragwerks des Wasserschlosses Ollendorf unter Berücksichtigung streuender Einflüsse von Einwirkungen und Materialkennwerten und Erarbeitung von Vorschlägen zum Sanierungskonzept hinsichtlich baustatischer Erwägungen*. Weimar, Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Holz- und Massivbau, Dipl.-Arb., 2000
- [IBOLD 2010]
IBOLD Stefan (Hrsg.): *Sanieren im Dach- und Holzbau : Grundlagen - Anforderungen - Beispiele*. Köln : Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, 2010. ISBN 978-3-481-02680-6
- [ICOMOS 2010]
ICOMOS (Hrsg.): *International Council on Monuments and Sites*. URL: <http://www.icomos.at>, Aktualisierungsdatum: 12. Jänner 2010
- [JORISSEN 2011]
JORISSEN Andre (chairman of CEN/TC 25- SC5): *Eurocodes Standardisation: proposal for new work for EN 1995*. Jänner 2011
- [KEMPE 2004]
KEMPE Klaus: *Dokumentation Holzschädlinge*. 2. Auflage : Fraunhofer Irb Verlag, 2004. - ISBN-10: 3345007754
- [KESSEL U. AUGUSTIN]
KESSEL Martin ; AUGUSTIN Ralf: *Untersuchung der Tragfähigkeit von Holzverbindungen mit Holznägeln für Sanierung und Rekonstruktion alter Bausubstanz*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 1994, Nr. 6, S. 484–487
- [KILLER 1942]
KILLER Joseph: *Die Werke der Baumeister Grubenmann : Eine baugeschichtliche und bautechnische Forschungsarbeit*. ETH Zürich, Diss., 1942
- [KING U. A. 2000]
KING Stefan ; LOHRUM Burghard: *Historische Dachwerke – Eine Ausstellung von Modellen mittelalterlicher Dachkonstruktionen aus den Städten Konstanz, Ravensburg, Rottweil und Villingen*. Universität Stuttgart, Institut für Architekturgeschichte, 2000
- [KIRCHLER 2009]
KIRCHLER Markus: *Modellierung eines historischen Dachstuhls – Vergleich von Stab- und FE-Berechnungen*. Graz, TU Graz, Fakultät für Bauingenieurwissenschaften, Dipl.-Arb., 2009. – Institut für Holzbau und Holztechnologie
- [KOCH U. SEIM 2006]
KOCH Heiko ; SEIM Werner: *Load bearing Capacity of traditional roof structures – Modelling of joints*. Conference Proceedings of the 9th WCTE, Portland, USA, 2006

-
- [KOCH U. A. 2006]
KOCH Heiko ; SCHÄFERS Martin ; SEIM Werner: *Traditional timber joints – experimental investigation on tapered tenons*. Conference Proceedings of the 9th WCTE, Portland, USA, 2006
- [KOCH 2011]
KOCH Heiko: *Untersuchungen zum Last-Verformungsverhalten historischer Holztragwerke - Der abgestirnte Zapfen*, Universität Kassel, Diss., 2011
- [KÖCK U. HOLZER 2011]
KÖCK Bernd ; HOLZER Stefan M.: *Zum Tragverhalten von Überblattungen in historischen Holztragwerken*. In: *Bauingenieur*, Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag 2011, Ausgabe 3, S. 106–115
- [KÖCK 2011]
KÖCK Bernd: *Barocke Dachwerke : Konstruktion und Tragverhalten*. Universität der Bundeswehr München, Diss., 2011
- [KOLLER 1800]
KOLLER Mathias Fortunat: *Der practische Baubeamte*. 2. neu verbesserte Auflage, gedruckt bei Ignaz Alberti's Witwe, Wien, 1800
- [KOLLMANN 1951]
KOLLMANN Franz: *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. 2. Auflage. 1. Band. Springer-Verlag, 1951
- [KÖNNER ; WAGENBLAST 2001]
KÖNNER Klaus ; WAGENBLAST Joachim: *Steh fest mein Haus im Weltgebrauch – Denkmalpflege – Konzeption und Umsetzung*. 2. Auflage. Eine Ausstellung des Landesdenkmalamtes Baden-Württemberg und der Stadt Aalen, 2001.
- [KRAFT ; PRIBBERNOW 2006]
KRAFT Udo ; PRIBBERNOW Doreen: *Handbuch der Holzprüfung : Anleitungen und Beispiele*. 1. Auflage : Vbt Verlag Bau u. Technik, 2006. - ISBN-10: 3764004592
- [KRAFT 1998]
KRAFT Susanne: *Zur Konstruktion und zum Tragverhalten gezimmerter Kehlbalkendächer mit fachwerkartigem Längstragwerk : Untersuchungen an Dachwerken des 16. bis. 18. Jahrhunderts in Pirna*. Universität Karlsruhe, Diss., 1998
- [KRÄMER 2006]
KRÄMER Franz: *Grundwissen des Zimmerers : Fachstoff für Zimmerleute*. 9. Aufl. Karlsruhe : Bruderverlag, 2006. - ISBN 3-87104-155-6
- [KRAUTH U. MEYER 1881]
KRAUTH Theodor ; MEYER Franz Sales: *Die Bau- und Kunstzimmerei : mit besonderer Berücksichtigung der äußeren Form*. 2. Aufl. Hannover : Schäfer Verlag, 1881
- [LACHNER 1885]
LACHNER Carl: *Der norddeutsche Holzbau in seiner historischen Entwicklung*. Reprintauflage. E. A. Seemann (Reprint-Verlag Leipzig), 1885. - ISBN 3-88746-068-5
- [LAND STEIERMARK 2008]
LAND STEIERMARK (Hrsg.) ; *Landesgesetzblatt : Steiermärkisches Baugesetz*, Juni 2008

-
- [LEHRMANN 1960]
LEHRMANN Karl: *Holz im Hochbau : praktische Hochbaukunde*. Wien : Dipl.-Ing. Rudolf Bohrmann Industrie und Fachverlag, 1960
- [LISSNER ; RUG U. A. 1993]
LISSNER K. (Projektleiter) ; RUG W. (Projektleiter) ; BECKER K. (Projektleiter) ; KLINGSCH W. (Projektleiter); KOTHE E. (Projektleiter): *Beurteilung instandsetzungsbedürftiger Holzkonstruktionen und Vorschläge zur verstärkten Anwendung von Holz*. Fraunhofer Irb Verlag, Forschungsbericht, 1993
- [LISSNER ; RUG U. A. 2000]
LISSNER Karin ; RUG Wolfgang: *Holzbausanierung – Grundlagen und Praxis der sicheren Ausführung*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2000. – ISBN 3-540-66875-6
- [LOHRUM 2009]
LOHRUM Burghard: *Die Ostendorf'sche Theorie zur Entwicklung des deutschen Kehlbalkendachwerks im Spiegel des südwestdeutschen Dachbestandes*. In: *Friedrich Ostendorf : Bauten und Schriften*. Kolloquium des Arbeitskreises für Hausforschung e. V. (AHF) und des Südwestdeutschen Archivs für Architektur und Ingenieurbau, Verlag Müry Salzmann, 2009. - ISBN 9783990140116, Band 1, S. 97–107
- [LUKAS 1993]
LUKAS Elfi: *Heimatliches Bauen : Ein Fachwörterbuch*. St. Peter ob Judenburg : Verlag Erich Mlakar, 1993. - ISBN 3-900 289 32-8
- [LUTZ U. WESSELKAMP 2005]
LUTZ Thomas ; WESSELKAMP Gerhard ; BASLER DENKMALPFLEGE (Hrsg.): *Dächer der Stadt Basel*. Basel: Werner-Druck AG, 2005. - ISBN 3-9522166-0-7
- [MADER 1991]
MADER Gert: *Methoden und Verfahren zur Erhaltung historischer Holzkonstruktionen*. In: *SFB 315 – Heft 10 1991*, S. 57–68. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [MAJCENOVIC 2008]
MAJCENOVIC, Herbert (Sachverständiger für historische Bauwerke): *Informatives Fachgespräch : historische Dachstühle* / Moosbrugger Thomas / Meisel Andreas. Graz, 11.02. 2008
- [MEISEL 2009A]
MEISEL Andreas: *Historische Dachstühle: Tragsysteme, Bestandserfassung, statische Analyse und Sanierung mit flächenhaften Holzwerkstoffen*. TU Graz, Fakultät für Bauingenieurwissenschaften, Dipl.-Arb., 2009. – Institut für Holzbau und Holztechnologie
- [MEISEL 2009B]
MEISEL Andreas: *Realitätsnahe Modellbildung von Dachstühlen – dargestellt am Beispiel eines historischen „Grazer Dachstuhls“*. In: *5. Grazer Holzbau-Fachtagung : Bestandsanalyse und Instandhaltung von Holzkonstruktionen*, Tagungsband. Graz : Verlag der Technischen Universität Graz. - ISBN 978-3-85125-058-9
- [MEISEL U. A. 2010A]
MEISEL Andreas ; MOOSBRUGGER Thomas ; SCHICKHOFER Gerhard: *Der Anteil des Tragvermögens der Dachlattung an der globalen Lastabtragung von Dachtragwerken*. In: *Bautechnik*, Berlin: Verlag Ernst & Sohn 2010, Nr. 6, S. 331–338
- [MEISEL U. A. 2010B]
MEISEL Andreas ; MOOSBRUGGER Thomas ; SCHICKHOFER Gerhard: *Ein Beispiel für historische Dachtragwerke*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2010, Nr. 10, S. 34–41

[Meisel u. a. 2010c]

MEISEL Andreas ; MOOSBRUGGER Thomas ; SCHICKHOFER Gerhard: *Ancient roof structures: capacity of battens and repair using wood-based panels*. In: *World Conference on Timber Engineering (WCTE)*, Riva del Garda, Trentino, Italy 2010

[Meisel u. a. 2010d]

MEISEL Andreas ; MOOSBRUGGER Thomas ; SCHICKHOFER Gerhard: *Realistic Modelling and Repair of Ancient Austrian Roof Structures*. In: *Conservation of Heritage Structures (CSHM-3)*, Ottawa, Kanada 2010, S. 495–508. - ISBN 978-0-88865-883-8

[MEISEL U. A. 2010E]

MEISEL Andreas ; MOOSBRUGGER Thomas ; SCHICKHOFER Gerhard: *Survey and Realistic Modelling of Ancient Austrian Roof Structures*. In: *Conservation of Heritage Structures (CSHM-3)*, Ottawa, Kanada 2010, S. 481–494. - ISBN 978-0-88865-883-8

[MEISEL U. SCHICKHOFER 2011]

MEISEL Andreas ; SCHICKHOFER Gerhard: *Konzepte zur Instandsetzung historischer Dachtragwerke*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2011, Nr. 10, S. 28–34

[MEISEL U. A. 2011]

MEISEL Andreas ; SILLY Gregor ; SCHICKHOFER Gerhard: *D(N)achhaltigkeit Graz*, Forschungsbericht 2011 (unveröffentlicht)

[MEISEL 2011]

MEISEL Andreas: *Musterdetails und Instandsetzungsbeispiele*. In: *2. Grazer Holzbau-Sonderfachtagung 2011 : Historisch wertvolle Dachwerke in UNESCO–Weltkulturerbe–Zonen*, Tagungsband. Graz : Verlag der Technischen Universität Graz. - ISBN 978-3-85125-155-5

[MEISEL U. A. 2012]

MEISEL Andreas ; ZEHETGRUBER Johann ; SCHICKHOFER Gerhard: *Historische Dachtragwerke aus Holz – Klassifizierung und Entwicklung aus statischer Sicht, TEIL 1*. In: *Bauingenieur*, Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag Oktober 2012, Band 87, S. 451–460

[MEISEL U. A. 2013A]

MEISEL Andreas ; BOGENSPERGER Thomas ; MOOSBRUGGER Thomas ; SCHICKHOFER Gerhard: *Historische Dachtragwerke aus Holz – Statische Analyse und Tragwirkung, TEIL 2*. In: *Bauingenieur*, Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag Februar 2013, Band 88, S. 61–72

[MEISEL U. A. 2013B]

MEISEL Andreas ; SILLY Gergor ; MOOSBRUGGER Thomas ; FERK Heinz J. ; SCHICKHOFER Gerhard: *Historische, hölzerne Dachtragwerke im Raum Graz – Methodik zur Zustandsbeurteilung*. In: *Bautechnik*, Berlin: Verlag Ernst & Sohn 2013, Nr. 10, S. 660–673

[MEISEL 2013]

MEISEL Andreas: *Traditional Carpentry Joints: Types, Details and Mechanics – PART I*. In: *LECTION 7. CH.ESS 2013 European Summer School on Construction History*. München : Universität der Bundeswehr München.

[MENZEL U. A. 1872]

Menzel Carl August: *Das Dach in seiner Construction, seinem Verband in Holz und Eisen und seiner Eindeckung*. Verlag von S. Knapp, Halle, 1872

[MÖNCK 1999]

MÖNCK Willi: *Schäden an Holzkonstruktionen*. 3. Aufl. Berlin : Huss-Medien GmbH Verlag Bauwesen, 1999. - ISBN 3-345-00668-5

-
- [MOORKAMP 2002]
MOORKAMP Wilfried: *Zum Kriechverhalten hölzerner Biegeträger und Druckstäbe im Wechselklima*. Leibniz Universität Hannover, Diss., 2002
- [MÜHLFELD 1938]
MÜHLFELD Hans: *Das deutsche Zimmermannsdach*. Berlin : Bauwelt-Verlag, 1938
- [NEISS 1940]
NEISS Fritz: *Sparrendach und Pfettensteildach : Beitrag zur Klarstellung der beiden Konstruktionsarten des hölzernen Steildachwerkes*. Techn. Hochsch. Braunschweig, Diss., 1940
- [NIER 1994]
NIER Joachim: *Experimentelle Festigkeitsuntersuchungen an alten Bauhölzern und daraus abgeleitete Erkenntnisse zur Tragfähigkeitsbeurteilung*. Technische Hochschule Leipzig, Diss., 1994
- [OPDERBECKE 1913]
OPDERBECKE Adolf: *Der Zimmermann*. Holzminden: Reprint-Verlag-Leipzig, Reprint 1913. - ISBN 3-8262-1505-2
- [OSTENDORF 1908]
OSTENDORF, Friedrich: *Die Geschichte des Dachwerkes : erläutert an einer grossen Anzahl mustergültiger alter Konstruktionen*. Leipzig : Teubner, 1908, 1982. – Reprint Verlag Leipzig. – ISBN-10: 3826215060
- [ÖNORM EN 1990 2003]
ÖNORM EN 1990 *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung*, 01. März 2003
- [ÖNORM EN 1995-1-1 2009]
ÖNORM EN 1995-1-1 *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten: Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*, 01. Juli 2009
- [ÖNORM EN 1995-1-1, NAD 2010]
ÖNORM EN 1995-1-1 *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten: Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Nationale Festlegungen*, 15. August 2010
- [ÖNORM EN 338 2003]
ÖNORM EN 338: *Bauholz für tragende Zwecke: Festigkeitsklassen*, 01. Juli 2003
- [ÖNORM DIN 4074-1 2009]
ÖNORM DIN 4074-1 *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit: Teil 1: Nadelschrittholz*, 15.06.2009
- [ÖNORM DIN 4074-5 2009]
ÖNORM DIN 4074-5 *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit: Teil 5: Laubschrittholz*, 15.06.2009
- [ÖNORM EN 26 891 1991]
ÖNORM EN 26 891 *Holzbauwerke - Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln, Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens*, Februar 1991
- [ÖNORM EN 384:2004-05-01]
Bauholz für tragende Zwecke - Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte, Mai 2005
- [ÖNORM EN 13306 2001]
ÖNORM 13306: *Begriffe der Instandhaltung*, August 2001
-

-
- [PAULUS 2009]
PAULUS Simon: *Bauholzbeschaffung und -verwertung im Fürstentum Braunschweig-Wolfenbüttel im Spiegel der Verwaltungsakten des 17. und 18. Jahrhunderts*. In: ZALEWSKI (2009).
- [PECH U. HOLLINSKY 2005]
PECH Anton ; HOLLINSKY Karlheinz: *Dachstühle*. Wien: Springer Verlag, 2005
- [PETZET U. MADER 1993]
PETZET Michael ; MADER Gert: *Praktische Denkmalpflege*. Stuttgart 1993. W. Kohlhammer Druckerei GmbH + Co. - ISBN 3-17-009007-0
- [PETZET U. A. 1999]
PETZET Michael (Hrsg.): *Reparatur in der Baudenkmalpflege*. Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München 1999. Karl M. Lipp Verlag. - ISBN: 3-87490-698-1
- [PHLEPS 1988A]
PHLEPS Hermann: *Allemannische Holzbaukunst*. Karlsruhe : Bruderverlag, Reprint 1988. - ISBN-10: 3871040703
- [PHLEPS 1988B]
PHLEPS Hermann: *Holzbaukunst : Der Blockbau*. Karlsruhe : Bruderverlag, Reprint 1988. - ISBN-10: 3871040479
- [PÖTTLER 1992]
PÖTTLER Viktor Herbert: *Erlebte Baukultur : Schriften und Führer des Österreichischen Freilichtmuseum Stübing bei Graz*. 3. Auflage, Stübing bei Graz : Selbstverlag, 1992
- [PREHL 2001]
PREHL Hagen: *Hölzerne Dachkonstruktionen : Berechnung, Konstruktion, Tafeln, Beispiele*. Werner Verlag, 2001
- [RATH 2004]
RATH Günther: *Das historische Dach : Entwicklungsgeschichte – Integration – Restaurierung : am Beispiel der Stadt Graz*. Graz : Akademische Druck- u. Verlagsanstalt, 2004. - ISBN 3-201-01850-3
- [RAUTENSTRAUCH 1989]
RAUTENSTRAUCH Karl: *Untersuchungen zur Beurteilung des Kriechverhaltens von Holzbiegeträgern*. Leibniz Universität Hannover, Diss., 1989
- [REINTHALER 2001]
REINTHALER Gustl: *Eingeschlagene Symbole auf Äxten und anderen Schmiedeerzeugnissen*. Herausgegeben im Eigenverlag STYRIA Printshop Druck GmbH, 2001
- [REYER U. SCHMIDT 1989]
REYER E. ; SCHMIDT M.: *Zum Tragverhalten zimmermannsmäßiger Holzverbindungen*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 1989, Nr. 7 und 8, S. 493–499 und 544–546.
- [RINN 2006]
RINN Frank: *Konzept für Zustandsanalysen von Holzkonstruktionen*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2006, Nr. 10, S. 26–33
- [RI-EBW-PRÜF 2011]
RI-EBW-PRÜF: *Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076*, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, November 2011

-
- [RUG U. SEEMANN 1989]
RUG Wolfgang ; SEEMANN Axel: *Festigkeit von Altholz*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag (1989), Nr. 10, S. 696–699
- [RVS 2009]
RVS (Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen) *Arbeitspapier Nr. 12 : Objekts- und Bauteilbewertung bei Brückenprüfungen*, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, 1. August 2009
- [SACHSE 1975]
SACHSE Hans-Joachim: *Barocke Dachwerke, Decken und Gewölbe : Zur Baugeschichte und Baukonstruktion in Süddeutschland*. Berlin : Gebr. Mann Verlag, 1975. - ISBN 3-7861-4095-2
- [SCHADWINKEL U. HEINE 1986]
SCHADWINKEL Hans-Tewes; HEINE Günther: *Das Werkzeug des Zimmermanns*. Hannover : Schäfer, 1986. - ISBN: 3-88746-070-7
- [SCHELLENBERGER 1937]
SCHELLENBERGER Roman: *Das Dachwerk der gotischen Staffelkirchen*. Techn. Hochsch. Wien, Diss., 1937
- [SCHICKHOFER U. BRANDNER 2011]
SCHICKHOFER Gerhard ; BRANDNER Reinhard : *Alterung und (Rest)Tragfähigkeit von Bauholz*. In: *2. Grazer Holzbau-Sonderfachtagung 2011 : Historisch wertvolle Dachwerke in UNESCO–Weltkulturerbe–Zonen*, Tagungsband. Graz : Verlag der Technischen Universität Graz.
- [SCHMID U. KALISKE 2008]
SCHMID Jörg ; KALISKE Michael: *Numerische Analyse des Versagens von Strukturen aus Holz*. In: *Bauingenieur* 2006, Band 83, November 2008, S. 459–467
- [SCHNEIDER U. SCHLATTER 1996]
SCHNEIDER Jörg ; SCHLATTER Hans Peter: *Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen : Grundwissen für Ingenieure*. 2. Auflage. Zürich: vdf Hochschulverlag, 1996. - ISBN-10: 3-7281-2167-3
- [SCHULLER U. A. 2004]
SCHULLER Manfred ; EISSING Thomas ; SCHEFFOLD Michael: *800 Jahre Bamberger Dachwerke*. Bamberg : Creo - Druck & Medienservice GmbH, 2004.
- [SCHULLER 2009]
SCHULLER Manfred: *Neues aus dem Süden – Meisterwerke Barocker Zimmermannskunst*. In: ZALEWSKI (2009)
- [SCHULZE 1999]
SCHULZE Horst: *Hausdächer in Holzbauart : Konstruktion, Statik, Bauphysik*. Werner Verlag, 1999
- [SCHÜTZ U. A. 2006]
SCHÜTZ Karl G. ; MOHR Bernhard ; GITTERLE Markus: *Die Pfarrkirche St. Michael in Bertoldshofen: Instandsetzung eines Kunstdenkmals*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2006, Nr. 10, S. 15–21
- [SCHMIDT 1987]
SCHMIDT Hartwig: *Zimmermannskonstruktionen der Renaissance : Dachwerk und Deckenkonstruktion im Nordflügel des Schlosses Hohentübingen*. In: *Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke – Jahrbuch 1987*, SFB 315, S. 209–234. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
-

-
- [SCHWEIGERT 1979]
SCHWEIGERT Horst: *Dehio Handbuch Graz*. Wien : Verlag Anton Schroll &Co, 1979. - ISBN 3-7031-0475-9
- [SIA 265 2003]
SIA 265 *Holzbau*, März 2003
- [SOMMER 2004]
SOMMER Anke: *Ästhetische Restaurierung mit gerechneten Holznägeln*. In: *bauen mit holz*, Bruder-
verlag 2004, Nr. 10, S. 14–19
- [SUTTER 2002]
SUTTER Hans-Peter: *Holzschädlinge an Kulturgütern erkennen und bekämpfen: Handbuch für Denk-
malpfleger, Restauratoren, Konservatoren, Architekten und Holzfachleute*. 4. Auflage. 1. Dezember
2002. - ISBN-10: 3258064431
- [STADE 1904]
STADE Franz: *Die Holzkonstruktionen*. Reprint der Originalausgabe von 1904. Reprint Verlag Leip-
zig. 1904. - ISBN: 3-8262-1901-5
- [STEINMETZ 2009]
STEINMETZ Dieter: *Welche Veränderungen sind in der DIN 1052 vorgenommen worden?* Der Prüf-
ingenieur. Zeitschrift der Bundesvereinigung der Prüfengeure für Bautechnik. Ausgabe 04/2009. –
ISSN 1430-9084
- [STMK. BAUG 2008]
STEIERRAERKISCHES BAUGESETZ – Stmk. BauG.: Fassung vom 21.08.2008.
- [TAMPONE U. SEMPLICI 2006]
TAMPONE Gennaro ; SEMPLICI Michela: *Rescuing the Hidden European Wooden Churches Herita-
ge : an International Methodology for Implementing a Database for Restoration Projects*. Citta di Cas-
tello Italia : Free Books S. r. l., 2006
- [TICHELMANN 1992]
TICHELMANN Karsten: *Zum Ablauf der Sanierung*. In: *bauen mit holz*, Bertelsmann Verlag Gü-
tersloh, 1992, Nr. 11, S. 920–925
- [TICHELMANN U. A. 1993 – 1]
TICHELMANN Karsten: *Altbausanierung und Modernisierung - Methodische Instandsetzung von
Bauwerken - Instandsetzungsmethodik I - Einführung*. Skript zur Vorlesung Altbausanierung und In-
standsetzungstheorie, 1993
- [TICHELMANN U. A. 1993 – 2]
TICHELMANN Karsten: *Altbausanierung und Modernisierung - Methodische Instandsetzung von
Bauwerken - Instandsetzungsmethodik II - Untersuchungsverfahren*. Skript zur Vorlesung Altbausanie-
rung und Instandsetzungstheorie, 1993
- [TSAKANIKA-THEOHARI 2007]
TSAKANIKA-THEOHARI Eleftheria: *Byzantine and Post – Byzantine Historical Timber Roofs in
Greece : Typical Failures, Misunderstanding of their Structural Behaviour, Restoration Proposals*. In:
ICOMOS IWC - XVI International Symposium, Florence, Venice and Vicenza, 2007
- [THINIUS-HÜSER 1998]
THINIUS-HÜSER Klaus: *Historische Holzkonstruktionen*. Karlsruhe : Bruderverlag, 1998. - ISBN-10:
3871040991

[UNESCO WEB]

UNESCO.AT: *Homepage des Österreichischen UNESCO-Kommission*, Link: www.unesco.at

[VALERIANI 2006]

VALERIANI Simona: *Kirchendächer in Rom : Beiträge zu Zimmermannskunst und Kirchenbau von der Spätantike bis zur Barockzeit*. Petersberg: Michael Imhof Verlag, 2006. - ISBN 3-86568-005-4

[WAGNER 2006]

WAGNER AXEL: *3D-Laserscannen: die dritte Dimension beim Vermessen*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 2006, Nr. 10, S. 12–14

[WEINER 1992]

WEINER J: *Steinzeitliche Zimmermannskunst*. In: *bauen mit holz*, Bruderverlag 1992, Nr. 4, S. 340–348

[WEISS U. A. 2000]

WEISS Björn ; WAGENFÜHR Andre ; KRUSE Kordula: *Beschreibung und Bestimmung von Bauholzpilzen*. Drw, 2000. - ISBN-10: 3871813532

[WEIXLER 1980]

WEIXLER Helmut: *Zur Entwicklung der Holzdachkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Steiermark*. Graz, TU Graz, Diss., 1980

[WINTER U. RUG 1992]

WINTER Klaus ; RUG Wolfgang: *Innovationen im Holzbau : Die Zollinger-Bauweise*. In: *Bautechnik*, Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 1992, Nr. 4, S. 190–197

[ZACH 2009]

ZACH Edwin: *Aufnahme aus der Privatsammlung*, 2009

[ZALEWSKI 2009]

ZALEWSKI Paul (Hrsg.): *Dachkonstruktionen der Barockzeit : in Norddeutschland und im benachbarten Ausland*. 1. Auflage. Petersberg : Michael Imhof Verlag, 2009. - ISBN 978-3865684363

[ZEHETGRUBER 2008]

ZEHETGRUBER Johann: *Instandsetzung von Schloss Greifenstein : Dokumentation der Arbeiten*. 2008. - unveröffentlicht

[ZEHETGRUBER 2010]

ZEHETGRUBER Johann: *Berechnungen und Messungen von Druck-Normalkräften in historischen Dachstühlen*, 2010. - unveröffentlicht

[ZWERGER 1997]

ZWERGER Klaus: *Das Holz und seine Verbindungen : Traditionelle Bautechniken in Europa und Japan*. Basel : Birkhäuser - Verlag für Architektur, 1997. - ISBN 3-7643-5482-8

Anhang A

In diesem Kapitel werden als Ergänzung zum Thema historische Dachtragwerke diverse aus der Literatur zusammengetragene First-, Kamin- und Gesimseausbildungen angeführt. Die angeführten Bilder stammen aus historischen Büchern und bilden den damalig gültigen Stand der Technik ab. Dies soll zum besseren Verständnis und zur Sensibilisierung bezüglich der Instandsetzungsarbeiten dienen, sowie die damaligen Ausführungen verdeutlichen.

Beispiele für typische Ausbildungen von First- und Kaminbereichen

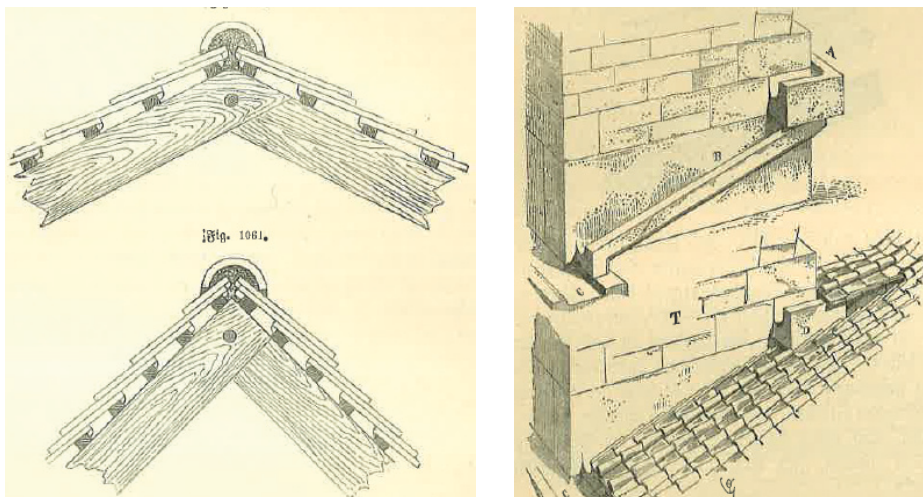


Abb. A.1: mögliche Dachabschlussausbildung der unterschiedlichen Dachtragwerke (vgl. BREYMANN (1900); KOLLER (1800))

Beispiele für typische Ausbildungen von Dachverschneidungen

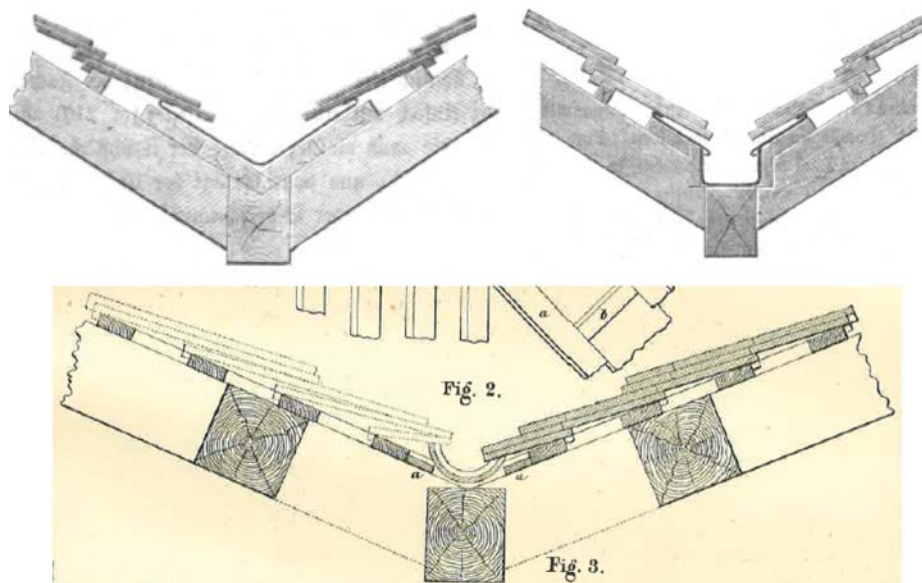


Abb. A.2: mögliche Ausbildung von Dachverschneidungen in historischen Dachtragwerken (vgl. KRAUTH U. MEYER (1881); MENZEL U. A. (1872))

Typische Ausbildungen des Anschlusses der Dachhaut an die Außenfassade von Sparrendächern

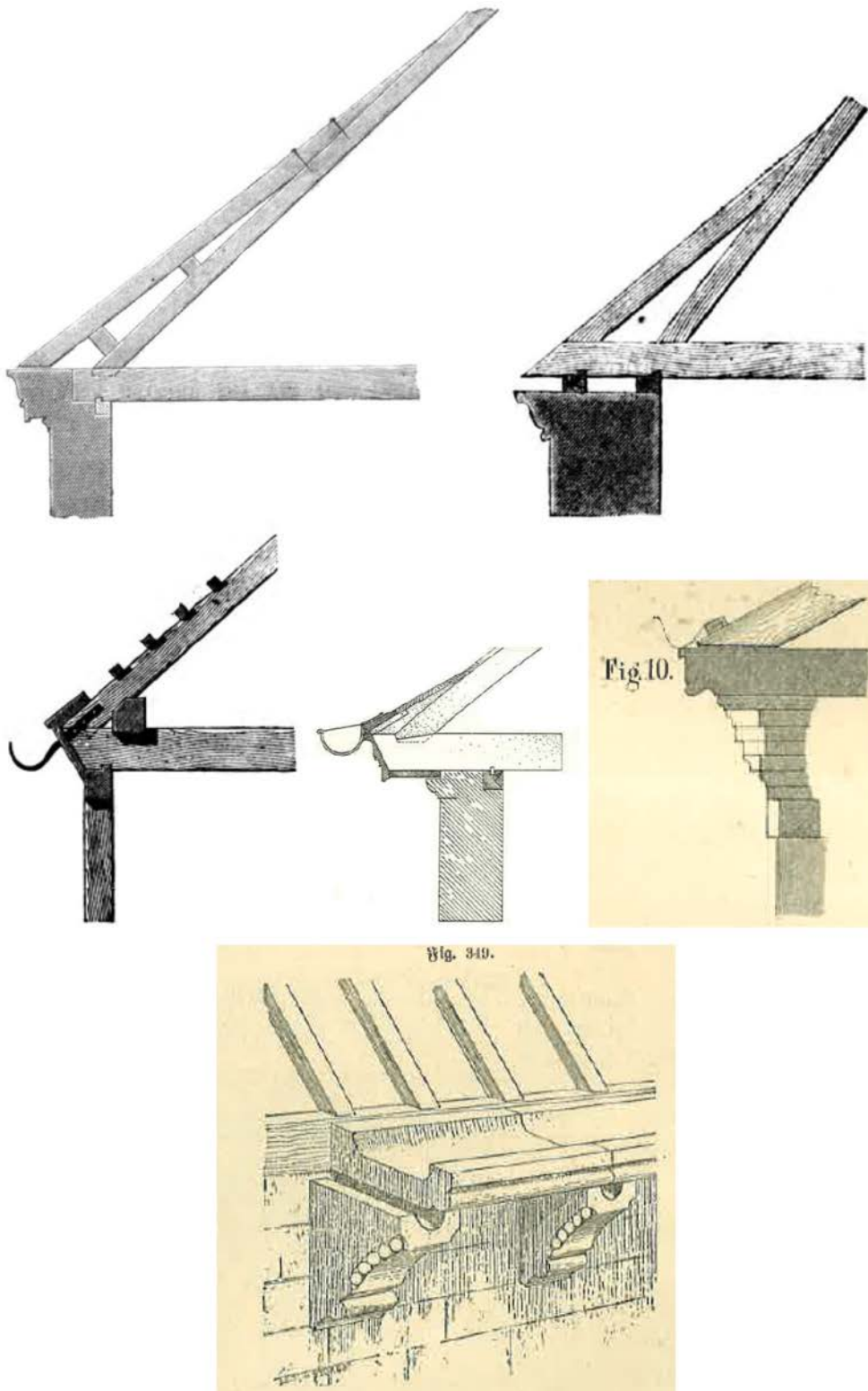


Abb. A.3: mögliche Ausbildung von Anschlüssen der Dachhaut an die Fassade von Sparrendächern (vgl. BREYMANN (1900); KOLLER (1800); KRAUTH U. MEYER (1881); MENZEL U. A. (1872))

Typische Ausbildungen des Anschlusses der Dachhaut an die Außenfassade von Sparrendächern

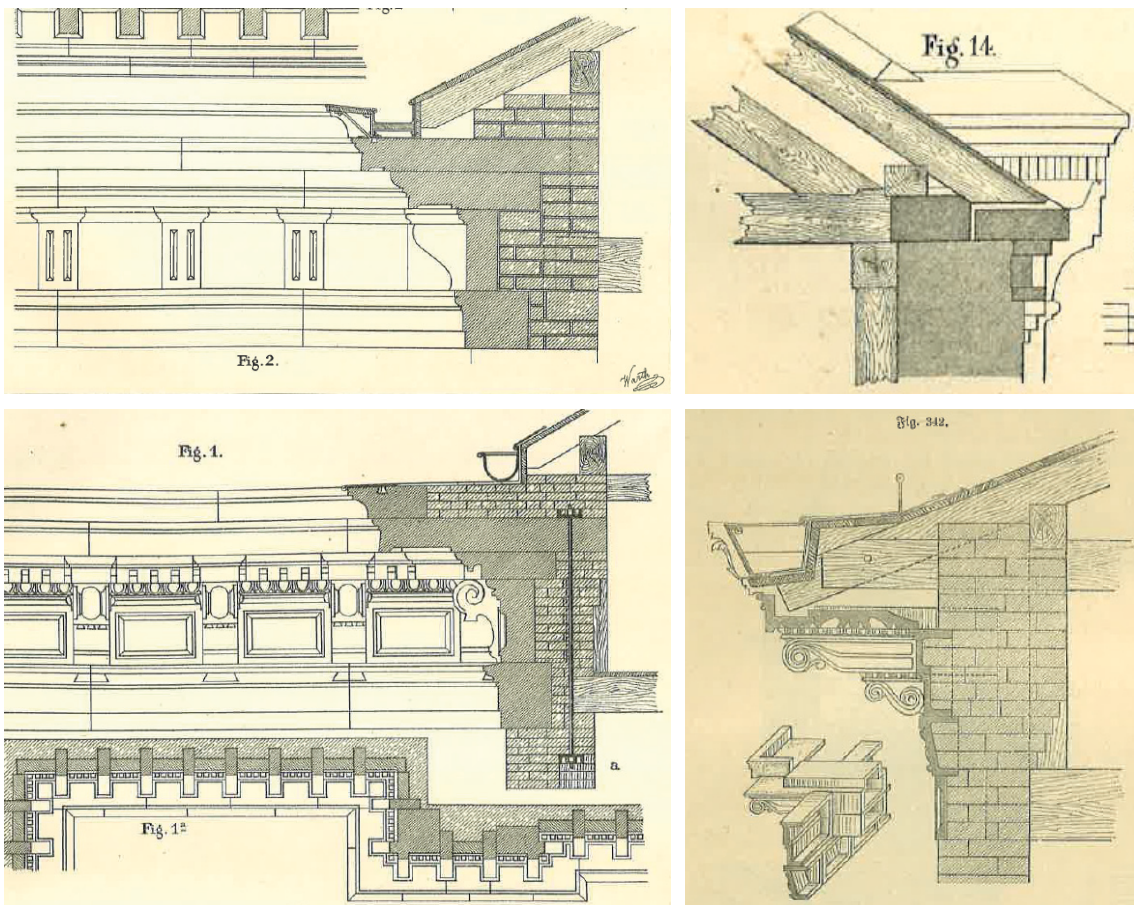


Abb. A.4: mögliche Ausbildung von Anschlüssen der Dachhaut an die Fassade von Pfettendächern (vgl. MENZEL U. A. (1872))

Bei der Systemaufnahme ist zu beachten, dass alle Dimensionen des globalen Systems sowie alle Querschnitte der einzelnen Bauteile aufgemessen und verzeichnet werden. Dabei ist auch auf die Art der Schreibweise, bei den Aufzeichnungen der Abmessungen der Bauteilgeometrien zu achten. Hier empfiehlt es sich Dimensionen, welche parallel zur Zeichnungsoberfläche verlaufen mit einem Unterstrich zu versehen. Abmessungen rechtwinkelig zur Zeichnungsoberfläche sollten ohne Unterstrich verbleiben. Weiter wird die Breite des Querschnitts vor der Höhe notiert und die Breite wird im Allgemeinen horizontal gemessen. Durch diese Art der Dokumentation ist es möglich, die genommenen Aufmaße zu einem späteren Zeitpunkt problemlos nachzuvollziehen (vgl. HOLZER (2013B)).

Die folgenden Bilder zeigen ein Beispiel zu einer Schadenskartierung und eine Materialdatenkartierung.

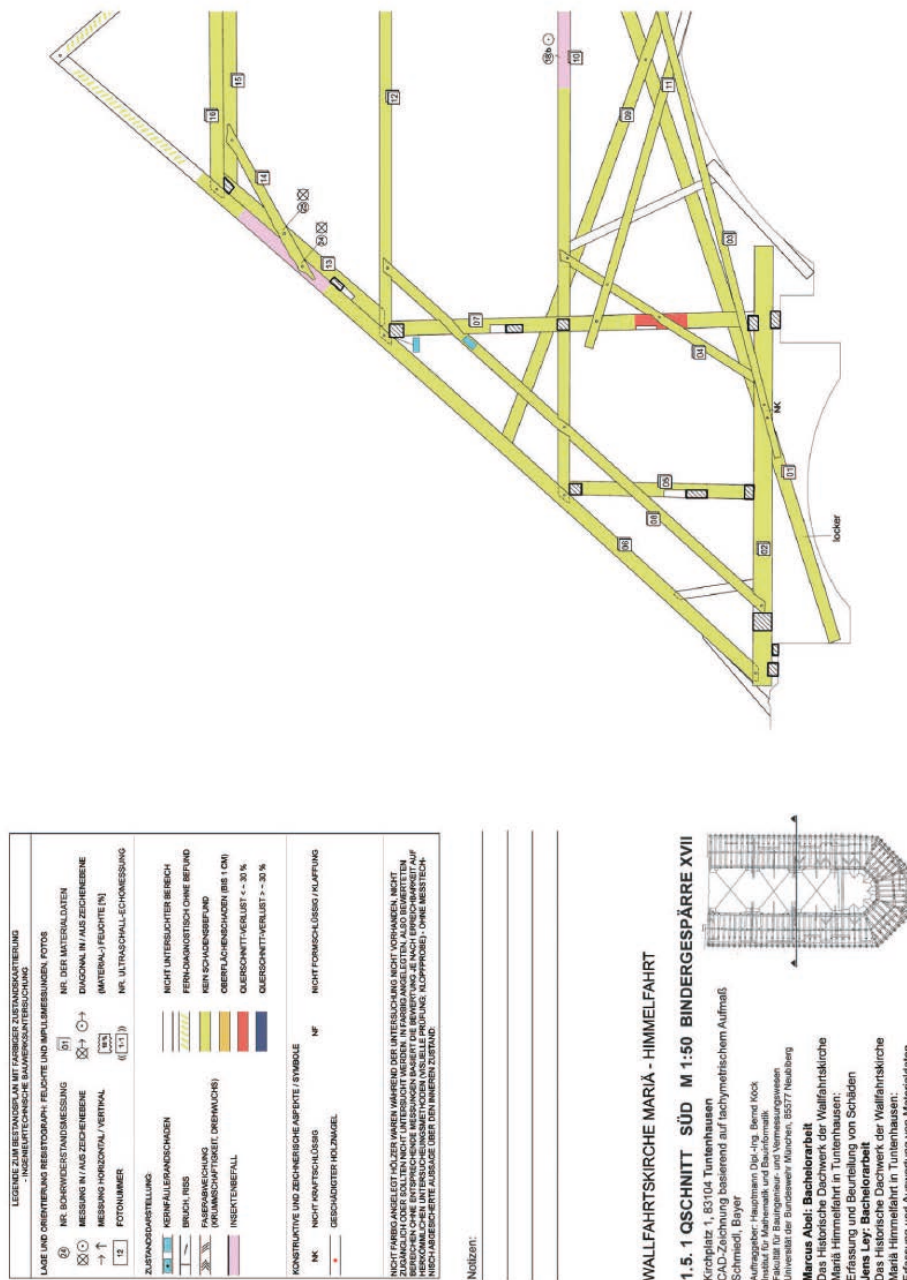
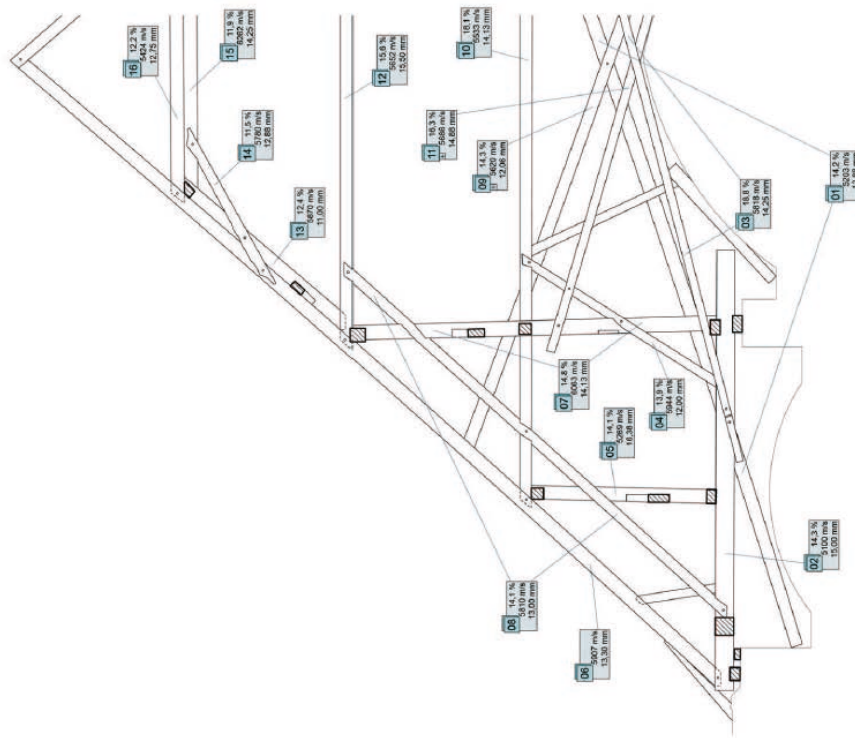


Abb. B.2: Schadenskartierung am Dachwerk der Pfarrkirche Tüntenhäusen (vgl. KÖCK (2011 S. 280))

LEGENDE: MATERIALDATENERFASSUNG DER PFARRKIRCHE TUNTENHAUSEN	
MESSNUMMER	<p>HOLZLEICHTE (N)</p> <p>(Messgerät: Tübac TS 70 Rammlektrode)</p> <p>MECH. IMPULS-LAUFGZEITMESSUNG (ms)</p> <p>(Messgerät: Syntress-Duo0)</p> <p>EINDRINGTIEFE (mm)</p> <p>(Messgerät: Prodyn 6U)</p>
zusätzlich eingerechneter Messpunkt vorhanden	<p>05 14,3 %</p> <p>13,90 mm</p> <p>05 14,3 %</p> <p>13,90 mm</p>
zusätzlicher Messpunkt:	<p>05</p>
Anmerkung:	<p>Die angegebenen Materialdaten wurden teilweise an verschiedenen Positionen eines Balkens gemessen. Dies ergibt sich oft, aus der Concrete und Positionierung des Balkens, da aufgrund von Verbindungen und Einschnitten die Verformung unterschiedlich sein kann. Die Messung wurde absichtlich an einem erforderten Stück gemessen, da bei der Länge des Holzes die Messung an einem lang liegenden Balken nicht ausgangstauglich genug gewesen wäre, um über den gesamten Balken eine gute Durchgängigkeit zu gewährleisten. Die Messung wurde an einer Position durchgeführt, die für die Messung geeignet ist. Dieses Vorgehen dient dazu, in einer Nachrechnung für die einzelnen Balken in Mängel genaue Materialdaten annehmen zu können.</p>
Notizen:	



WALLFAHRTSKIRCHE MARIÄ HIMMELFAHRT

1.5.1 QSCHNITT SÜD M 1:50 BINDERGESPÄRRE XVII

Kirchplatz 1, 83104 Tuntenhäusen
 CAD-Zeichnung basierend auf tachymetrischem Aufmaß
 Schmiedl, Bayer

Auftraggeber: Hochhaus Das Jng Bernd Köck
 Institut für Mathematik und Bauinformatik
 Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen
 Universität der Bundeswehr München, 8557 Neubiberg

Marcus Abel: Bachelorarbeit
Das Historische Dachwerk der Wallfahrtskirche
Maria Himmelfahrt in Tuntenhäusen:
 Erfassung und Beurteilung von Schäden
Jens Ley: Bachelorarbeit
Das historische Dachwerk der Wallfahrtskirche
 Maria Himmelfahrt in Tuntenhäusen:
 Erfassung und Auswertung von Materialdaten

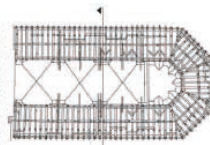
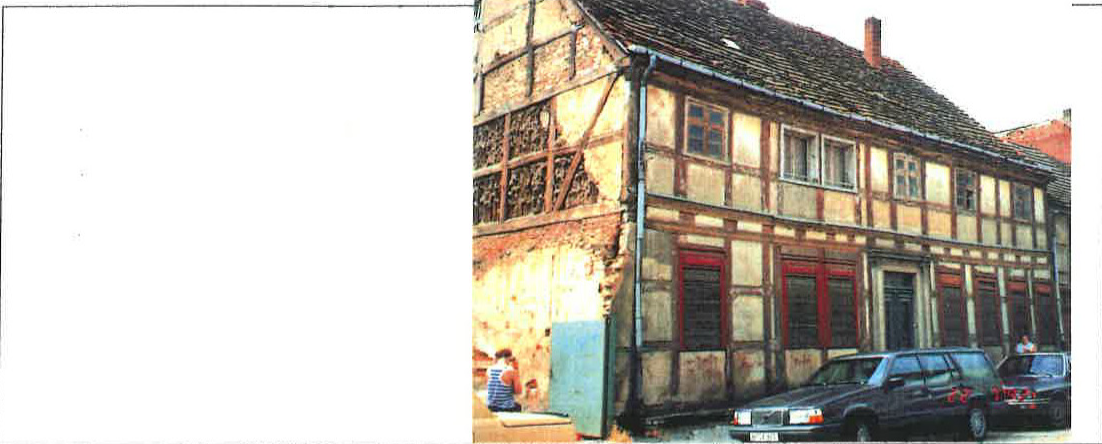


Abb. B.3: Materialdatenkartierung am Dachwerk der Pfarrkirche Tuntenhäusen (vgl. KÖCK (2011 S. 281))

Zusätzlich zum Systemaufmaß, zur Schadenskartierung und Materialdatenkartierung sollte ergänzend ein Bauwerksdatenblatt geführt werden. Ein Beispiel dazu zeigen Abb. 4 bis Abb. 6 (vgl. TICHELMANN (1993 – 2)). Weitere umfangreichere Formblätter stellt ABELS (2013) zur Verfügung.

BAUWERKSBLATT

Projekt: Datum: 22.07. 1992
 Ort: Nauen Straße: Jüdenstr. 6 (Wohnhaus) Flur: Flurstück:
 Eigentümer: privat



GEBÄUDELAGE
 offene Bauweise geschlossene Bauweise ■ Giebel-/Traufstellung Hintergebäude

GEBÄUDEART und NUTZUNG

Einfamilienhaus		Nutzung	
Zweifamilienhaus	■	Keller	: Lagerung
Mehrfamilienhaus		EG	: Wohnung
Sonstiges		1.OG	: Wohnung/Lagerung
		2.OG	:
		3.OG	:
Gebäudetyp	1F	Dach	: Boden
Anzahl der Geschosse	2	geplante Änderungen	

BAUJAHR
 genaue Angabe Sanierung /Modernisierung
 geschätzte Angabe: um 1850 An-/Umbauten
 dendrochronolog. Angabe

GEBÄUDEANGABEN

Anzahl der WE	2	Haustechnik	
Dach ausgebaut	% 0	IWC	■ AWC Bad
bebaute Fläche	m ²	Heizung:	Ofen ■ Etage Zentral
umbauter Raum	m ³	Elt.Inst.:	AP ■ UP ■
Geschoßfläche	m ²	Bemerkungen:	

BAUART	Keller	EG	1.OG	2.OG	3.OG
Außenwände	Ziegel	Ziegel/Fachwerk	Fachwerk		
Innenwände		Ziegel/Fachwerk	Fachwerk		
Decken					
Fußböden	Ziegel	Fliesen/Estrich/Die	Holzdielen		
		1			

Dach	Form	: Satteldach	Fachwerk	Holzart	: Nadelholz
	Aufbauten	: -		Ausfachung	: Lehm/Ziegel
	Deckung	: Kronendeckung		verputzt (%)	: 60
	Entwässerung	: vorhanden		verkleidet (%)	:
	Konstruktion	: Kehlbalkendach mit zweifach stehendem Stuhl			
Unterkellerung (%)		: 100	Anbauten	: keine	

Abb. B.4: Bauwerksblatt nach TICHELMANN (1993 – 2)

Bauzustandsstufen	Stand- sicherheit, Trag- fähigkeit, Funktions- tüchtigkeit	Risse/Brüche m. statisch konstruk- tiven Ur- sachen	Sonst. Risse, Brüche u. Abspreng- ungen	Wärme- dämmung	Feuchtig- keitschutz	Beschädi- gungen u. Undichtig- keit	Biologische Zerstö- rungen	Versot- tungen
1	voll gewähr- leistet	keine	unbedeutend	voll gesichert	voll gesichert	keine	keine	keine
2	vermindert gewähr- leistet	unbedeutend	gering (lokal begrenzt)	annähernd gesichert	annähernd gesichert	unbedeutend	keine	keine
3	teilw. nicht gewähr- leistet	gering (lokal begrenzt)	bedeutend (lokal verteilt)	teilweise nicht gesichert	teilweise nicht gesichert	gering	gering	gering
4	überwiegend nicht gewähr- leistet	bedeutend	bedeutend	überwie- gend nicht gesichert	überwie- gend nicht gesichert	bedeutend	bedeutend	bedeutend
Außenwände								
Eingangsseite	2						3	
links davon	4						3	
rechts davon	-							
Rückseite	2							
Innenwände								
Keller	2							
EG	2							
1.OG	2							
2.OG								
3.OG								
...								
Fassaden								
Eingangsseite	1							
links davon	4							
rechts davon	-							
Rückseite	3		3					
Feuchtigkeitssperren im Sockelbereich	3							
Holzbalkendecken								
Keller/Dach	3						3	
1.OG	3							
2.OG								
3.OG (Dach)								
EG	3							
Holztreppen								
Keller/EG	3							
EG/1.OG	3							
1.OG/2.OG								
2.OG/Dach								
1.OG/Dach	3							
Fußböden								
Keller								
EG	2							
1.OG	2							
2.OG								
3.OG								
...								
Dachkonstruktion								
Sparren	4							
Pfetten	-							
Kehlbalken	3							
Stuhl	4							
Dachlatten	4							
Dachdeckung	4					3	3	
Dachentwässerung	2							
Schornsteine unter Dach	4							4
Schornsteine über Dach								

Abb. B.5: Bauwerksblatt nach TICHELMANN (1993 – 2)

Anhang C

CHARTA VON VENEDIG 1964

INTERNATIONALE CHARTA ÜBER DIE KONSERVIERUNG UND RESTAURIERUNG VON DENKMÄLERN UND ENSEMBLES (DENKMALBEREICHE)*

Als lebendige Zeugnisse jahrhundertealter Traditionen der Völker vermitteln die Denkmäler in der Gegenwart eine geistige Botschaft der Vergangenheit. Die Menschheit, die sich der universellen Geltung menschlicher Werte mehr und mehr bewußt wird, sieht in den Denkmälern ein gemeinsames Erbe und fühlt sich kommenden Generationen gegenüber für ihre Bewahrung gemeinsam verantwortlich. Sie hat die Verpflichtung, ihnen die Denkmäler im ganzen Reichtum ihrer Authentizität weiterzugeben.

Es ist daher wesentlich, daß die Grundsätze, die für die Konservierung und Restaurierung der Denkmäler maßgebend sein sollen, gemeinsam erarbeitet und auf internationaler Ebene formuliert werden, wobei jedes Land für die Anwendung im Rahmen seiner Kultur und seiner Traditionen verantwortlich ist. Indem sie diesen Grundprinzipien eine erste Form gab, hat die Charta von Athen von 1931 zur Entwicklung einer breiten internationalen Bewegung beigetragen, die insbesondere in nationalen Dokumenten, in den Aktivitäten von ICOM und UNESCO und in der Gründung des „Internationalen Studienzentrums für die Erhaltung und Restaurierung der Kulturgüter“ Gestalt angenommen hat. Wachsendes Bewußtsein und kritische Haltung haben sich immer komplexeren und differenzierteren Problemen zugewandt; so scheint es an der Zeit, die Prinzipien jener Charta zu überprüfen, um sie zu vertiefen und in einem neuen Dokument auf eine breitere Basis zu stellen.

Daher hat der vom 25. bis 31. Mai 1964 in Venedig versammelte II. Internationale Kongreß der Architekten und Techniker der Denkmalpflege den folgenden Text gebilligt:

DEFINITIONEN

Artikel 1

Der Denkmalbegriff umfaßt sowohl das einzelne Denkmal als auch das städtische oder ländliche Ensemble (Denkmalbereich), das von einer ihm eigentümlichen Kultur, einer bezeichnenden Entwicklung oder einem historischen Ereignis Zeugnis ablegt. Er bezieht sich nicht nur auf große künstlerische Schöpfungen, sondern auch auf bescheidene Werke, die im Lauf der Zeit eine kulturelle Bedeutung bekommen haben.

Artikel 2

Konservierung und Restaurierung der Denkmäler bilden eine Disziplin, welche sich aller Wissenschaften und aller Techniken bedient, die zur Erforschung und Erhaltung des kulturellen Erbes beitragen können.

ZIELSETZUNG

Artikel 3

Ziel der Konservierung und Restaurierung von Denkmälern ist ebenso die Erhaltung des Kunstwerks wie die Bewahrung des geschichtlichen Zeugnisses.

ERHALTUNG

Artikel 4

Die Erhaltung der Denkmäler erfordert zunächst ihre dauernde Pflege.

Artikel 5

Die Erhaltung der Denkmäler wird immer begünstigt durch eine der Gesellschaft nützliche Funktion. Ein solcher Gebrauch ist daher wünschenswert, darf aber Struktur und Gestalt der Denkmäler nicht verändern. Nur innerhalb dieser Grenzen können durch die Entwicklung gesellschaftlicher Ansprüche und durch Nutzungsänderungen bedingte Eingriffe geplant und bewilligt werden.

Artikel 6

Zur Erhaltung eines Denkmals gehört die Bewahrung eines seinem Maßstab entsprechenden Rahmens. Wenn die überlieferte Umgebung noch vorhanden ist, muß sie erhalten werden, und es verbietet sich jede neue Baumaßnahme, jede Zerstörung, jede Umgestaltung, die das Zusammenwirken von Bauvolumen und Farbigkeit verändern könnte.

Artikel 7

Das Denkmal ist untrennbar mit der Geschichte verbunden, von der es Zeugnis ablegt, sowie mit der Umgebung, zu der es gehört. Demzufolge kann eine Translozierung des ganzen Denkmals oder eines Teiles nur dann geduldet werden, wenn dies zu seinem Schutz unbedingt erforderlich ist oder bedeutende nationale oder internationale Interessen dies rechtfertigen.

Artikel 8

Werke der Bildhauerei, der Malerei oder der dekorativen Ausstattung, die integraler Bestandteil eines Denkmals sind, dürfen von ihm nicht getrennt werden; es sei denn, diese Maßnahme ist die einzige Möglichkeit, deren Erhaltung zu sichern.

RESTAURIERUNG

Artikel 9

Die Restaurierung ist eine Maßnahme, die Ausnahmecharakter behalten sollte. Ihr Ziel ist es, die ästhetischen und historischen Werte des Denkmals zu bewahren und zu erschließen. Sie gründet sich auf die Respektierung des überlieferten Bestandes und auf authentische Dokumente. Sie findet dort ihre Grenze, wo die Hypothese beginnt. Wenn es aus ästhetischen oder technischen Gründen notwendig ist, etwas wiederherzustellen, von dem man nicht weiß, wie es ausgesehen hat, wird sich das ergänzende Werk von der bestehenden Komposition abheben und den Stempel unserer Zeit tragen. Zu einer Restaurierung gehören vorbereitende und begleitende archäologische, kunst- und geschichtswissenschaftliche Untersuchungen.

Artikel 10

Wenn sich die traditionellen Techniken als unzureichend erweisen, können zur Sicherung eines Denkmals alle modernen Konservierungs- und Konstruktionstechniken herangezogen werden, deren Wirksamkeit wissenschaftlich nachgewiesen und durch praktische Erfahrung erprobt ist.

Artikel 11

Die Beiträge aller Epochen zu einem Denkmal müssen respektiert werden: Stileinheit ist kein Restaurierungsziel. Wenn ein Werk verschiedene sich überlagernde Zustände aufweist, ist eine Aufdeckung verdeckter Zustände nur dann gerechtfertigt, wenn das zu Entfernende von geringer Bedeutung ist, wenn der aufzudeckende Bestand von hervorragendem historischem, wissenschaftlichem oder ästhetischem Wert ist und wenn sein Erhaltungszustand die Maßnahme rechtfertigt. Das Urteil über den Wert der zur Diskussion stehenden Zustände und die Entscheidung darüber, was beseitigt werden kann, dürfen nicht allein von dem für das Projekt Verantwortlichen abhängen.

Artikel 12

Die Elemente, welche fehlende Teile ersetzen sollen, müssen sich dem Ganzen harmonisch einfügen und vom Originalbestand unterscheidbar sein, damit die Restaurierung den Wert des Denkmals als Kunst- und Geschichtsdokument nicht verfälscht.

Artikel 13

Hinzufügungen können nur geduldet werden, soweit sie alle interessanten Teile des Denkmals, seinen überlieferten Rahmen, die Ausgewogenheit seiner Komposition und sein Verhältnis zur Umgebung respektieren.

DENKMALBEREICHE

Artikel 14

Denkmalbereiche müssen Gegenstand besonderer Sorge sein, um ihre Integrität zu bewahren und zu sichern, daß sie saniert und in angemessener Weise präsentiert werden. Die Erhaltungs- und Restaurierungsarbeiten sind so durchzuführen, daß sie eine sinnngemäße Anwendung der Grundsätze der vorstehenden Artikel darstellen.

AUSGRABUNGEN

Artikel 15

Ausgrabungen müssen dem wissenschaftlichen Standard entsprechen und gemäß der UNESCO-Empfehlung von 1956 durchgeführt werden, welche internationale Grundsätze für archäologische Ausgrabungen formuliert.

Erhaltung und Erschließung der Ausgrabungsstätten sowie die notwendigen Maßnahmen zum dauernden Schutz der Architekturelemente und Fundstücke sind zu gewährleisten. Außerdem muß alles getan werden, um das Verständnis für das ausgegrabene Denkmal zu erleichtern, ohne dessen Aussagegewert zu verfälschen.

Jede Rekonstruktionsarbeit aber soll von vornherein ausgeschlossen sein; nur die Anastylose kann in Betracht gezogen werden, das heißt, das Wiederaussetzen vorhandener, jedoch aus dem Zusammenhang gelöster Bestandteile. Neue Integrationselemente müssen immer erkennbar sein und sollen sich auf das Minimum beschränken, das zur Erhaltung des Bestandes und zur Wiederherstellung des Formzusammenhanges notwendig ist.

DOKUMENTATION UND PUBLIKATION

Artikel 16

Alle Arbeiten der Konservierung, Restaurierung und archäologische Ausgrabungen müssen immer von der Erstellung einer genauen Dokumentation in Form analytischer und kritischer Berichte, Zeichnungen und Photographien begleitet sein. Alle Arbeitsphasen sind hier zu verzeichnen: Freilegung, Bestandsicherung, Wiederherstellung und Integration sowie alle im Zuge der Arbeiten festgestellten technischen und formalen Elemente. Diese Dokumentation ist im Archiv einer öffentlichen Institution zu hinterlegen und der Wissenschaft zugänglich zu machen. Eine Veröffentlichung wird empfohlen.

Mitglieder der Redaktionskommission für die Internationale Charta über die Konservierung und Restaurierung von Denkmälern waren: Piero Gazzola (Italien), Präsident /Raymond Lemaire (Belgien), Berichterstatter/Jose Bassegoda-Nonell (Spanien)/Luis Benavente (Portugal) / Djurdje Boskovic (Jugoslawien) / Hiroshi Daifuku (UNESCO)/P. L. De Vrieze (Niederlande) /Harald Langberg (Dänemark) /Mario Matteucci (Italien) / Jean Merlet (Frankreich) /Carlos Flores Marini (Mexiko) / Roberto Pane (Italien)/S. C. J. Pavel (Tschechoslowakei) /Paul Philippot (ICCRUM) / Victor Pimentel (Peru) / Harold Plenderleith (ICCRUM) / Deoclecio Redig de Campos (Vatikan) / Jean Sonnier (Frankreich) / Francois Sorlin (Frankreich) / Eustathios Stikas (Griechenland) / Gertrude Tripp (Österreich) /Jan Zachwatovicz (Polen)/ Mustafa S. Zbiss (Tunesien).

* Die Charta wurde 1964 in den UNESCO-Sprachen Englisch, Spanisch, Französisch und Russisch vorgelegt, wobei der französische Text die Urfassung darstellte. Eine Publikation der viersprachigen Originalfassung der Charta besorgte 1966 ICOMOS (International Council of Monuments and Sites). In deutscher Übersetzung erschien die Charta seit 1965 mehrfach (Deutsche Bauzeitung 12/ 1965, Österreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege, Jg. XXII/1968, u. a.). Da den publizierten deutschen Fassungen z. T. sehr voneinander abweichende Übersetzungen zugrunde liegen, erschien es geboten, für den deutschsprachigen Raum eine einheitliche Übersetzung und Formulierung dieser für die Denkmalpflege nach wie vor gültigen internationalen Generalinstruktion vorzulegen. Diese besorgten auf der Grundlage des französischen und englischen Originaltextes und vorhandener deutscher Fassungen im April 1989: Ernst Bacher (Präsident des ICOMOS Nationalkomitees Österreich), Ludwig Deiters (Präsident des ICOMOS Nationalkomitees Deutsche Demokratische Republik), Michael Petzet (Präsident des ICOMOS Nationalkomitees Bundesrepublik Deutschland) und Alfred Wyss (Vizepräsident des ICOMOS Nationalkomitees Schweiz).

Anhang D

Im Folgenden werden anhand eines realen Projektes – der Alte Universität in Graz – die auf ein Dachtragwerk anzusetzenden Lasten nach dem Stand der Technik (Eurocode 1) berechnet. Danach werden die Schnittkräfte eines Vollgespärres mit Hilfe eines räumlichen Stabmodells in RSTAB 7.04 ermittelt, bei welchem die auftretenden Exzentrizitäten und Nachgiebigkeiten berücksichtigt wurden. Abschließend wird beispielhaft die Ermittlung der Bemessungstragfähigkeit und des Ausnutzungsgrades des schrägen Zapfens zwischen Sparren und Bundtram mittels Zugstange und Stahlwinkel erläutert.

Lastaufstellung:

Zur Berechnung der Lasten werden folgende Einflussbreiten verwendet:

Der maximale Abstand der Hauptgespärre beträgt 4,40 m. Zwischen je zwei Hauptgespärre wurden drei Leergespärre angeordnet. Daraus ergibt sich ein Abstand der Leergespärre zueinander von 1,10 m.

Die Einflussbreite pro Gespärre ergibt sich daraus mit 1,10 m.

Eigengewicht Tragwerk

Das Eigengewicht des Tragwerkes wird näherungsweise vom Stabwerksprogramm RStab 7.04 automatisch berücksichtigt.

Dachaufbau

Der Dachaufbau besteht aus einer Dachlattung 3/5 cm mit einem lichten Abstand von 14 cm und einer Biberschwanzziegeldeckung. Daraus ergibt sich eine Belastung von $g_1 = 0,96 \text{ kN/m}^2$

Nutzlasten

Das Dach ist im Allgemeinen, außer für übliche Unterhalts- und Instandsetzungsmaßnahmen, nicht zugänglich. Dies entspricht der Nutzungskategorie H.

$$q_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 1,5 \text{ kN}$$

q_k ist nur auf eine maximale Fläche von 18 m^2 in ungünstigster Position aufzustellen und muss nicht mit gleichzeitig wirkenden Schnee- oder Windlasten angesetzt werden. Somit wird dies vernachlässigt.

Schneelasten

Standort: Graz - Zentrum

Seehöhe (A) = 369 m ü. A.

Zone (Z) = 2

$$s_k = 1,65 \text{ kN/m}^2$$

Formbeiwert:

mit Dachneigung $\alpha = 45^\circ$

$$\mu_1 = 0,8 * (60 - \alpha) / 30 = 0,4$$

Durch montierte Schneefänger und Schneefangnetze wird der Schnee am Abrutschen gehindert, daher wird lt. Eurocode der Formbeiwert von 0,80 angesetzt.

Schneelast auf dem Dach:

$$S = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,80 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,65 = 1,32 \text{ kN/m}^2$$

Wert für Geländegegebenheit $c_e = 1,0$ (üblich)

Temperaturbeiwert $c_t = 1,0$

Lastfälle Schnee:

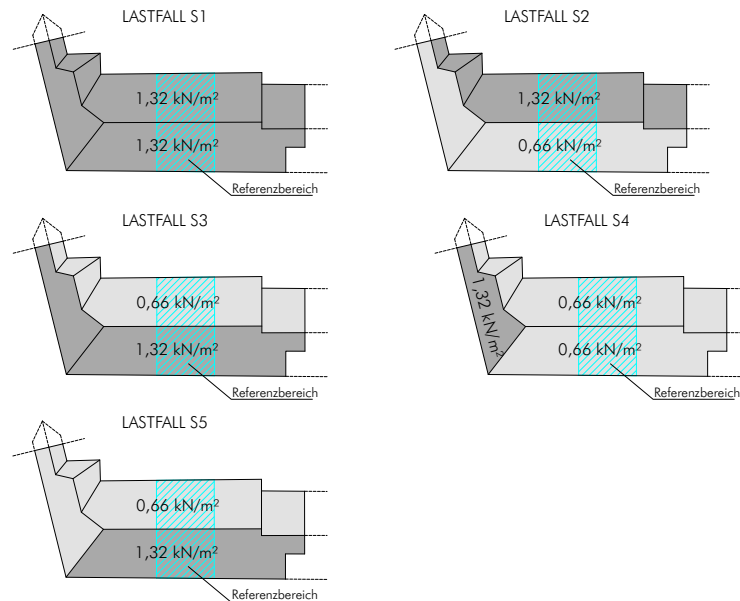


Abb. D.1: Anzusetzende Lastfälle aus Schneelast auf dem Dach

Kombinationsbeiwerte:

$$\psi_0 = 0,50; \psi_1 = 0,20; \psi_2 = 0$$

Windlasten

Standort: Graz

Basisgeschwindigkeitsdruck $q_{b,0} = 0,26 \text{ kN/m}^2$

Geländekategorie IV (Innenstadt)

$$z_0 = 1,0 \text{ m}$$

$$z_{\min} = 15 \text{ m}$$

$$z_e = h = 30 \text{ m (Gebäudehöhe)}$$

$$b = 22 \text{ m}$$

charakteristischer Böengeschwindigkeitsdruck (Spitzengeschwindigkeitsdruck):

$$\frac{q_p}{q_b} = \frac{q_p}{q_{b,0}} = 1,2 \cdot \left(\frac{z_e}{10}\right)^{0,38}$$

$$q_p(z) = 0,26 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{30}{10}\right)^{0,38} = 0,47 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Globale Windeinwirkungen auf das Gebäude, Dachneigung $\alpha = 45^\circ$

Strukturbeiwert $c_s c_d = 1,0$.

$\alpha = 45^\circ$ Anströmrichtung	Dachflächenbereiche								
	F	G	H	I	J	K	L	M	N
normal zum First	-0,0	-0,0	-0,0	-0,3	-0,6	-0,3	-1,3	-0,8	-0,2
parallel zum First	+0,7	+0,7	+0,6	-0,3	-0,6	-0,3	-1,3	-0,8	-0,2

Außendruckbeiwerte $c_{pe,10}$: („+“...Druck; „-“...Zug)

Die Windwirkung ergibt sich aus der ungünstigsten Kombination von c_{pe} und c_{pi} , wobei das Mischen von positiven und negativen Werten auf einer Dachfläche nicht zulässig ist.

Der c_{pi} -Wert wurde laut Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke (ÖNORM B 1991-1-4) als ungünstigster Wert aus +0,2 und -0,3 gewählt.

$$w = (c_{pe} - c_{pi}) \cdot q_p(z)$$

Lastfälle Wind:

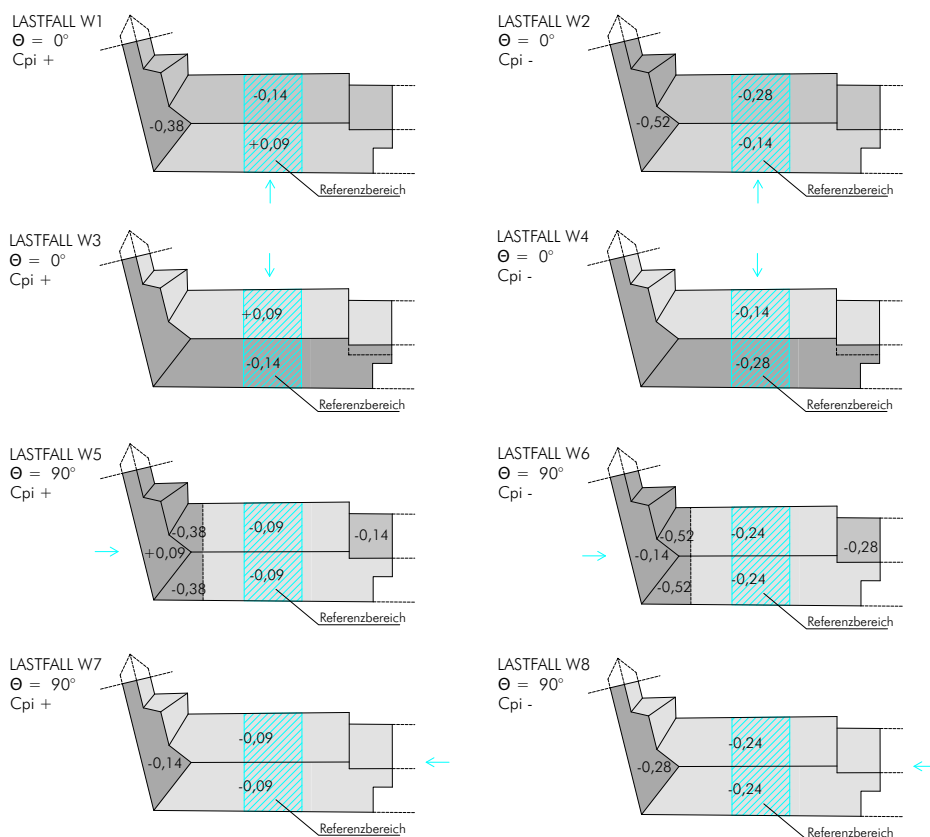


Abb. D.2: Lastfälle W1 bis W8 in $[kN/m^2]$ („+“... Druck auf die Fläche, „-“... Sog auf die Fläche)

Anmerkung: Werte wurden über die Dachflächen „verschmiert“.

Außergewöhnliche Lasteinwirkung - Erdbeben

Graz → Erdbebenzone 1

$$a_{gR} = 0,47 \text{ m/s}^2$$

Ansatz für den Baugrund:

Es wird ein Baugrund der Klasse D mit mittleren Kennwerten angesetzt.

$$v_{s,30} < 180 \text{ m/s}$$

$$N_{SPT} < 15$$

$$c_u = 0 \text{ kN/m}^2$$

Bedeutungskategorie II → $\gamma_f = 1,0$

$$S = 1,30$$

$$T_B = 0,20$$

$$T_C = 0,80$$

$$T_D = 2,00$$

$$a_g = 0,47 * 1,0 * 1,30 = 0,61 \text{ m/s}^2$$

→ es liegt 'geringe' Seismizität vor

→ Berechnung an 2 ebenen Modellen möglich

lt. Eurocode 8 - Erdbeben (EN 1998-1) muss der Erdbebennachweis hiermit nicht geführt werden.

Kombinationsbeiwerte:

$$\psi_0 = 0,60; \psi_1 = 0,20; \psi_2 = 0$$

Statisches 3D – Modell des Dachtragwerkes der Alten Universität Graz

Im Folgenden wird beispielhaft der Tragsicherheitsnachweis eines schrägen Zapfens eines Bundtram – Sparrenanschlusses angeführt. Um zur Berechnung des schrägen Zapfens realitätsnahe Kräfte zu erhalten, wurden anhand eines dreidimensionalen statischen Modells die Schnittkräfte unter Berücksichtigung der Exzentrizitäten und Steifigkeiten in den Verbindungen ermittelt. Abb. 7 zeigt das statische Modell und den dazugehörigen Grundriss des Gebäudes. Die genaue Modellbildung kann im Forschungsbericht des Bridge – Forschungsprojektes HOLZ – HOLZ – Verbindungen, welches an der Technischen Universität Graz, Institut für Holzbau und Holztechnologie, und der holz.bau forschungs gmbh bearbeitet wurde, nachgeschlagen werden.

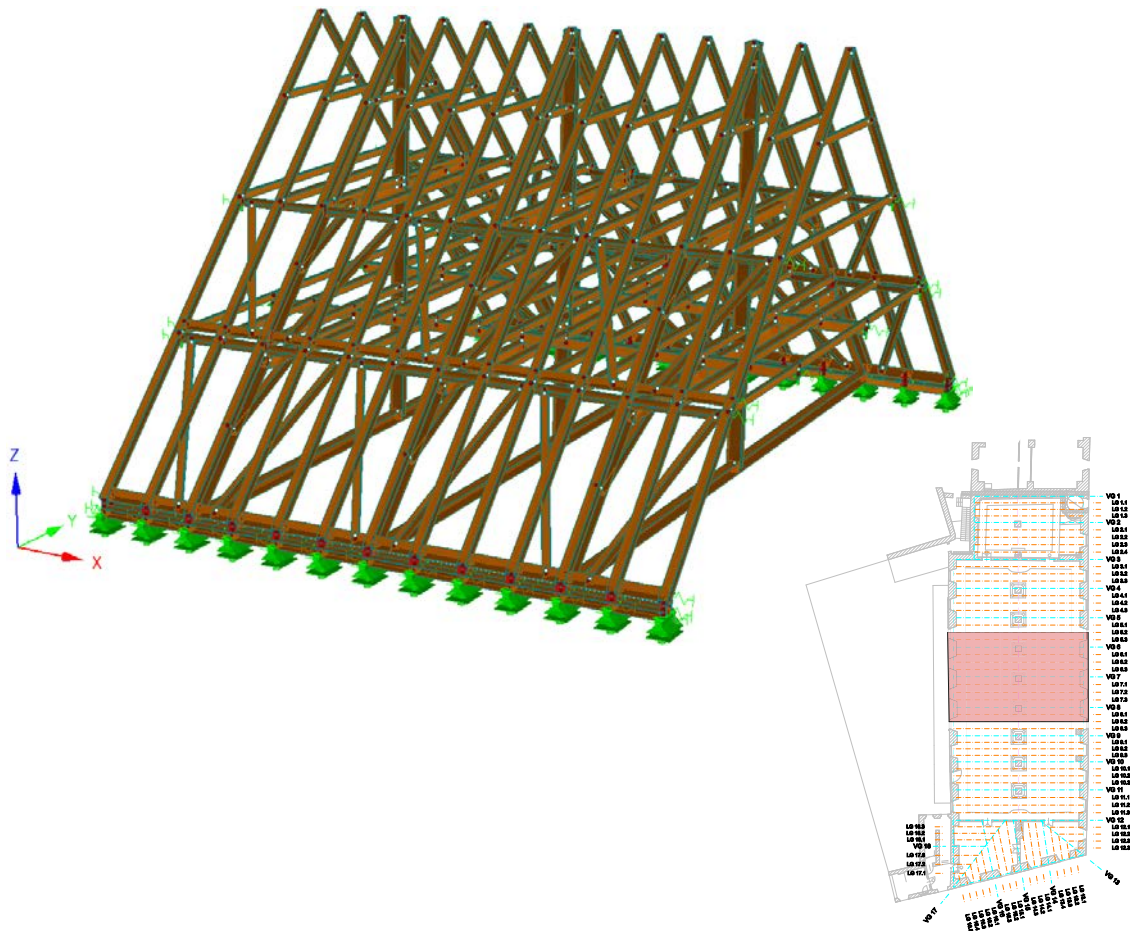


Abb. D.3: gewähltes Referenzsystem für statische dreidimensionale Berechnung des Dachtragwerkes sowie dessen Grundriss.

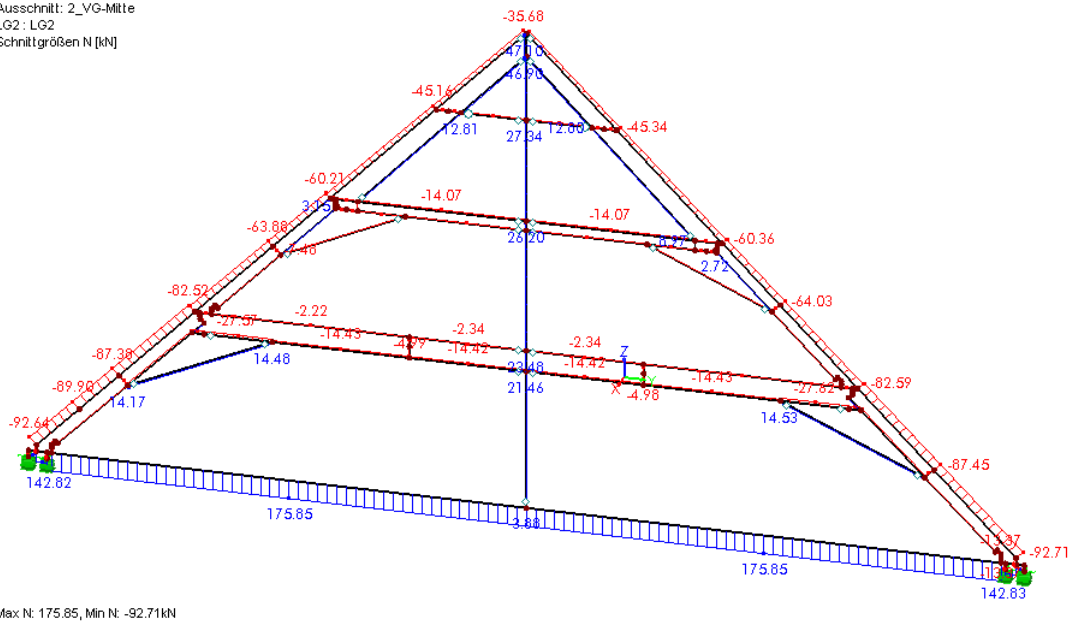
Zur Schnittkraftermittlung wurde der Lastfall Eigengewicht, ständige Lasten aus Dachaufbau sowie „Schneelast voll“ als ungünstigste Lasteinwirkungskombination gewählt. Gemäß EN 1990-1-1:2003 ist der Bemessungswert der Einwirkungen mit den Teilsicherheitsbeiwerten $\gamma_g = 1,35$ und $\gamma_q = 1,5$ zu ermitteln. In der Praxis kommt es häufig vor, dass zimmermannsmäßige Verbindungen historischer Dachtragwerke bei Nachweisen lt. Eurocode einen Ausnutzungsgrad von über 100 % erreichen. In solchen Fällen muss die betroffene Verbindung einer genaueren Untersuchung unterzogen werden, um zu prüfen, ob ein höherer Materialfestigkeitsansatz zulässig ist.

Schnittkraftverläufe des Vollgespärres

Im Folgenden werden die Schnittkraftverläufe in einem Vollgespärre dargestellt.

Normalkraftverlauf:

Ausschnitt: 2_VG-Mitte
LG2: LG2
Schnittgrößen N [kN]

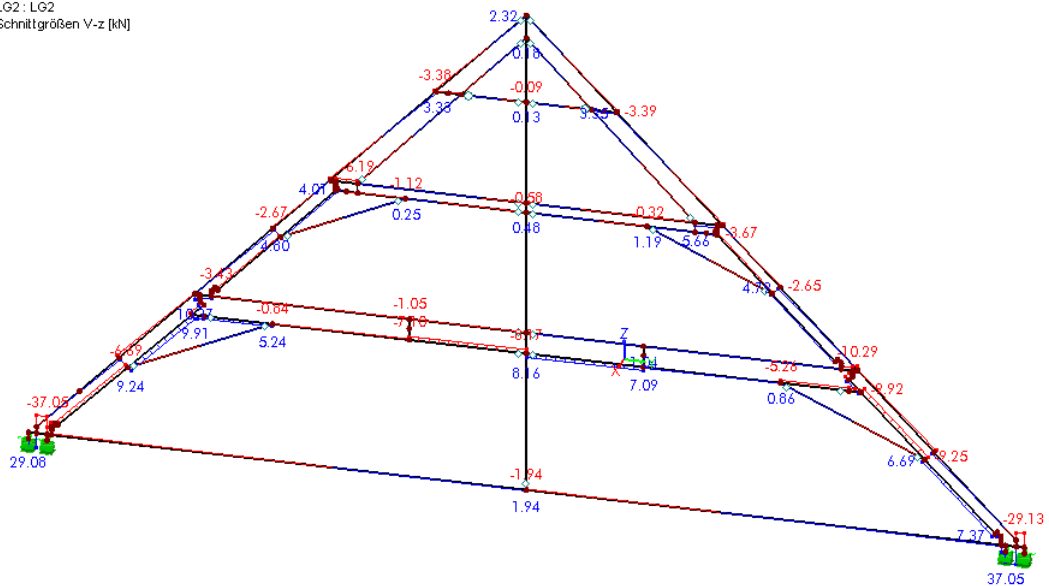


Max N: 175.85, Min N: -92.71 kN

Abb. D.4: Normalkraftverlauf [N] am Vollgespärre aufgrund LG1

Querkraftverlauf:

Ausschnitt: 2_VG-Mitte
LG2: LG2
Schnittgrößen V-z [kN]

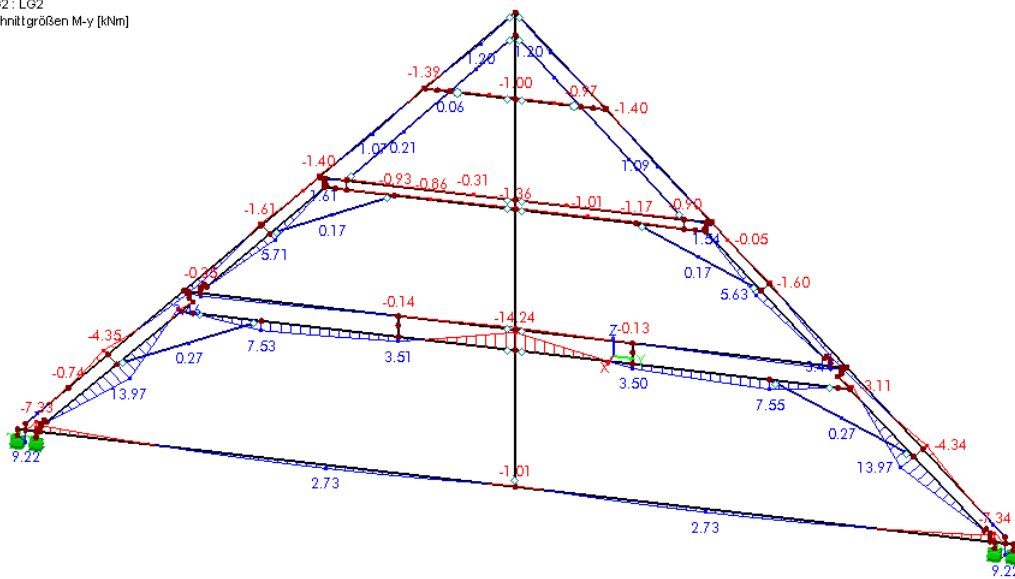


Max V-z: 37.05, Min V-z: -37.05 kN

Abb. D.5: Querkraftverlauf [V_z] am Vollgespärre

Momentenverlauf:

Ausschnitt: 2_VG-Mitte
LG2: LG2
Schnittgrößen M-y [kNm]

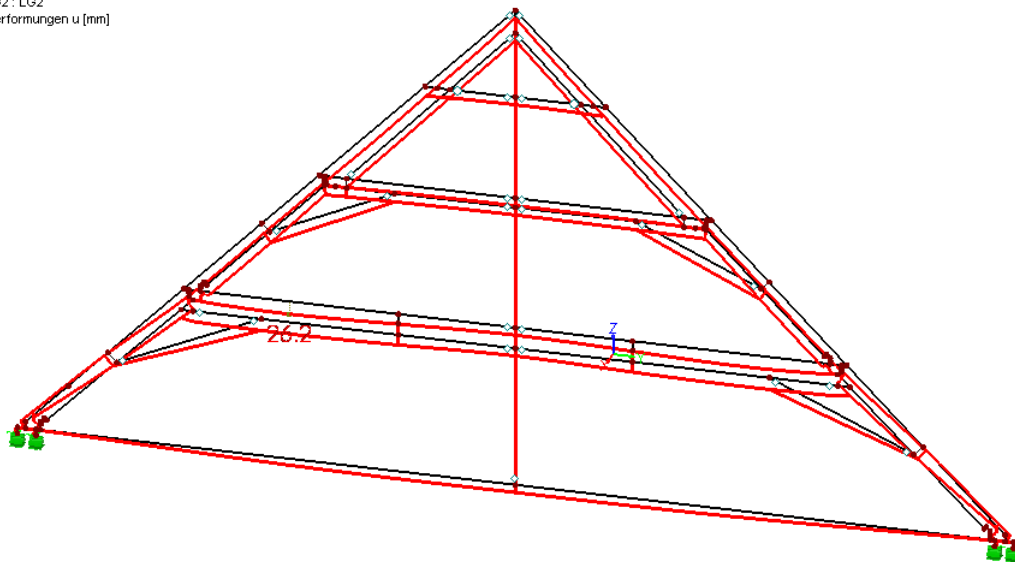


Max M-y: 13.97, Min M-y: -14.24kNm

Abb. D.6: Momentenverlauf $[M_y]$ am Vollgespärre

Verformungen:

Ausschnitt: 2_VG-Mitte
LG2: LG2
Verformungen u [mm]



Max u: 26.2, Min u: 2.5 mm

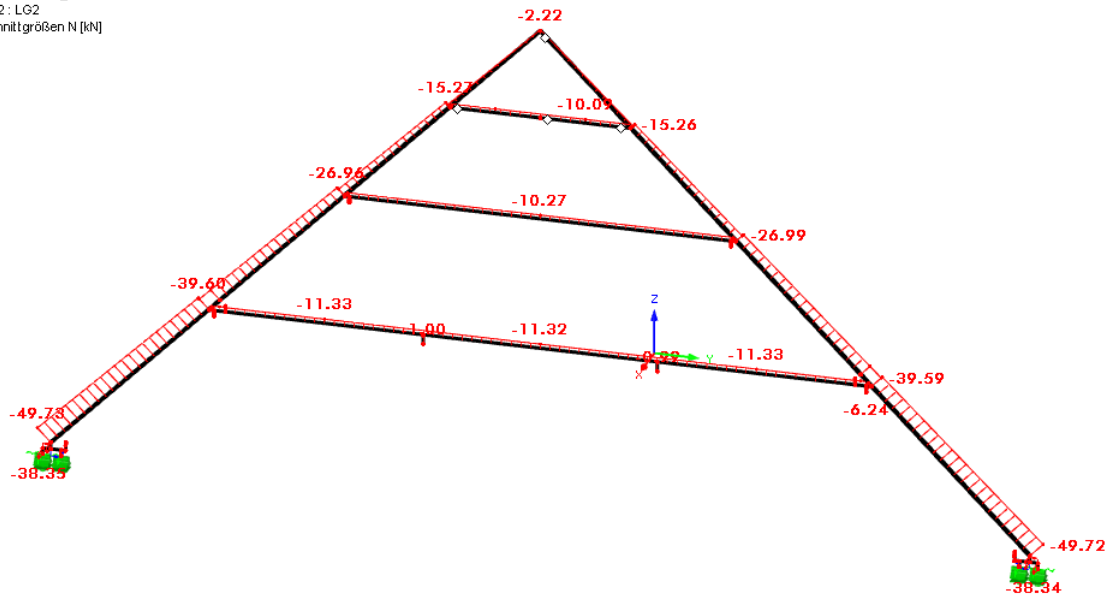
Abb. D.7: Verformung am Vollgespärre des 3D – Modells

Schnittkraftverläufe des Leergespärres

Im Folgenden werden die Schnittkraftverläufe in einem Leergespärre dargestellt.

Normalkraftverlauf:

Ausschnitt: 1_LG-1
LG2: LG2
Schnittgrößen N [kN]

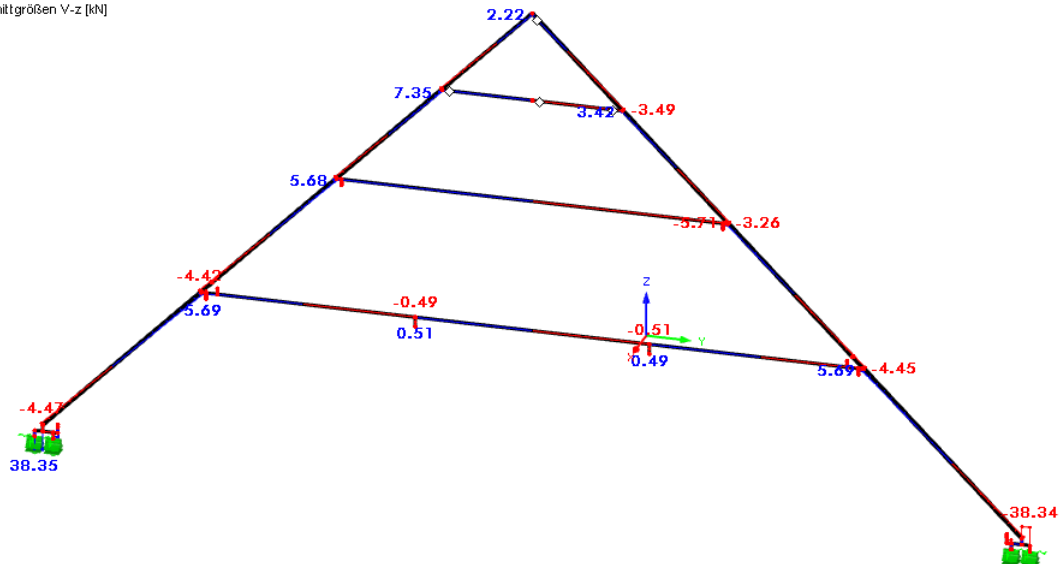


Max N: 19.51, Min N: -49.73kN

Abb. D.8: Normalkraftverlauf [N] am Vollgespärre aufgrund LG1

Querkraftverlauf:

Ausschnitt: 1_LG-1
LG2: LG2
Schnittgrößen V-z [kN]



Max V-z: 38.35, Min V-z: -38.34kN

Abb. D.9: Querkraftverlauf [V_z] am Vollgespärre

Momentenverlauf:

Ausschnitt: 1_LG-1
LG2: LG2
Schnittgrößen M-y [kNm]

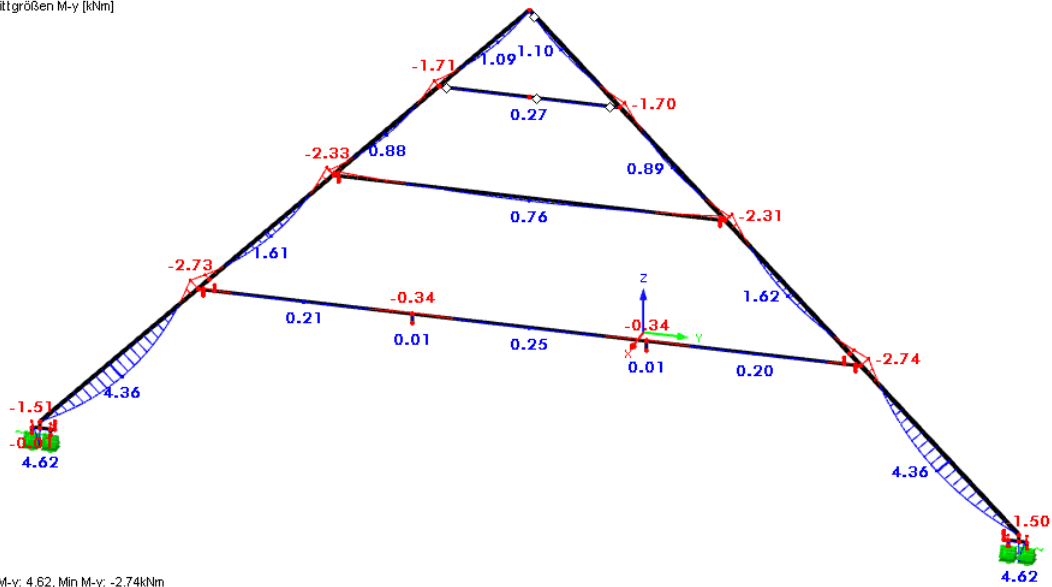


Abb. D.10: Momentenverlauf $[M_y]$ am Vollgespärre

Verformungen:

Ausschnitt: 1_LG-1
LG2: LG2
Verformungen u [mm]

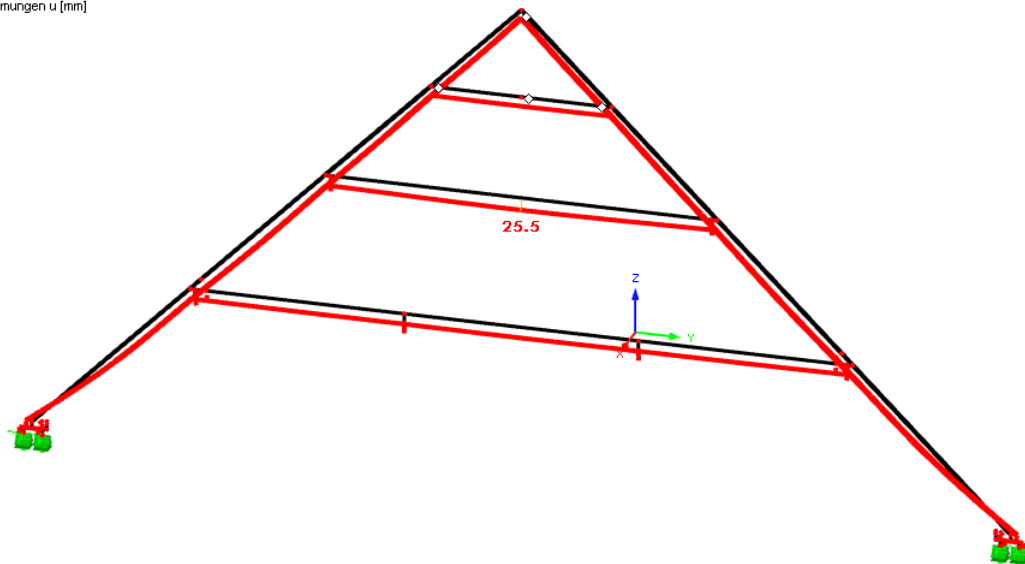


Abb. D.11: Verformung am Vollgespärre des 3D – Modells

Beispielhafte Ermittlung der Bemessungstragfähigkeit eines Bundtram – Sparrenanschlusses mit schrägem Zapfen

Im Folgenden wird beispielhaft die Ermittlung der Bemessungstragfähigkeit eines Bundtram – Sparrenanschlusses mit Zapfen in einem Vollgespärre angeführt. Da sich der Sparren des Vollgespärres ab einer bestimmten Verformung an der Stuhlsäule abstützt, kommt es hier zu geringeren Querkraften im Fußpunktbereich des Sparren als in den Leergespärren. Dieser Unterschied wird im weiteren Verlauf des Kapitels ebenfalls aufgezeigt. Abb. D.16 zeigt den gewählten Anschluss, seine Geometrien und die erforderlichen Nachweise (rot) auf.

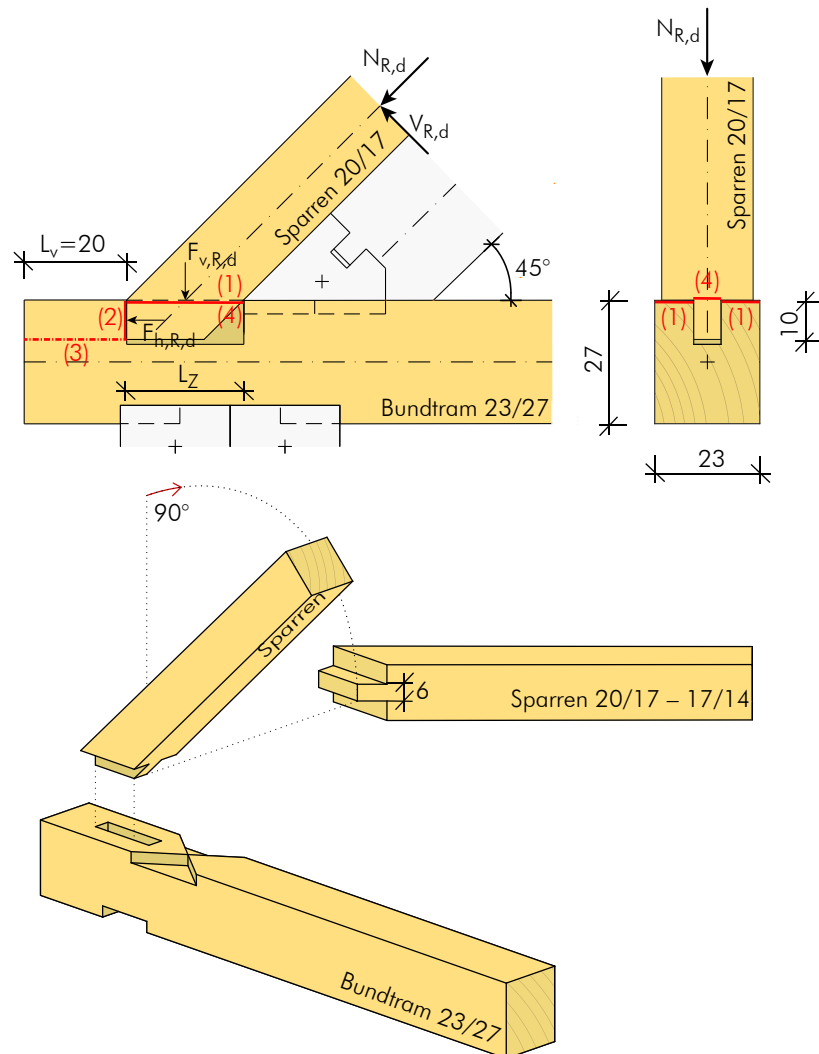


Abb. D.12: Darstellung des Sparren – Bundtramanschlusses mittels schrägen Zapfen (Maße in cm)

Dazu wurden folgende Annahmen getroffen:

- lokal kann eine Festigkeitsklasse von C30 angenommen werden
- Reibungskräfte zwischen den Kontaktflächen werden mit einem Wert von $\mu = 0,35$ berücksichtigt (vgl. MEISEL U. SCHICKHOFER (2011))
- Nutzungsklasse (NKL) = 2
- maßgebende Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED) = kurz
- daraus ergibt sich ein k_{mod} – Wert von 0,9

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass ein weiteres Versagenskriterium dieser Verbindung das Rollschubversagen an der Zapfenwurzel sein kann. Der Nachweis hierfür kann nach KOCH (2011) geführt werden und wird hier nicht weiter ausgeführt.

Bemessung des Bundtrarm – Sparrenanschlusses mit Zapfen des Vollgespärres

Mit Hilfe des 3D – Modells wurden folgende Kräfte im Vollgespärre ermittelt: $N_{Ed,max} = 92,6$ kN und $V_{Ed,max} = 0,8$ kN. Diese werden in weiterer Folge zur Bemessung herangezogen. Daraus ergeben sich die Kräfte $F_{v,Ed,max} = 66,1$ kN und $F_{h,Ed,max} = 64,9$ kN.

Materialkenngrößen zur Bemessung:

$$f_{m,d} = 20,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \qquad f_{c,0,d} = 15,92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d} = 1,87 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \qquad f_{c,90,d} = 1,87 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

(1) $F_{v,Rd}$, Querdruck:

$$F_{v,Rd, \text{Querdruck}} = A_{ef} \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$$A_{ef} = (b_s - b_z) \cdot \left(30 + \frac{h_s}{\cos \alpha} + 30\right) = (200 - 60) \cdot \left(30 + \frac{170}{\cos 45} + 30\right) = 42058 \text{ mm}^2$$

lt. EN 1995-1-1:2009 – 6.1.5 darf die tatsächliche Kontaktlänge L_z auf jeder Seite um 30 mm erhöht werden.

$$F_{v,Rd, \text{Querdruck}} = 42058 \cdot 1,5 \cdot 1,87 \cdot 10^{-3} = 118,0 \text{ kN}$$

mit $k_{c,90} = 1,5$... lt. EN 1995-1-1:2009 – 6.1.5

(2) $F_{h,Rd}$, Kontaktdruck:

$$F_{h,Rd, \text{Kontaktdruck}} = A_{ef} \cdot f_{c,\alpha,d}$$

$$A_{ef} = b_z \cdot (h_z + 30) = 60 \cdot (100 + 30) = 7800 \text{ mm}^2 \text{ ... Erhöhung um 30 mm lt. EN 1995-1-1:2009 – 6.1.5}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{(f_{c,90,d} \cdot k_{c,90}) \cdot f_{c,0,d}}{f_{c,0,d} \cdot \sin^2 \alpha + (f_{c,90,d} \cdot k_{c,90}) \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{(1,87 \cdot 1,5) \cdot 15,92}{15,92 \cdot \sin^2 45 + (1,87 \cdot 1,5) \cdot \cos^2 45} = 4,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

... mit $\alpha = 45^\circ$ und $k_{c,90} = 1,5$... in Analogie zur EN 1995-1-1:2009 – 6.2.2

$$F_{h,Rd, \text{Kontaktdruck}} = 7800 \cdot 4,77 \cdot 10^{-3} = 37,2 \text{ kN}$$

(3) $F_{h,Rd}$, Schub Vorholz:

$$F_{h,Rd, \text{Schub Vorholz}} = k_s \cdot f_{v,d} \cdot A_V$$

$$A_V = 200 \cdot 230 = 46000 \text{ mm}^2 \text{ ... } l_{v,min} = 200 \text{ mm ... lt. EN 1995-1-1:2009}$$

$$F_{h,Rd, \text{Schub Vorholz}} = 1,77 \cdot 1,87 \cdot 46000 \cdot 10^{-3} = 152,2 \text{ kN}$$

Lt. GÖRLACHER U. A. (1990 S. 72)) können Schubspannungen selbst bei Querschnittsschwächungen durch Risse in der beanspruchten Ebene von bis zu 45 % zuverlässig aufgenommen werden. Daraus folgt, dass bei nachweislich nicht vorhandenen Rissen die zulässige Schubspannung mit einem Faktor von $k_s = 1,77$ erhöht werden kann. Bei hoch beanspruchten Vorholzscherflächen wird empfohlen, die Rissefreiheit vor Ort zu prüfen.

(4) $F_{h,Rd}$, Schub Zapfen:

$$F_{h,Rd, Schub Zapfen} = k_s \cdot f_{v,d} \cdot b_{ef} \cdot L_z \dots k_s = 1,77 \text{ (vgl. GÖRLACHER U. A. (1990 S. 72))}.$$

$$L_z = \frac{h_s}{\cos \alpha} = \frac{170}{\cos 45} = 240 \text{ mm}$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b_z = 1,0 \cdot 60 = 60 \text{ mm} \dots k_{cr} = 1,0$$

Da man aus Erfahrung davon ausgehen kann, dass der Zapfen selbst keine Risse aufweist, wird der Rissfaktor lt. EN 1995-1-1:2009 mit $k_{cr} = 1,0$ angenommen (vgl. GÖRLACHER U. A. (1990); siehe Anschauungsobjekt „liegender Stuhl“ im Gang des Institutes für Holzbau und Holztechnologie Graz).

$$F_{h,Rd, Schub Zapfen} = 1,77 \cdot 1,87 \cdot 60 \cdot 240 \cdot 10^{-3} = 47,7 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Verbindung in vertikaler Richtung:

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd, Querdruck} = 118,0 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Verbindung in horizontaler Richtung:

$$F_{h,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{h,Rd, Kontaktdruck} \\ F_{h,Rd, Schub Vorholz} \\ F_{h,Rd, Schub Zapfen} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 37,2 \text{ kN} \\ 152,2 \text{ kN} \\ 47,7 \text{ kN} \end{array} \right\} = 37,2 \text{ kN}$$

$$F_{h,Rd, Reibung} = F_{v,Ed, max} \cdot \mu = 66,1 \cdot 0,35 = 23,1 \text{ kN}$$

$$F_{h,Rd, ges} = F_{h,Rd} + F_{h,Rd, Reibung} = 37,2 + 23,1 = 60,3 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

daraus folgt:

$$66,1 \text{ kN} \leq 118,0 \text{ kN} \dots \text{vertikaler Ausnutzungsgrad der Verbindung} = 56 \%$$

$$F_{h,Ed} \leq F_{h,Rd}$$

daraus folgt:

$$64,9 \text{ kN} \leq 60,3 \text{ kN} \dots \text{horizontaler Ausnutzungsgrad der Verbindung} = 108 \%$$

Bei Erreichen der Bemessungslast wird der maximal aufnehmbare Kontaktdruck an der Zapfenstirn um etwa 8 % überstiegen. Der Nachweis ist nicht erfüllt und dies bedeutet, dass die Verbindung das normgemäß geforderte Sicherheitsniveau nicht zur Gänze erfüllt. Aufgrund des redundanten Verhaltens des Dachtragwerkes wird jedoch davon ausgegangen, dass sich einerseits eine Überlastung in dieser Größenordnung nicht einstellen wird und andererseits die Überschreitung nicht zu einem Versagen der Verbindung führt, sondern zu einer erhöhten Verformung des Dachtragwerkes. Weiters weisen die Leergespärre „Reserven“ auf und können dadurch noch zusätzliche Lasten aufnehmen (vgl. folgenden Abschnitt).

Bemessung des Bundtram – Sparrenanschlusses mit Zapfen des Leergespärres

Mit Hilfe des 3D – Modells wurden folgende Kräfte im Leergespärre ermittelt: $N_{Ed,max} = 49,7$ kN und $V_{Ed,max} = 4,5$ kN. Diese werden in weiterer Folge zur Bemessung herangezogen. Daraus ergeben sich die Kräfte $F_{v,Ed,max} = 38,3$ kN und $F_{h,Ed,max} = 32,0$ kN.

Materialkenngrößen zur Bemessung:

$$f_{m,d} = 20,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \qquad f_{c,0,d} = 15,92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$
$$f_{v,d} = 1,87 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \qquad f_{c,90,d} = 1,87 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

(1) $F_{v,Rd}$, Querdruck:

$$F_{v,Rd, \text{Querdruck}} = A_{ef} \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$$A_{ef} = (b_s - b_z) \cdot \left(30 + \frac{h_s}{\cos \alpha} + 30\right) = (200 - 60) \cdot \left(30 + \frac{170}{\cos 45} + 30\right) = 42058 \text{ mm}^2$$

lt. EN 1995-1-1:2009 – 6.1.5 darf die tatsächliche Kontaktlänge L_z auf jeder Seite um 30 mm erhöht werden.

$$F_{v,Rd, \text{Querdruck}} = 42058 \cdot 1,5 \cdot 1,87 \cdot 10^{-3} = 118,0 \text{ kN}$$

mit $k_{c,90} = 1,5$... lt. EN 1995-1-1:2009 – 6.1.5

(2) $F_{h,Rd}$, Kontaktdruck:

$$F_{h,Rd, \text{Kontaktdruck}} = A_{ef} \cdot f_{c,\alpha,d}$$

$$A_{ef} = b_z \cdot (h_z + 30) = 60 \cdot (100 + 30) = 7800 \text{ mm}^2 \text{ ... Erhöhung um 30 mm lt. EN 1995-1-1:2009 – 6.1.5}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{(f_{c,90,d} \cdot k_{c,90}) \cdot f_{c,0,d}}{f_{c,0,d} \cdot \sin^2 \alpha + (f_{c,90,d} \cdot k_{c,90}) \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{(1,87 \cdot 1,5) \cdot 15,92}{15,92 \cdot \sin^2 45 + (1,87 \cdot 1,5) \cdot \cos^2 45} = 4,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

... mit $\alpha = 45^\circ$ und $k_{c,90} = 1,5$... in Analogie zur EN 1995-1-1:2009 – 6.2.2

$$F_{h,Rd, \text{Kontaktdruck}} = 7800 \cdot 4,77 \cdot 10^{-3} = 37,2 \text{ kN}$$

(3) $F_{h,Rd}$, Schub Vorholz:

$$F_{h,Rd, \text{Schub Vorholz}} = k_s \cdot f_{v,d} \cdot A_V$$

$$A_V = 200 \cdot 230 = 46000 \text{ mm}^2 \text{ ... } l_{v,min} = 200 \text{ mm ... lt. EN 1995-1-1:2009}$$

$$F_{h,Rd, \text{Schub Vorholz}} = 1,77 \cdot 1,87 \cdot 46000 \cdot 10^{-3} = 152,2 \text{ kN}$$

Lt. GÖRLACHER U. A. (1990 S. 72)) können Schubspannungen selbst bei Querschnittsschwächungen durch Risse in der beanspruchten Ebene von bis zu 45 % zuverlässig aufgenommen werden. Daraus folgt, dass bei nachweislich nicht vorhandenen Rissen die zulässige Schubspannung mit einem Faktor von $k_s = 1,77$ erhöht werden kann.

(4) $F_{h,Rd}$, Schub Zapfen:

$$F_{h,Rd, Schub Zapfen} = k_s \cdot f_{v,d} \cdot b_{ef} \cdot L_z \dots k_s = 1,77 \text{ (vgl. GÖRLACHER U. A. (1990 S. 72))}$$

$$L_z = \frac{h_s}{\cos \alpha} = \frac{170}{\cos 45} = 240 \text{ mm}$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b_z = 1,0 \cdot 60 = 60 \text{ mm} \dots k_{cr} = 1,0$$

Da man aus Erfahrung davon ausgehen kann, dass der Zapfen selbst keine Risse aufweist, wird der Rissfaktor lt. mit $k_{cr} = 1,0$ angenommen (vgl. GÖRLACHER U. A. (1990))

$$F_{h,Rd, Schub Zapfen} = 1,77 \cdot 1,87 \cdot 60 \cdot 240 \cdot 10^{-3} = 47,7 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Verbindung in vertikaler Richtung:

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd, Querdruck} = 118,0 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Verbindung in horizontaler Richtung:

$$F_{h,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{h,Rd, Kontaktdruck} \\ F_{h,Rd, Schub Vorholz} \\ F_{h,Rd, Schub Zapfen} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 37,2 \text{ kN} \\ 152,2 \text{ kN} \\ 47,7 \text{ kN} \end{array} \right\} = 37,2 \text{ kN}$$

$$F_{h,Rd, Reibung} = F_{v,Ed, max} \cdot \mu = 38,3 \cdot 0,35 = 13,4 \text{ kN}$$

$$F_{h,Rd, ges} = F_{h,Rd} + F_{h,Rd, Reibung} = 37,2 + 13,4 = 50,6 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

daraus folgt:

$$38,3 \text{ kN} \leq 118,0 \text{ kN} \dots \text{ vertikaler Ausnutzungsgrad der Verbindung} = 32 \%$$

$$F_{h,Ed} \leq F_{h,Rd}$$

daraus folgt:

$$32,0 \text{ kN} \leq 50,6 \text{ kN} \dots \text{ horizontaler Ausnutzungsgrad der Verbindung} = 63 \%$$

Die Sparren der Leergespärre werden bei Erreichen der Bemessungslast mit maximal 63 % der aufnehmbaren Maximallast beansprucht. Im Vergleich zu den Vollgespärren kann man hier sehr gut den Unterschied der horizontalen Ausnutzung erkennen, welche auf die größere Querkraft im Sparren der Leergespärre zurückzuführen ist. Diese wiederum fällt im Vollgespärre deshalb geringer aus, weil sich der Sparren im Vollgespärre bereits nach geringen Verformungen auf der Stuhlsäule abstützen kann und die Querkräfte somit von dieser teilweise übernommen werden. Je nach Größe dieser Querkraft wird folglich die vertikale Einwirkung auf den Zapfen mehr oder weniger verändert.

Beispielhafte Ermittlung der Bemessungstragfähigkeit einer Sparrenfußinstandsetzung mit Zugstange und Eisenwinkel als Frühwarnsystem (Kapitel 5 – Abb. 5.16)

Im Folgenden wird die Bemessung des Winkels beispielhaft aufgezeigt. Ziel ist es, dass der Winkel eine übermäßige Horizontalkraft durch Verformung anzeigen und somit vor Schäden frühzeitig warnen soll. Dazu wird das plastische Moment des Winkels an der ungünstigsten Stelle, in Bezug auf die Mindeststreckgrenze des verwendeten Baustahls, der einwirkenden Zugkraft gegenübergestellt und somit die benötigte Flanschdicke (t_f) berechnet. Bei der zuvor durchgeführten Schnittkraftermittlung wurde eine Horizontalkraft (F_{Zug}) im Sparrenfuß von etwa 65,0 kN ermittelt. Auf diese Kraft wird im Folgenden der Winkel bemessen.

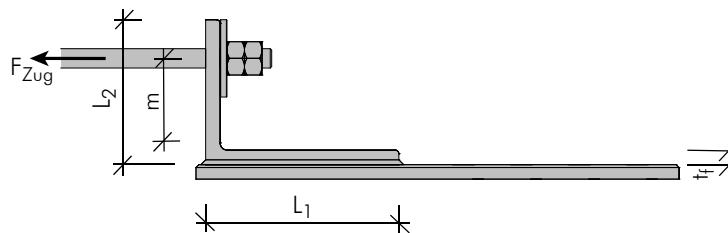


Abb. D.13: Darstellung der Abstände und wirkenden Kräfte am Winkel zur Bemessung

Als Winkel wird ein ungleichschenkeliger Winkelstahl (vgl. Abb. D.17) mit den Abmessungen ($L_1/L_2/t_f$) 200 x 150 x t_f angenommen. Entscheidend für das Bemessungsmoment ist der Abstand m zwischen der Zugstangenachse und der am weitesten entfernten, ungünstigsten Flanschdicke t_f .

Material:	S 275
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_{M0} = 1,10$
Abstand:	$m = 80 \text{ mm}$
Winkelbreite:	$b = 150 \text{ mm}$

Die Bemessung des Winkels erfolgt nach ON EN 1993-1-8:2012. Da die Zugstange so auszulegen ist, dass diese in keinem Fall versagt und der Winkel die Mindeststreckgrenze erreichen soll, wird nur das Fließen des Flansches maßgebend. Das Versagen der Zugstange sowie der Schweißnähte bzw. das Schraubenversagen werden in weiterer Folge nicht untersucht. Weiters ist die Bohrung für die Zugstange im Durchmesser ausreichend groß auszuführen, um Biegemomente im Bereich des Zugstangenkopfes zu vermeiden.

Das plastische Moment des Winkels berechnet sich nach EN 1993-1-8:2012 zu:

$$M_{Pl, Rd} = \frac{W_{Pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

mit:

$$W_{Pl} = 2 \cdot S_y = \frac{h^2 \cdot b}{4} \dots \text{gilt nur für Rechteckquerschnitte nach Richard Edler von Mises}$$

$$S_y = z \cdot A$$

... für den vorliegenden Fall ist das statische Moment S_y gleich dem statischen Moment des durch die Symmetrieachse halbierten Querschnittes.

Die vorliegende Zugspannung an der ungünstigsten Stelle aufgrund der horizontalen Kraft F_{Zug} ermittelt sich wie folgt:

$$\sigma_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{Pl}}$$

Da der Winkel seine Mindeststreckgrenze mit der Einwirkung F_{Zug} erreichen soll gilt:

$$M_{Pl,Rd} = M_{Ed} = F_{Zug} \cdot m$$

Daus folgt:

$$M_{Pl,Rd} = M_{Ed} = \frac{t_f^2 \cdot b \cdot f_y}{4 \cdot \gamma_{M0}}$$

Zur Berechnung der Flanschdicke des Winkels folgt daraus:

$$t_f = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{Zug} \cdot m \cdot \gamma_{M0}}{b \cdot f_y}}$$

Für den vorliegenden Fall berechnet sich die Flanschdicke t_f somit zu:

$$t_f = \sqrt{\frac{4 \cdot 65,0 \cdot 10^3 \cdot 80 \cdot 1,10}{150 \cdot 275}} = 23,6 \text{ mm}$$

$$t_{f,gewählt} = 24 \text{ mm}$$

daraus folgt weiter:

$$b_{Winkel} = \frac{4 \cdot F_{Zug} \cdot m \cdot \gamma_{M0}}{t_f^2 \cdot f_y} = \frac{4 \cdot 65,0 \cdot 10^3 \cdot 80 \cdot 1,10}{24^2 \cdot 275} = 144 \text{ mm}$$

Nachweis der Tragfähigkeit: $\sigma_{Ed} \leq \sigma_{Rd}$

mit:

$$\sigma_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{Pl}}$$

$$M_{Ed} = F_{Zug} \cdot m = 65,0 \cdot 10^3 \cdot 80 = 5,2 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$W_{Pl} = \frac{h^2 \cdot b}{4} = \frac{24^2 \cdot 144}{4} = 20736 \text{ mm}^3$$

daraus folgt:

$$\sigma_{Ed} = \frac{5,2 \cdot 10^6}{20736} = 250,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \dots \text{ und weiter: } \frac{\sigma_{Ed}}{f_y} = \frac{250,8}{275,0} = 0,91 \leq 1,0 \dots \text{ Nachweis erfüllt!}$$

Vergleichsspannungsnachweis:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2} \leq \sigma_{Rd}$$

mit:

$$\tau_{Ed} = \frac{F_{Zug}}{A_{Flansch}} = \frac{65,0 \cdot 10^3}{(24 \cdot 144)} = 18,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{daraus folgt: } \sigma_v = \sqrt{250,8^2 + 3 \cdot 18,8^2} = 253,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \sigma_{Rd} \dots \text{ Nachweis erfüllt!}$$

Der berechnete Winkel hat somit die Abmessungen ($L_1/L_2/B/t_f$) 200 x 150 x 144 x 24 [mm]. In weiterer Folge sind die Auflagerpressung des Sparrenfußes und des Stahlwinkels, die Zugstange sowie die Schweißnaht und die benötigten Schrauben zu bemessen. Es wird empfohlen, bei einer reinen Beanspruchung auf Abscheren, Sechskant-Holzschrauben (Schlüsselschraube) nach DIN 571 mit einem Gewinde nach ON M 1530 zu verwenden.

Anhang E

Zu Beginn dieser Arbeit wurden acht Bau- und Zimmermeister aufgesucht, welche im Bereich der historischen Baukonstruktionen tätig sind und daher bereits Erfahrungen mit historischen Dachtragwerken sammeln konnten. Dazu wurde ein Fragenkatalog ausgearbeitet, welcher im Folgenden angeführt wird und mit den anonymisierten Antworten der Bau- und Zimmermeister ergänzt wurde. Weiter wird auch die Häufigkeit der gewählten Antworten vermerkt. Zu den Gesprächen wurden als Diskussionsgrundlage, Instandsetzungsdetails mitgeführt, welche die letzten Jahre am Institut für Holzbau und Holztechnologie der Technischen Universität Graz ausgearbeitet wurden. Ziel war es, mit den Bau- und Zimmermeistern Instandsetzungsdetails zu entwickeln, welche in weiterer Folge in der Praxis zur Anwendung kommen sollen.

Typische Schäden an historischen Dachtragwerken

Im Folgenden werden fünf Verbindungen angeführt, welche bei historischen Dachtragwerken an typischen Schadstellen vorkommen und in Folge zur Diskussion anregen sollen.

- (1) Zapfen (Stuhlsäulen- und Sparrenfußpunkte - Fersen-, Stirn-, einfacher Versatzzapfen)
- (2) Versatz (Stuhlsäulen- und Sparrenfußpunkte, ab 1880 häufig einfacher Versatz)



Abb. E.1: Links: durch Pilz zerstörter Fußpunkt (Graz, Sackstrasse 16); Rechts: Fersenversatzzapfen am Firstpunkt (Graz, Färbergasse 11)



Abb. E.2: Links: Schaden durch Pilzbefall (Graz, Färbergasse 11); Rechts: Vernagelung Fußpunkt (Graz, Sackstrasse 16)

(3) Klauen (Sparren - Pfette)



Abb. E.3: Klaue bei Sparren - Mauerbank (Graz, Färbergasse 11); Rechts: Gaißfuß bei Sparren - Mauerbank (Graz, Färbergasse 11)

(4) Weißschwanz, Hakenblatt (Sparren - Kehlbalcken)

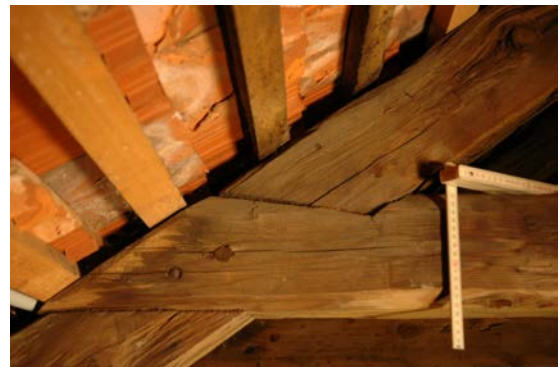


Abb. E.4: Links: Weißschwanz bei Kehlbalken - Sparren (Graz, Hofgasse 10); Rechts: Weißschwanz bei Kehlbalken - Sparren (Graz, Färbergasse 11)

(5) Überblattung, Scherzapfen im Firstbereich



Abb. E.5: Links: Scherzapfen (Graz, Eggenberg Allee 90); Rechts: Scherzapfen (Feldbach, Schloss Hainfeld)

(6) Kämme - Kreuzkamm

(7) Auflager von Dippelbaum- bzw. Holzbalkendecken



Abb. E.6: Links: zerstörtes Dippelbaumaufleger (Graz, Sackstrasse 16); Rechts: luftumspültes Bundtramaufleger (Graz, Marburgerkai 49)

Anhaltspunkte zu Fragen über die einzelnen Teilgebiete und deren Antworten

(1) Wie kommen Sie zu Ihren Sanierungsaufträgen im historischen Holzbau?

(3x) Kunde nimmt aufgrund aufgetretener Schäden mit uns speziell deswegen Kontakt auf.

(6x) Meist werden sanierungsbedürftige Stellen bei Zu- oder Umbauten entdeckt.

(1x) Bei Routineüberprüfungen.

(5x) Sonstiges / Anmerkung:

- Das Verhältnis zwischen Kontaktaufnahme des Kunden aufgrund aufgetretener Schäden und Entdeckung der Schadstellen bei Zu- oder Umbauten beträgt etwa 50% – 50%.
- Routineüberprüfungen erfolgen meist nur durch die zuständige Hausverwaltung.
- Zumeist werden Schäden nach einem Winter mit hoher Schneelast gemeldet. Hier treten Schäden typischerweise in Fußpunktbereichen und bei Kehlbalken – Sparrenanschlüssen auf.
- Sanierungsaufträge werden häufig über Ausschreibungen bzw. private Angebotsanforderungen generiert. Diese erfolgen meist aufgrund der Entdeckung von kaputten Schindeln bzw. aufgrund eines anstehenden Umbaus (Nutzungsänderung).
- Wenn Dachdecker im Zuge einer Sanierung ein Kaltdach verbauen, kommt es aufgrund unfachgemäßer Ausführungen häufig zu Folgeschäden am historischen Dachtragwerk.

(2) Wieviele historische Gebäude konnten Sie bereits erfolgreich sanieren?

- (2x) < 10
(5x) 10 - 50
(0x) 50 - 100
(1x) > 100
 Anmerkung:

- Zu jeder größeren Sanierung wird ein Spezialist zur statischen Berechnung hinzugezogen.

(3) Wie gehen Sie im ersten Schritt an die Schadensermittlung heran?

- (4x) Punktuelle, lokale Aufnahme des betroffenen Knotenpunktes.
(6x) Der gesamte Dachstuhl wird einer visuellen Begutachtung unterzogen.
(2x) Gesamtes Dachtragwerk wird begutachtet und Zusammenhänge zwischen eventuell vorhandenen Problemstellen erörtert.
(3x) Sonstiges / Anmerkung:

- Bei lokalen Aufnahmen eines Fußpunktbereiches wird der Bodenaufbau häufig geöffnet.
- Schadensermittlung wird meist bereits bei der Erstbegehung durchgeführt und mit einer Schadensbildungssammlung und falls nötig einem kurzen Text dazu ergänzt.
- Im Rahmen der Voruntersuchungen werden kritische und verdächtige Punkte genau in Augenschein genommen (Auflager freilegen, Wände und Decken öffnen, ...).

(4) Wie werden die Schäden und Schadensgrenzen am Bauteil markiert?

- (0x) Zettel.
(7x) Farbmakierungen mittels ...
(1x) Gar nicht.
(3x) Sonstiges / Anmerkung:

- Schäden werden mittels Farbe in Form von Zahlen markiert. Weiter wird auf Schäden und/oder bauphysikalische Mängel geachtet (z. B. Schwämme, Pilze). Es wird stets eine Dokumentation in Textform sowie Fotos des zu sanierenden und der angrenzenden Bauteilen erstellt.
- Bei historischen Bauten wird generell eine Bestandsdokumentation erstellt.
- Planungen werden zumeist an Architekten vergeben und dieser erstellt Pläne und eine Statik.

(5) Werden die Schäden in Plänen dargestellt und/oder vermerkt (Schadenskartierung)? Können wir solche Unterlagen zur weiteren Verwendung erhalten?

(5x) Ja.

(3x) Nein.

(3x) Sonstiges / Anmerkung:

- Bei jedem Auftrag wird individuell überlegt, einen oder mehrere Spezialisten hinzuzuziehen. Bei öffentlichen Bauten wird häufig ein statisches und ein holztechnisches Gutachten erstellt.
- Die Schadenskartierung erfolgt meist mit Skizzen, Plänen und Fotos.
- Häufig wird eine vollständige Bestandsdokumentation erstellt.

(6) Wie ermitteln Sie die verschiedenen Schadensarten, welche Hilfsmittel benutzen Sie dazu?

- Im ersten Schritt wird das Dach von außen betrachtet (z. B. Traufe des Dachtragwerkes). Danach folgt eine visuelle Prüfung auf Schadstellen und weiter werden die üblichen Kontrollen mittels den bekannten Methoden angewandt (Bohrkernentnahme, mit dem Hammer abklopfen, mit Schraubenzieher, Stemmeisen und Taschenmesser auf Holzerstörungen prüfen).
- Werden Schwämme vorgefunden, wird eine Probe entnommen und diese wird an das Hygieneinstitut in Graz versandt. Nach der Auswertung der Probe werden weitere Maßnahmen überlegt.
- Belastungsprobe mittels Paletten und Zementsäcken wird auch hin und wieder durchgeführt.
- Nach Freilegen der betroffenen Schadstellen mittels Krampen, Schaufel, Motorsäge, Bohrhammer und diversem Kleinwerkzeug ist das Schadensausmaß meist bereits frei ersichtlich.

(7) Wie bewerten / analysieren Sie diese Schäden? (Art, Auswirkung, Umfang, Ursachen und Aufwand der Sanierung?)

- Aus statischer Sicht werden die Schäden nach ihrer Wichtigkeit, Hauptkonstruktion, Sekundärkonstruktion oder untergeordnete Konstruktion eingeteilt und bewertet.
- Die Sanierung wird weitestgehend mit Spezialisten normgerecht analysiert und bewertet. Weiter werden die Nebengewerke beobachtet und der Aufwand in Tagen abgeschätzt.
- Schäden werden generell aus Erfahrung bewertet. Höchste Anforderung ist die Standsicherheit, welche zu jeder Zeit gegeben sein muss.
- Es erfolgt eine Einstufung des Schadens am Holz nach den Kriterien: a) statisch bedenklich oder unbedenklich; b) optisch tolerierbar oder nicht; c) arbeitstechnisch schwer oder leicht zu reparieren.
- Schäden werden generell aus Erfahrung visuell analysiert und bewertet.

(8) Wie ermitteln Sie die wirkenden Kräfte bzw. den Krafffluss in den einzelnen Knotenpunkten?

- (4x) Abschätzen.
(4x) Erfahrung.
(1x) Handrechnung über Lastezugsflächen.
(4x) Statische Modellierung.
(0x) Sonstiges.
(6x) Erläutern Sie bitte Ihre Angabe:

- Die wirkenden Kräfte werden über Lastezugsflächen mit $s_d = 4 - 5 \text{ to/m}^2$ berechnet.
- Kräfte werden mittels statischer Modellierung des beauftragten Statikers ermittelt.
- Kräfte werden zum überwiegenden Teil selbstständig mit Hilfe eines Stabwerkprogrammes als zweidimensionales Modell berechnet.
- Als gelernter Zimmermeister erkennt man bei der ersten Durchsicht der Dachkonstruktion aufgrund der Erfahrung sowie durch Abschätzen die Schwachpunkte. Danach ist es jedoch erforderlich, die gesamte Dachkonstruktion statisch nachzuweisen. Dabei wird die Erhöhung der Schnee- und Windlasten lt. Norm um mehr als 100% berücksichtigt.
- Soweit möglich, wird der gesamte Bauteil ausgewechselt und die vorhandenen historischen Verbindungen nachgebildet.

(9) Mit welchen Schäden wurden Sie bis dato konfrontiert und wie haben Sie diese saniert? Welche Lösungen haben Sie sich bedient? Wie war Ihre Herangehensweise? Haben Sie Unterlagen darüber und dürfen wir diese einsehen bzw. weiterverwenden? (Pläne, Bilder, sonstige Unterlagen)

- Häufig konfrontiert mit Dachinstandsetzungen, jedoch überwiegend mit der Sanierung von historischen Decken.
- Soweit dies möglich ist, ist die einfachste und günstigste Lösung der Sanierung von Schadstellen, die Verstärkung mit Holz- und/oder Stahlbauteilen (z. B. Vernagelung von Fußpunkten). Ein Austausch der Hölzer erfordert den drei- bis vierfachen Aufwand der Verstärkungen. Verstärkungen sind jedoch erst mit Aufkommen der Massenproduktion von Holzschrauben kostengünstig.
- Hauptsächlich wurden bis dato Mauerbänke, Stichträme, Ichsens und Kaminwechsel saniert.

(10) Welche Erfahrungen haben Sie mit den Auftraggebern gemacht? (bezüglich Kostenfaktor (Einhaltung der Kostenschätzung); Art des Vertrages (Regie-, Pauschale oder Einheitspreisvertrag); Umgang mit „Mehraufwenden“ (Nachträgen); Umfang der Arbeiten; Stellenwert der Sanierung; ...)

- Bei der Sanierung von historischen Dachtragwerken wird immer ein Regieangebot abgegeben. Bei schlechter Einsicht auf die Bauteile bei der Erstbegutachtung, wird das Angebot mit etwa dem 3 – 4 fachen Aufwand der Abschätzung der Erstbegutachtung berechnet.
- Meist Regie und wenn möglich wird das Holz pro Laufmeter (z. B. Bundtram oder Sparren) abgerechnet. Optional kann auch eine Pauschale angeboten werden, jedoch ist dies bei historischen Gebäuden durchaus sehr schwer. Eine Preiserhöhung von etwa 15% wäre jedoch durchaus ohne Verhandlung möglich.
- Kostenvoranschlag wird ab Aufmaß erstellt und die Abrechnung der Arbeitszeit erfolgt auf Regie (meist 80% des Kostenvoranschlages). Oft wird das Angebot mit einer maximalen Höhe für Material und Arbeitszeit gestellt und bevor dieser Betrag überschritten wird, wird der Auftraggeber gewarnt und es wird mittels Regieabrechnung (Bautagebuch/Regiezettel) weiter gearbeitet. Die Abschätzung des Aufwandes kommt aus der Erfahrung (z. B. drei Wochen, drei Leute oder eine Knotenpunktinstandsetzung dauert etwa fünf Stunden und zwei Knotenpunkte dauern somit zehn Stunden).
- Dazu kann folgendes festgehalten werden: a) wenn man den Bauherrn bezüglich der neuen Schnee- und Windnorm informiert, plant er keinen Umbau mehr (Dachstuhl hat bis jetzt gehalten – ich mache nichts) oder es ist ein Umbau geplant, dann muss der Dachstuhl ohnehin adaptiert und die Statik des Dachtragwerkes neu gerechnet werden.
- Hauptsächlich wird mittels Regiestunden und lfm-Preis abgerechnet, wobei bei Angebotslegung mit etwa 5 – 10 Prozent darüber angeboten wird.

(11) Inwieweit spielt für Sie der Denkmalschutz eine Rolle? Wie stehen Sie zu diesem Thema? (Stichwort: UNESCO Weltkulturerbe)

- Denkmalschutz ist gut, jedoch ist eine denkmalschutzgerechte Ausführung der Instandsetzungen zu- meist zu teuer und sehr aufwendig.
- Denkmalschutz ist wichtig!
- Denkmalschutz ist wichtig, jedoch sollte er für alle gelten und nachvollziehbar sein.
- Denkmalschutz ist nicht leistbar.

(12) Welche Informationen / Behelfe würden Sie in einem Sanierungsfall eines historischen Dachtragwerkes oder Deckentragwerkes benötigen? Was wäre für Sie hilfreich?

- Quellen und Querverweise sollten in diesem Instandsetzungshandbuch angeführt werden.
- Beispiele zu den einzelnen Sanierungsmöglichkeiten und deren Optimierung.
- Das Wichtigste und unumgänglichste bei historischen Bauten ist eine Abstimmung sämtlicher Maßnahmen mit dem Denkmalamt. Als Informationen bzw. Behelfe wären Literaturvorschläge durchaus wünschenswert.
- Es sollte die Anmerkung enthalten sein, dass eine Vergabe an Generalunternehmer oft ein Fehler ist, da diese zu wenig Erfahrung mitbringen und somit durch Pfusch am Bau weitere Schäden entstehen.
- Informationen bzw. ein Nachschlagewerk zu den, in historischen Dachtragwerken, verwendeten Holzverbindungen und deren Funktion wäre durchaus hilfreich.

(13) Was sollte ein Instandsetzungshandbuch Ihrer Meinung unbedingt beinhalten? Und was denken Sie wird absolut nicht benötigt?

- Auf jeden Fall sollte das Instandsetzungshandbuch so einfach wie möglich gestaltet werden, sodass ein Lehrling welcher sich bereits im 3. Lehrjahr befindet mit diesem auch arbeiten kann. Weiter sollten künftig Seminare angeboten werden, bei welchen diese historischen Konstruktionen und deren Instandsetzung erläutert wird. Dies könnte eventuell sogar in Verbindung mit der Landesinnung geschehen.
- In dem Buch sollten mindestens die rechtlichen Gegebenheiten, die korrekte Bestandsaufnahme, Beispiele von sanierten Objekten und die zuständigen Behörden angeführt sein.
- Unbedingt sollten Detaillösungen für den Traufenbereich und eventuell sensible Bereiche der bauphysikalischen Art angeführt werden.
- Die Instandsetzungsbeispiele sollten weitestgehend mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben ausgeführt werden können (Beispiel dazu).
- Es sollten nur Instandsetzungsdetails in das Buch aufgenommen werden, welche einerseits durchführbar sind und andererseits mit den typischerweise in einer Zimmerei vorhandenen Verbindungsmitteln ausgeführt werden (z. B. Holzschrauben, Sechskantschrauben, Flachrundschrauben, Bolzen).
- Es sollte die Anmerkung enthalten sein, dass die berechnenden Statiker oft Betonbauer sind und diese häufig die Tragreserven der Bauteile viel zu groß auslegen.

Baustoffkennwerte nach ENBR:

Schnittholz:

Festigkeitsklasse	Festigkeit [N/mm ²]						Steifigkeit [N/mm ²]						[kg/m ³]		
	Biegung		Zug parallel		Zug rechtwinklig		Druck parallel		Druck rechtwinklig		Schub und Torsion			Rollschub	
	$f_{m,k}$	$f_{t,k}$	$f_{t,0,05}$	$f_{t,0,05}$	$f_{t,0,05}$	$f_{t,0,05}$	$f_{t,0,05}$	$f_{t,0,05}$	$f_{t,0,05}$	$f_{t,0,05}$	$f_{t,0,05}$	$f_{t,0,05}$		$f_{t,0,05}$	$f_{t,0,05}$
C16	16	10	0,4	17,0	2,2	2,7	1,0	8000	$E_{0,05,mean}$	$E_{0,05,mean}$	$E_{0,05,mean}$	$E_{0,05,mean}$	$E_{0,05,mean}$	G_{mean}	r_k
C24	24	14	0,4	21,0	2,5	2,7	1,0	11000	370	370	690	350	500	3,10	
C30	30	18	0,4	23,0	2,7	2,7	1,0	12000	400	400	750	380	600	3,50	
C35	35	21	0,4	25,0	2,8	2,7	1,0	13000	430	430	810	400	700	3,80	
C40	40	24	0,4	26,0	2,9	2,7	1,0	14000	470	470	880	420	750	4,00	
D30	30	18	0,5	23,0	8,0	3,0	1,0	10000	640	640	600	500	600	5,00	
D40	40	24	0,5	26,0	8,8	3,8	1,0	11000	750	750	700	530	700	5,30	
D50	50	30	0,6	29,0	9,7	4,6	1,0	13000	930	930	880	570	880	5,70	

1) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und $G_{0,05}$ gelten die Rechenwerte (Nadelholz):

$E_{0,05} = 2/3 E_{0,05,mean}$; $E_{90,05} = 2/3 E_{90,05,mean}$; $G_{0,05} = 2/3 G_{0,05,mean}$

2) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und $G_{0,05}$ gelten die Rechenwerte (Laubholz):

$E_{0,05} = 5/6 E_{0,05,mean}$; $E_{90,05} = 5/6 E_{90,05,mean}$; $G_{0,05} = 5/6 G_{0,05,mean}$

3) Der zur Rollschubbeanspruchung gehörende Schubmodul darf mit $G_{R,mean} = 0,10 \times G_{mean}$ angenommen werden.

4) Die tabellierten Eigenschaften gelten für einen bei 20 °C und 65 % relative Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.

Zurück

Modifikationsbeiwerte k_{mod} 1)	Art der Einwirkung	KLEID	Kategorie 1)	Nutzungsclassen (NKL)		
				1	2	3
	Eigengewicht	ständig		0,60	0,60	0,50
	Vertikale Nutzlasten * aus Lagerflächen	lang	E	0,70	0,70	0,55
	Vertikale Nutzlasten * aus Wohnflächen, Büroflächen, Lade- und Verkehrsflächen, Stiegen	mittel	A, B, D, J	0,80	0,80	0,65
	Schnee- und Eislasten > 1000 m ü. NN					
	Schnee- und Eislasten < 1000 m ü. NN					
	Statische Windkräfte					
	Horizontale Nutzlasten * Veranstaltungsräume (Personensammlungen), Landflächen, Balkone, Dächer, Terrassen, Tribünen, Podien	kurz	C, F, H, K, T, Z	0,90	0,90	0,70
	Aufgewöhnliche Einwirkungen * Erdbeben * Horizontalstöße von Fahrzeugen (Anpralllasten) * Hubschrauberlandeplätzen auf Decken, Überflurschutz	sehr kurz		1,10	1,10	0,90

1) Die Kategorien entsprechen der Einteilung gemäß ON EN 1991-1-1 "Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau"

Teilsicherheitsbeiwerte γ_m :	Element	Teilsicherheitsbeiwert
	Holzprodukt	
	* Rundholz, Vollholz, Vollholz mit besonderen Eigenschaften, Balkenschichtholz	γ_m 1,30
	* Brettschichtholz, Brettspertholz, Furnierschichtholz, Furnierspertholz, Spanspertholz	γ_m 1,25

Literaturangaben:

[Görtscher u. a. 1990]

GÖRLACHER Rainer u. a.: Tauglichkeit und Verformungsverhalten von zugbeanspruchten Blattverbindungen in historischen Holzkonstruktionen. In: SFB 315 – Jahrbuch 1990, S. 273-291. Berlin: Verlag Ernst & Sohn.

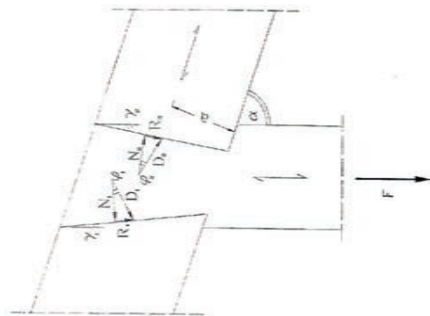
[Holz-Holz 2014]

SCHICKHOFER G.; MEISEL A.; WALLNER B.; SILLY G.; ORTNER J.: Forschungsbericht Holz-Holz-Verbindungen

Zurück

Berechnungen:

Die folgenden Berechnungen dienen lediglich als Hilfestellung zur Abschätzung der Tragfähigkeit der ausgewählten Verbindung und basieren auf den 5 % Fraktilwerten der Materialkennwerte. Sämtliche Exzentritäten der ausgewählten Verbindung werden bei den folgenden Berechnungen vernachlässigt. Die Tragfähigkeitsermittlung der Weifschwanzverbindung auf Zug erfolgt nach Görlacher u. a. 1990¹. Dieser empfiehlt weiter einen Reibungswinkel von 15° (vgl. Görlacher u. a. (1990 S. 77)).



$$\text{zul } F_1 = 0,06 \cdot \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \frac{1}{1-k} \quad k \leq 0,5$$

$$\text{zul } F_2 = 0,06 \cdot \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \frac{1}{k} \quad k > 0,5$$

mit:

$$k = \frac{\tan(\gamma_2 + \phi_2) - \frac{1}{\tan \alpha}}{\tan(\gamma_1 + \phi_1) + \tan(\gamma_2 + \phi_2)}$$

$$\gamma_1 = \arctan\left(\frac{2 \cdot a}{\sin(\alpha)} - \frac{l_v}{(\tan(90^\circ - \alpha) \cdot l_v)}\right)$$

$$\phi_1 = \phi_2 = 15^\circ \text{ [}^\circ\text{]}$$

(konservativer Ansatz für $\phi_2 = 25^\circ$)

Es bedeuten:

- C ... Verschiebungsmodul eines Blattes [kN/mm]
- zul F ... Zulässige Belastung eines Blattes [kN]
- a ... halbe Einbündelweite des Blattes rechtwinklig zur Faserrichtung des Hauptträgers [mm]
- α ... Anchlusswinkel zwischen Hauptträger und Nebenträger [°]
- k ... Geometriefaktor [-]
- γ_1, γ_2 ... Winkel zwischen der Längsachse des Nebenträgers und den Flanken des Blattes [°]
- ϕ_1, ϕ_2 ... Reibungswinkel zwischen Blatt und Blattsasse [°]

Daraus folgt:

$$k = -0,8792 \text{ [-]} \quad \text{zul } F = 3,8 \text{ [kN]} \quad \text{mit } \gamma_E = 1,40 \text{ folgt: } N_{Rk,Zug1} = 7,7 \text{ [kN]}$$

Weiter wird die Tragfähigkeit der Weifschwanzverbindung durch die Zugfestigkeit des Restquerschnittes bestimmt. $N_{Rk,Zug,2} = A_{ef} \cdot f_{t,0,k}$

$$N_{Rk,Zug} = \min(N_{Rk,Zug,1}; N_{Rk,Zug,2}) \quad \text{daraus folgt: } N_{Rk,Zug} = 7,7 \text{ [kN]}$$

Zurück

Die Tragfähigkeitsermittlung der Weißschwanzverbindung auf Druck erfolgt nach dem Bridge-Forschungsprojekt "HOLZ-HOLZ-Verbindungen":

$$N_{Rk, Druck} = k_1 * (a + b * \sigma_{\perp, S})^2 \quad \text{mit:} \quad k_1 = \frac{b_1 * h_1 + t_B * (t_V - h_1)}{16400}$$

Es bedeuten:

- N_{Rk} ...charakteristische aufnehmbare Druckkraft der Verbindung [kN]
- a, b ...empirisch ermittelte Parameter für den Zusammenhang zwischen Neigungswinkel und Bruchlast [-]
- k_1 ...Geometriefaktor [-]
- b_1 ...Querschnittsbreite Stabrichtung Blatt [mm]
- h_1 ...Querschnittshöhe Stabrichtung Blatt [mm]
- t_B ...Blatttiefe [mm]
- t_V ...Kerbtiefe [mm]
- α ...Neigungswinkel zwischen den Stabachsen [°]

Daraus folgt:

$$k_1 = 1,732$$

$$a = 3,98$$

$$b = 2,08 * 10^{-2}$$

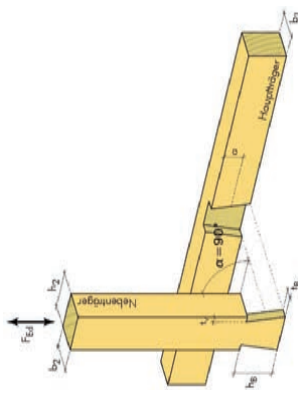
$$\text{Tragfähigkeit der Weißschwanzverbindung auf Druck:} \quad N_{Rk, Druck} = 80,2 \text{ [kN]}$$

Zurück



Schwalbenschwanzverbindung 90° Grad:

Eingabefelder



Materialieigenschaften:

Festigkeitsklasse:	C24	Baustoffkennwerte nach embc: hier klicken!	
k_{mod} :	0,9	Um Modifikationsbeiwerte anzuzeigen hier klicken!	
γ_m :	1,30	Um Teilsicherheitsbeiwerte anzuzeigen hier klicken!	
$f_{m,d}$:	16,62 [N/mm ²]	$f_{v,d}$:	1,87 [N/mm ²]
$f_{t,d}$:	9,69 [N/mm ²]	$f_{c,d}$:	0,69 [N/mm ²]
$E_{0,05}$:	0,28 [N/mm ²]	$E_{0,05}$:	7333,33 [N/mm ²]
$f_{c,90,d}$:	14,54 [N/mm ²]	$E_{90,05}$:	246,67 [N/mm ²]
$f_{t,90,d}$:	1,73 [N/mm ²]	$G_{0,05}$:	460,00 [N/mm ²]

Geometrie der Verbindung:	h_2 =	170 [mm]	h_2 =	140 [mm]	a =	88 [mm]
	b_1 =	200 [mm]	b_2 =	200 [mm]	α =	90 [°]
	t_v =	30 [mm]	t_b =	30 [mm]		
		ok				

Achtung! Weitere Angaben im Verlauf der Berechnung erforderlich!

Anmerkung: a = halbe Einbündeltiefe des Blattes, rechtwinklig zur Faserrichtung des Hauptträger gemessen.

ERGEBNISSE:

ZU DEN BERECHNUNGEN

Tragfähigkeit der Schwalbenschwanzverbindung:	
auf Zug:	$N_{Rel,Zug} = 14,3$ [kN]
auf Druck:	$N_{Rel,Druck} = 93,0$ [kN]

Alle Rechte vorbehalten! Für die Richtigkeit der Berechnungen und ihrer Ergebnisse wird nicht garantiert!

Baustoffkennwerte nach enBR:

Schnittholz:

Festigkeitsklasse	Festigkeit [N/mm ²]										Steifigkeit [N/mm ²]			[kg/m ³]
	Biegung	Zug parallel	Zug rechtwinklig	Druck parallel	Druck rechtwinklig	Schub und Torsion	Rollschub	E-Modul parallel	E-Modul rechtwinklig	Schubmodul	Robichte			
	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{p,k}$	$f_{p,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,k}$	$E_{0,05}$	$E_{90,05}$	G_{mean}	V_k			
C16	16	10	0,4	17,0	2,2	2,7	1,0	8000	270	500	310			
C24	24	14	0,4	21,0	2,5	2,7	1,0	11000	370	690	350			
C30	30	18	0,4	23,0	2,7	2,7	1,0	12000	400	750	380			
C35	35	21	0,4	25,0	2,8	2,7	1,0	13000	430	810	400			
C40	40	24	0,4	26,0	2,9	2,7	1,0	14000	470	880	420			
D30	30	18	0,5	23,0	8,0	3,0	1,0	10000	640	600	500			
D40	40	24	0,5	26,0	8,8	3,8	1,0	11000	750	700	530			
D50	50	30	0,6	29,0	9,7	4,6	1,0	13000	930	880	570			

1) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und G_{95} gelten die Rechenwerte (Nadelholz):

$$E_{0,05} = 2/3 E_{0,05}^{mean}; E_{90,05} = 2/3 E_{90,05}^{mean}; G_{95} = 2/3 G_{95}^{mean}$$

2) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und G_{95} gelten die Rechenwerte (Laubholz):

$$E_{0,05} = 5/6 E_{0,05}^{mean}; E_{90,05} = 5/6 E_{90,05}^{mean}; G_{95} = 5/6 G_{95}^{mean}$$

3) Der zur Rollschubbeanspruchung gehörende Schubmodul darf mit $G_{95,mean} = 0,10 \times G_{95,mean}$ angenommen werden.

4) Die tabellierten Eigenschaften gelten für einen bei 20 °C und 65 % relative Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.

Zurück

Modifikationsbeiwerte k_{mod} :	Art der Einwirkung	KLED	Kategorie ¹⁾	Nutzungsklasse (NKL)		
				1	2	3
	Eigengewicht	ständig		0,60	0,60	0,50
	Vertikale Nutzlasten					
	* aus Lagerflächen	lang	E	0,70	0,70	0,55
	Vertikale Nutzlasten					
	* aus Wohnflächen, Büroflächen, Lade- und Verkehrsflächen, Stiegen	mittel	A, B, D, J	0,80	0,80	0,65
	Schnee- und Eislasten > 1000 m ü. NN					
	Schnee- und Eislasten < 1000 m ü. NN					
	Statische Windkräfte					
	Horizontale Nutzlasten	kurz	C, F, H, K, T, Z	0,90	0,90	0,70
	* Veranstaltungsräume (Personensammlungen), Landeflächen, Balkone, Dächer, Terrassen, Tribünen, Podien					
	Außergewöhnliche Einwirkungen					
	* Erdbeben					
	* Horizontalkräfte von Fahrzeugen (Anpralllasten)					
	* Hubschraubentafeln auf Decken, Überrollschutz	sehr kurz		1,10	1,10	0,90

¹⁾ Die Kategorien entsprechen der Einteilung gemäß ON EN 1991-1-1 "Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau"

Teilsicherheitsbeiwerte γ_m :	Element	Teilsicherheitsbeiwert
	Holzprodukt	
	* Rundholz, Vollholz, Vollholz mit besonderen Eigenschaften, Balkenschichtholz	γ_m 1,30
	* Brettschichtholz, Brettspertholz, Furnierschichtholz, Furnierspertholz, Spanspertholz	γ_m 1,25

Literaturangaben:

[Görlacher u. a. 1990]

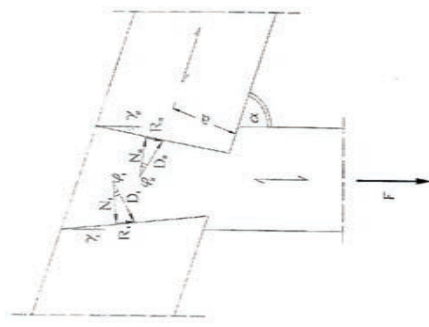
GÖRLACHER Rainer u. a.: Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von zugbeanspruchten Blattverbindungen in historischen Holzkonstruktionen. In: SFB 315 – Jahrbuch 1990, S. 273-291. Berlin: Verlag Ernst & Sohn.

ON EN 1995-1-1:2009

Zurück

Berechnungen:

Die folgenden Berechnungen dienen lediglich als Hilfestellung zur Abschätzung der Tragfähigkeit der ausgewählten Verbindung und basieren auf den 5% Fraktilwerten der Materialkennwerte. Sämtliche Exzentritäten der ausgewählten Verbindung werden bei den folgenden Berechnungen vernachlässigt. Die Tragfähigkeitsermittlung der Weißschwanzverbindung auf Zug erfolgt nach "Görlacher u. a. 1990". Dieser empfiehlt weiter einen Reibungswinkel von 15° (vgl. Görlacher u. a. (1990 S. 77)).



zul $F_1 = 0,06 \cdot \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \frac{1}{1-k}$	$k \leq 0,5$
zul $F_2 = 0,06 \cdot \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \frac{1}{k}$	$k > 0,5$

mit:

$$k = \frac{\tan(\gamma_2 + \varphi_2) - \frac{1}{\tan \alpha}}{\tan(\gamma_1 + \varphi_1) + \tan(\gamma_2 + \varphi_2)}$$

$$\gamma_i = \arctan\left(\frac{t_v}{2 \cdot a}\right)$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 15^\circ \text{ (konservativer Ansatz für } \varphi_i = 25^\circ \text{)}$$

Es bedeuten:

- C ...Verschiebungsmodal eines Blattes [kN/mm]
- zul F ...Zulässige Belastung eines Blattes [kN]
- a ...halbe Einbindetiefe des Blattes rechtwinklig zur Faserrichtung des Hauptträgers [mm]
- α ...Anschlusswinkel zwischen Hauptträger und Nebenträger [°]
- k ...Geometriefaktor [-]
- γ_1, γ_2 ...Winkel zwischen der Längsachse des Nebenträgers und den Flanken des Blattes [°]
- φ_1, φ_2 ...Reibungswinkel zwischen Blatt und Blattasse [°]

Daraus folgt:

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 10,008^\circ \quad k = 0,500 \quad \text{zul } F = 10,2 \text{ [kN]} \quad \text{mit } \gamma_i = 1,40 \text{ folgt: } N_{Rk,Zug,1} = 20,6 \text{ [kN]}$$

Weiter wird die Tragfähigkeit der Weißschwanzverbindung durch die Zugfestigkeit des Restquerschnittes bestimmt. $N_{Rk,Zug,2} = A_{ef} \cdot f_{t,0,k}$

$$N_{Rk,Zug,2} = 33,6 \text{ [kN]}$$

$N_{Rk,Zug} = \min(N_{Rk,Zug,1}; N_{Rk,Zug,2})$ daraus folgt:

Tragfähigkeit der Weißschwanzverbindung auf Zug: $N_{Rk,Zug} = 20,6 \text{ [kN]}$

Zurück

Die Tragfähigkeitsermittlung der Schwalbenschwanzverbindung auf Druck erfolgt nach EN 1995-1-1:2009 - Abschnitt 6.1.5.

$$F_{v,Rk,Querschnitt} = A_{ef} * k_{c,90} * f_{c,90,k}$$

It. EN 1995-1-1:2009 - 6.1.5 darf die tauschliche Kontaktfläche L_z auf jeder Seite um 30 mm erhöht werden

mit:

$$A_{ef} = (b_{min} - t_B) * (30 + b_2 + 30) + (t_B * v)$$

daraus folgt:

$$A_{ef} = 35800 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Der Beiwert $k_{c,90}$ wird aus der enBR:2007 - Tab. 6.1 und 6.2, in Anlehnung an die ÖNORM EN 1995-1-1, bestimmt:

	Auf der Ausföhrung	Schnittholz, Rundholz	Breitschnittholz, Balkenschnittholz
1	mit einseitigem Vornholz $a \geq 100 \text{ mm}$	1,3 (1,6)	1,5 (2,0)
2	mit beidseitigem Vornholz $a \geq 100 \text{ mm}$	1,5 (1,8)	1,8 (2,2)
3	keiner verpresste Platte	1,3	1,3

1) Bei Anwendung der Klammernwerte ist mit erhöhten Eindringtiefen zu rechnen.
2) Bei Anwendung der Klammernwerte ist mit erhöhten Eindringtiefen zu rechnen.

Tabelle 6.1 $k_{c,90}$ -Beiwerte

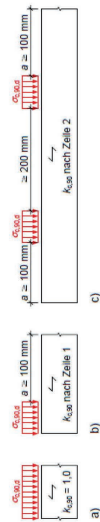


Bild 6.2 $k_{c,90}$ -Beiwerte gemäß Tabelle 6.1: a) einseitiges Vornholz, b) beidseitiges Vornholz

daraus folgt:

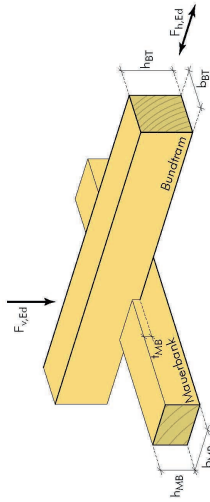
$$k_{c,90} = 1,3$$

Tragfähigkeit der Schwalbenschwanzverbindung auf Druck:
 $F_{v,Rk,Querschnitt} = 134,3 \text{ [kN]}$

Zurück

Eingabefelder

Halb-, Mittel- und Vollkamm:



Materialieigenschaften:

Festigkeitsklasse:	C30	Baustoffkennwerte nach en84: Hier Klicken!	
k_{mod} :	0,9	Um Modifikationsbeiwerte anzuzeigen hier Klicken!	
γ_m :	1,30	Um Teilsicherheitsbeiwerte anzuzeigen hier Klicken!	
$f_{m,d}$:	20,77 [N/mm ²]	$f_{t,d}$:	1,87 [N/mm ²]
$f_{b,d}$:	12,46 [N/mm ²]	$f_{p,d}$:	0,69 [N/mm ²]
$f_{c,90,d}$:	0,28 [N/mm ²]	$E_{0,05}$:	8000,00 [N/mm ²]
$f_{t,90,d}$:	15,92 [N/mm ²]	$E_{0,05}$:	266,67 [N/mm ²]
$f_{c,90,d}$:	1,87 [N/mm ²]	$E_{0,05,am}$:	400,00 [N/mm ²]
		$G_{0,05}$:	500,00 [N/mm ²]

Geometrie der Verbindung:	$h_{MB} =$ <input type="text" value="180"/> [mm]	$h_{BK} =$ <input type="text" value="270"/> [mm]	$h_{MB} =$ <input type="text" value="30"/> [mm]
	$b_{MB} =$ <input type="text" value="240"/> [mm]	$b_{BK} =$ <input type="text" value="230"/> [mm]	ok

Achtung! Weitere Angaben im Verlauf der Berechnung erforderlich!

ZU DEN BERECHNUNGEN

ERGEBNISSE:

Tragfähigkeiten des Halb-, Mittel- oder Vollkammes:	
Horizontale Tragfähigkeit:	$F_{R,d,h} =$ 24,4 [kN]
Vertikale Tragfähigkeit:	$F_{R,d,v} =$ 195,0 [kN]

Alle Rechte vorbehalten! Für die Richtigkeit der Berechnungen und ihrer Ergebnisse wird nicht garantiert!

Baustoffkennwerte nach enBR:2007:

Schmittholz:

Festigkeitsklasse	Festigkeit [N/mm ²]						Steifigkeit [N/mm ²]						[kg/m ³]
	Biegung	Zug parallel	Zug rechtwinklig	Druck parallel	Druck rechtwinklig	Schub und Torsion	Rollschub	E-Modul parallel	E-Modul rechtwinklig	Schubmodul	Rohdichte		
	$f_{0,05}$	$f_{0,05}$	$f_{0,05}$	$f_{0,05}$	$f_{0,05}$	$f_{0,05}$	$f_{0,05}$	$E_{0,05}$	$E_{0,05}$	$G_{0,05}$	E_k		
C16	16	10	0,4	17,0	2,2	2,7	1,0	8000	2700	500	310	Nadelholz ¹⁾	
C24	24	14	0,4	21,0	2,5	2,7	1,0	11000	370	690	350		
C30	30	18	0,4	23,0	2,7	2,7	1,0	12000	400	750	380		
C35	35	21	0,4	25,0	2,8	2,7	1,0	13000	430	810	400		
C40	40	24	0,4	26,0	2,9	2,7	1,0	14000	470	880	420		
D30	30	18	0,5	23,0	8,0	3,0	1,0	10000	640	600	500	Buche ²⁾ , Esche ²⁾ Eiche ³⁾	
D40	40	24	0,5	26,0	8,8	3,8	1,0	11000	750	700	530		
D50	50	30	0,6	29,0	9,7	4,6	1,0	13000	930	880	570		

¹⁾ Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und $G_{0,05}$ gelten die Rechenwerte (Nadelholz):

$E_{0,05} = 2/3 E_{0,05}$; $E_{90,05} = 2/3 E_{90,05}$; $G_{0,05} = 2/3 G_{0,05}$

²⁾ Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und $G_{0,05}$ gelten die Rechenwerte (Laubholz):

$E_{0,05} = 5/6 E_{0,05}$; $E_{90,05} = 5/6 E_{90,05}$; $G_{0,05} = 5/6 G_{0,05}$

³⁾ Der zur Rollschubbeanspruchung gehörende Schubmodul darf mit $G_{0,05} = 0,10 \times G_{0,05}$ angenommen werden.

⁴⁾ Die tabellierten Eigenschaften gelten für einen bei 20 °C und 65 % relative Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.

Zurück

Modifikationsbeiwerte k_{mod} :	Art der Einwirkung	KLED	Kategorie ¹⁾	Nutzungsklasse (NKL)		
				1	2	3
Eigengewicht		ständig		0,60	0,60	0,50
Vertikale Nutzlasten		lang	E	0,70	0,70	0,55
* aus Lagerflächen						
Vertikale Nutzlasten		mittel	A, B, D, J	0,80	0,80	0,65
* aus Wohnflächen, Büroflächen, Lade- und Verkehrsflächen, Stegen						
Schnee- und Eislasten > 1000 m ü. NN						
Schnee- und Eislasten < 1000 m ü. NN						
Statische Windkräfte			C, F, H, K, T, Z	0,90	0,90	0,70
Horizontale Nutzlasten		kurz				
* Veranstaltungsräume (Personensammlungen), Landeflächen, Balkone, Dächer, Terrassen, Tribünen, Podien						
Außergewöhnliche Einwirkungen		sehr kurz				
* Erdbeben						
* Horizontalstöße von Fahrzeugen (Anpralllasten)						
* Hubschrauberlandeflächen auf Decken, Überrollschutz						

¹⁾ Die Kategorien entsprechen der Einteilung gemäß ON EN 1991-1-1 "Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau"

Teilsicherheitsbeiwerte γ_m :	Element	Teilsicherheitsbeiwert
	Holzprodukt	
	* Rundholz, Vollholz, Vollholz mit besonderen Eigenschaften, Balkenschichtholz	γ_m 1,30
	* Brettschichtholz, Brettspertholz, Furnierschichtholz, Furnierspertholz, Spanspertholz	γ_m 1,25

Literaturangaben:

ÖNORM EN 1995-1-1:2009

[Holz-Holz 2014]

SCHICKHOFER G.; MEISEL A.; WALLNER B.; SILLY G.; ORTNER J.: Forschungsbericht Holz-Holz-Verbindungen

Zurück

Berechnungen:

Die folgenden Berechnungen dienen lediglich als Hilfestellung zur Abschätzung der Tragfähigkeit der ausgewählten Verbindung und basieren auf den 5 % Fraktilwerten der Materialkennwerte. Stimmliche Exzentritäten der ausgewählten Verbindung, sowie Reibung zwischen den Kontaktflächen werden bei den folgenden Berechnung vernachlässigt.

Die Tragfähigkeitsermittlung der Halb-, Mittel- oder Vollkämme erfolgt nach ÖNORM EN 1995-1-1:2009 - 6.1.5 - Querdruachweis:

$$\sigma_{c,90,k} = k_{c,90} \cdot f_{c,90,k} \quad \text{und} \quad \sigma_{c,90,k} = F_{c,90,k} / A_{cf} \quad \text{daraus folgt:} \quad F_{c,90,k} = A_{cf} \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,k}$$

Mittels $F_{c,90,k}$ kann nun die horizontale wie auch die vertikale Tragfähigkeit der Verbindung ermittelt werden. Dazu wird in weiterer Folge jeweils die wirksame Kontaktfläche benötigt:

- a) Wirksame Kontaktfläche in horizontaler Richtung:
(die Bemessung für $A_{cf,h}$ erfolgt nach Holz-Holz-2014)

$$A_{cf,h} = (30 + b_{gr} + 30) \cdot t_{MS} \quad \text{daraus folgt:} \quad A_{cf,h} = 8700 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Der Wert $k_{c,90}$ wird aus der ENBR:2007 - Tab. 6.1 und 6.2, in Anlehnung an die ÖNORM EN 1995-1-1, bestimmt:

daraus folgt: $k_{c,90} = 1,5 [-]$

Tragfähigkeit der Halb-, Mittel- oder Vollkammverbindung horizontal: $F_{c,90,k,h} = F_{Rk,h} = 35,2 \text{ [kN]}$

Zurück

b) Wirksame Kontaktfläche in vertikaler Richtung

$$A_{ef,v} = (I_{z1} + b_{\min} + I_{z2}) \cdot b_{\text{eff}}$$

It. EN 1995-1-1:2009 darf die tatsächliche Kontaktlänge L_z auf jeder Seite um 30 mm erhöht werden.

daraus folgt:

$$I_{z1} = 30 \text{ [mm]}$$

$$I_{z2} = 30 \text{ [mm]}$$

mit:

$$b_{\min} = \min(b_{\text{eff}}; b_{\text{eff}})$$

$$b_{\min} = 230 \text{ [mm]}$$

daraus folgt:

$$A_{ef,v} = 69600 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Der Wert k_{car} wird aus der enBR:2007 - Tab. 6.1 und 6.2, in Anlehnung an die ÖNORM EN 1995-1-1, bestimmt:

Art der Ausführung	Schmittholz, Rundholz	Brettschichtholz, Bal-kenschichtholz
1 mit einseitigem Vorholz $a \geq 100 \text{ mm}$	1,3 (1,6)	1,5 (2,0)
2 mit beidseitigem Vorholz $a \geq 100 \text{ mm}$	1,5 (1,8)	1,8 (2,2)
3 quer vorgespannte Platte	1,3	1,3

ANMERKUNG: Siehe auch für FSH, FSP, OSB. Bei Anwendung der Kennwerte ist mit erhöhten Einsparungen zu rechnen.

Tabelle 6.1 k_{car} -Beiwerte

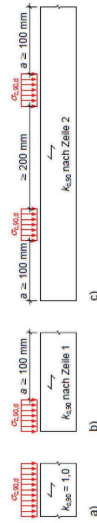


Bild 6.2 k_{car} -Beiwerte gemäß Tabelle 6.1: a) kein Vorholz, b) einseitiges Vorholz und c) beidseitiges Vorholz

daraus folgt:

$$k_{\text{car}} = 1,5 [-]$$

Tragfähigkeit der Halb-, Mittel- oder Vollkammerverbindung vertikal: $F_{c,00,v} = F_{Rk,v} = 281,9 \text{ [kN]}$

Zurück

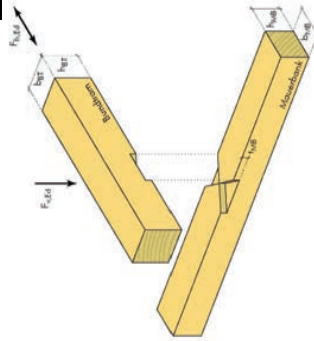


lignum
study research engineering test center

holz.bau
forschungs gmbh

Kreuzkamm:

Eingabefelder



Materialeigenschaften:

Festigkeitsklasse:	C30	Baustoffkennwerte nach ENB: Hier klicken!	
k_{mod} :	0,9	Um Modifikationsbeiwerte anzuzeigen hier klicken!	
γ_m :	1,30	Um Teilsicherheitsbeiwerte anzuzeigen hier klicken!	
$f_{m,d}$:	20,77 [N/mm ²]	$f_{t,d}$:	1,87 [N/mm ²]
$f_{b,d}$:	12,46 [N/mm ²]	$f_{c,d}$:	0,69 [N/mm ²]
$f_{0,0,d}$:	0,28 [N/mm ²]	$E_{0,05}$:	8000,00 [N/mm ²]
$f_{c,0,d}$:	15,92 [N/mm ²]	$E_{90,05}$:	266,67 [N/mm ²]
$f_{v,90,d}$:	1,87 [N/mm ²]	$E_{90,05}$:	400,00 [N/mm ²]
		$G_{0,05}$:	500,00 [N/mm ²]

Geometrie der Verbindung:	$h_{MB} =$ 180 [mm]	$h_{BT} =$ 270 [mm]	$t_{MB} =$ 30 [mm]
	$b_{MB} =$ 240 [mm]	$b_{BT} =$ 230 [mm]	
Achtung! Weitere Angaben im Verlauf der Berechnung erforderlich!			

ERGEBNISSE:

ZU DEN BERECHNUNGEN

<u>Tragfähigkeit des Kreuzkammes:</u>	
Horizontale Tragfähigkeit:	$F_{R,d,h} =$ 32,3 [kN]
Vertikale Tragfähigkeit:	$F_{R,d,v} =$ 195,0 [kN]

Alle Rechte vorbehalten! Für die Richtigkeit der Berechnungen und ihrer Ergebnisse wird nicht garantiert!

Baustoffkennwerte nach enBR:2007:

Schnittholz:

Festigkeitsklasse	Festigkeit [N/mm ²]						Steifigkeit [N/mm ²]						[kg/m ³]
	Biegung	Zug parallel	Zug rechtwinklig	Druck parallel	Druck rechtwinklig	Schub und Torsion	Rollschub	E-Modul parallel	E-Modul rechtwinklig	Schubmodul	Rohdichte		
	$f_{m,k}$	$f_{t,0,05}$	$f_{t,90,05}$	$f_{c,0,05}$	$f_{c,90,05}$	$f_{v,0,05}$	$f_{r,k}$	$E_{0,05,mean}$	$E_{90,05,mean}$	G_{mean}	ρ_k		
C16	16	10	0,4	17,0	2,2	2,7	1,0	8000	270	500	310		
C24	24	14	0,4	21,0	2,5	2,7	1,0	11000	370	690	350		
C30	30	18	0,4	23,0	2,7	2,7	1,0	12000	400	750	380		
C35	35	21	0,4	25,0	2,8	2,7	1,0	13000	430	810	400		
C40	40	24	0,4	26,0	2,9	2,7	1,0	14000	470	880	420		
D30	30	18	0,5	23,0	8,0	3,0	1,0	10000	640	600	500		
D40	40	24	0,5	26,0	8,8	3,8	1,0	11000	750	700	530		
D50	50	30	0,6	29,0	9,7	4,6	1,0	13000	930	880	570		

1) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und C_{05} gelten die Rechenwerte (Nadelholz):

$$E_{0,05} = 2/3 E_{0,05,mean}; E_{90,05} = 2/3 E_{90,05,mean}; C_{05} = 2/3 G_{mean}$$

2) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und C_{05} gelten die Rechenwerte (Laubholz):

$$E_{0,05} = 5/6 E_{0,05,mean}; E_{90,05} = 5/6 E_{90,05,mean}; C_{05} = 5/6 G_{mean}$$

3) Der zur Rollschubbeanspruchung gehörende Schubmodul darf mit $G_{k,mean} = 0,10 \times G_{mean}$ angenommen werden.

4) Die tabellierten Eigenschaften gelten für einen bei 20 °C und 65 % relative Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.

Zurück

Modifikationsbeiwerte k_{mod} :	Art der Einwirkung	KLED	Kategorie ¹⁾	Nutzungsklasse (NKL)		
				1	2	3
Eigengewicht		ständig		0,60	0,60	0,50
Vertikale Nutzlasten		lang	E	0,70	0,70	0,55
	* aus Lagerflächen					
Vertikale Nutzlasten		mittel	A, B, D, J	0,80	0,80	0,65
	* aus Wohnflächen, Büroflächen, Lade- und Verkehrsflächen, Stiegen					
Schnee- und Eislasten > 1000 m ü. NN						
Schnee- und Eislasten < 1000 m ü. NN						
Statische Windkräfte						
Horizontale Nutzlasten		kurz	C, F, H, K, T, Z	0,90	0,90	0,70
	* Veranstaltungsräume (Personensammlungen), Landeflächen, Balkone, Dächer, Terrassen, Tribünen, Podien					
Außergewöhnliche Einwirkungen		sehr kurz		1,10	1,10	0,90
	* Erdbeben					
	* Horizontalstöße von Fahrzeugen (Anpralllasten)					
	* Hübschabrandflächen auf Decken, Überrollschutz					

¹⁾ Die Kategorien entsprechen der Einteilung gemäß ON EN 1991-1-1 "Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau"

Teilsicherheitsbeiwerte γ_m :	Element	Teilsicherheitsbeiwert
	Holzprodukt	
	* Rundholz, Vollholz, Vollholz mit besonderen Eigenschaften, Balkenschichtholz	γ_m 1,30
	* Brettschichtholz, Brettspertholz, Furnierschichtholz, Furnierspertholz, Spanspertholz	γ_m 1,25

Literaturangaben:

ÖNORM EN 1995-1-1:2009

[Holz-Holz 2014]

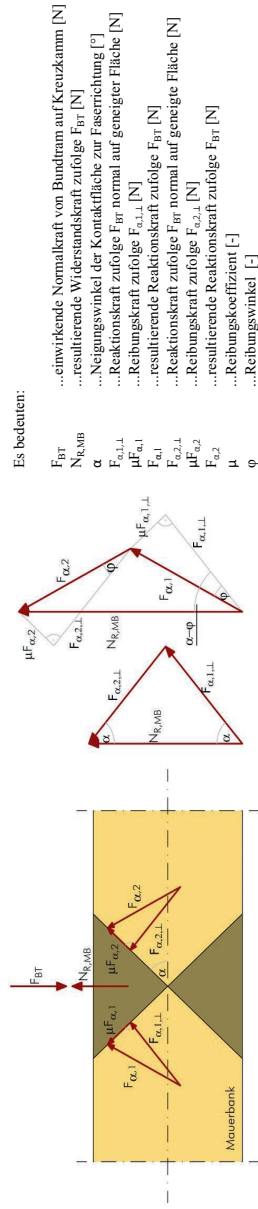
SCHICKHOFFER G.; MEISEL A.; WALLNER B.; SILLY G.; ORTNER J.; Forschungsbereich Holz-Holz-Verbindungen

Zurück

Berechnungen:

Die folgenden Berechnungen dienen als Hilfestellung zur Abschätzung der Tragfähigkeit der ausgewählten Verbindung. Sämtliche Exzentritäten der ausgewählten Verbindung sowie die Reibung in den Kontaktflächen werden bei den folgenden Berechnung vernachlässigt.

Im Folgende wird die Lastabtragung der Kreuzkämme in horizontaler Richtung im Grundriss bildlich dargestellt:



Die Tragfähigkeitsermittlung des Kreuzkammes in horizontaler Richtung erfolgt nach ÖNORM EN 1995-1-1:2009 - 6.2.2 - Druck unter einem Winkel α zur Faserrichtung:

$$\alpha = \boxed{46} [^\circ]$$

$$\sigma_{c,\alpha,k} = \frac{(k_{c,90} * f_{c,90,k}) * f_{c,0,k}}{f_{c,0,k} * \sin^2 \alpha + (k_{c,90} * f_{c,90,k}) * \cos^2 \alpha}$$

$$A_{ef} = \frac{b_{MB} * 0,5}{\sin \alpha} * t_{MB}$$

$$F_{\alpha,1,L} = F_{\alpha,2,L} = \sigma_{c,\alpha,k} * A_{ef}$$

daraus folgt:

$$N_{R,MB} = 2 * F_{\alpha,1,L} * \cos \alpha$$

Zurück

Der Beiwert $k_{s,90}$ wird nach der enBR:2007 - Tab. 6.1 und 6.2, in Anlehnung an die ÖNORM EN 1995-1-1, bestimmt:

Art der Ausführung	Stirnholz-Paneele	Beiwert $k_{s,90}$
1) für einseitigen Verbund $a \geq 100$ mm	1,3 bis 1,5	1,5 (0,5)
2) für beidseitigen Verbund $a \geq 150$ mm	1,5 bis 1,6	1,5 (0,5)
3) über vorgegebene Profile	1,3	1,3

Beiwert $k_{s,90}$ für einseitigen Verbund $a \geq 100$ mm

Tab. 6.1 $k_{s,90}$ -Beiwert



Bild 6.2 $k_{s,90}$ -Beiwert gemäß Tab. 6.1: a) kein Verbund, b) einseitiger Verbund und c) beidseitiger Verbund

$$k_{s,90} = 1,3 [-]$$

daraus folgt:

$$\sigma_{c,0,k} = 6,72 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$A_{c,r} = 5005 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$F_{c,1,t} = 33634 \text{ [N]}$$

Tragfähigkeit des Kreuzkammes horizontal: $F_{Rc,h} = 46,7 \text{ [kN]}$

Zurück

Die Tragfähigkeitsermittlung des Kreuzkammes in vertikaler Richtung erfolgt nach ÖNORM EN 1995-1-1:2009 - 6.1.5 - Druck rechtwinklig zur Faserrichtung:

$$\sigma_{c,90,k} = k_{c,90} * E_{c,90,k} \quad \text{und} \quad \sigma_{c,90,k} = F_{c,90,k} / A_{ef} \quad \text{daraus folgt:} \quad F_{c,90,k} = A_{ef} * k_{c,90} * E_{c,90,k}$$

Mittels $F_{c,90,k}$ kann nun die vertikale Tragfähigkeit der Verbindung ermittelt werden. Dazu wird in weiterer Folge jeweils die wirksame Kontaktfläche benötigt:

$$A_{ef,v} = (l_{z1} + b_{min} + l_{z2}) * b_{90B}$$

It. EN 1995-1-1:2009 darf die tatsächliche Kontaktlänge l_z auf jeder Seite um 30 mm erhöht werden.

daraus folgt:

$$l_{z1} = \boxed{30} \text{ [mm]} \quad \text{mit} \quad b_{min} = \min(b_{90T}; b_{90B})$$

$$l_{z2} = \boxed{30} \text{ [mm]} \quad b_{min} = \boxed{230} \text{ [mm]}$$

daraus folgt:

$$A_{ef,v} = \boxed{69600} \text{ [mm}^2\text{]}$$

Der Beiwert $k_{c,90}$ wird aus der enBR:2007 - Tab. 6.1 und 6.2, in Anlehnung an die ÖNORM EN 1995-1-1, bestimmt:

Art der Ausführung	Schichtdicke, s_{sch}	Planbreite, b_{plan}	Beiwert $k_{c,90}$
1) bei einseitiger Verankerung $a = 100 \text{ mm}$	1,5 bis 1,8	1,5 bis 1,8	1,5 bis 1,8
2) bei beidseitiger Verankerung $a = 100 \text{ mm}$	1,5 bis 1,8	1,5 bis 1,8	1,5 bis 1,8
3) bei angelegter Planleiste	1,3	1,3	1,3

Beif. 6.2 $k_{c,90}$ -Elemente gemäß Tabelle 6.1. a) lates Verbleib, b) einseitiges Verbleib und c) beidseitiges Verbleib

$$k_{c,90} = \boxed{1,5} \text{ [-]}$$

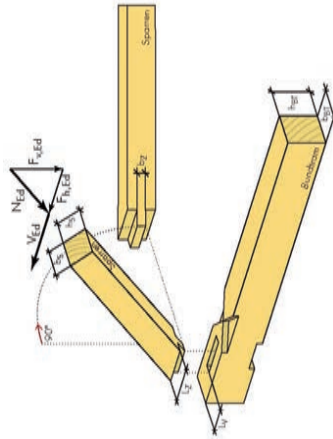
Tragfähigkeit des Kreuzkammes vertikal:

$$F_{c,90,k} = F_{Rk,v} = \boxed{281,9 \text{ [kN]}}$$

Zurück

Eingabefelder

Schräger Zapfen:



Materialeigenschaften:

Festigkeitsklasse:	C30	Baustoffkennwerte nach enBR: Hier Klicken!	
k_{mod} :	0,9	Um Modifikationsbeiwerte anzuzeigen hier Klicken!	
γ_m :	1,30	Um Teilsicherheitsbeiwerte anzuzeigen hier Klicken!	
$f_{m,d}$:	20,77 [N/mm ²]	$f_{t,d}$:	1,87 [N/mm ²]
$f_{b,d}$:	12,46 [N/mm ²]	f_{td} :	0,69 [N/mm ²]
$f_{90,d}$:	0,28 [N/mm ²]	E_{005} :	8000,00 [N/mm ²]
$f_{e90,d}$:	15,92 [N/mm ²]	E_{9005} :	266,67 [N/mm ²]
$f_{c90,d}$:	1,87 [N/mm ²]	$E_{200,005}$:	400,00 [N/mm ²]
		G_{005} :	500,00 [N/mm ²]

Geometrie der Verbindung:	$h_{BZ} =$ 270 [mm]	$b_S =$ 170 [mm]	$b_Z =$ 60 [mm]
	$b_{BZ} =$ 230 [mm]	$b_S =$ 200 [mm]	$t_Z =$ 100 [mm]
Achtung! Weitere Angaben im Verlauf der Berechnung erforderlich!			
			$L_v =$ 200 [mm]

ERGEBNISSE:

ZU DEN BERECHNUNGEN

Tragfähigkeit des schrägen Zapfens:	
$F_{s,Rd,gesamt} =$	1179 [kN]
$F_{b,Rd,gesamt} =$	60,3 [kN]

Alle Rechte vorbehalten! Für die Richtigkeit der Berechnungen und ihrer Ergebnisse wird nicht garantiert!

ok

Baustoffkennwerte nach enBR:2007:

Schnittholz:

Festigkeitsklasse	Festigkeit [N/mm ²]						Steifigkeit [N/mm ²]				[kg/m ³]
	Biegung	Zug parallel	Zug rechtwinklig	Druck parallel	Druck rechtwinklig	Schub und Torsion	Rollschub	E-Modul parallel	E-Modul rechtwinklig	Schubmodul	
C16	f _{yk} 16	f _{yk} 10	f _{yk} 0,4	f _{yk} 17,0	f _{yk} 2,2	f _{yk} 2,7	f _{yk} 1,0	E _{0,05} 8000	E _{0,05} 270	G _{0,05} 500	ρ _k 310
C24	f _{yk} 24	f _{yk} 14	f _{yk} 0,4	f _{yk} 21,0	f _{yk} 2,5	f _{yk} 2,7	f _{yk} 1,0	E _{0,05} 11000	E _{0,05} 370	G _{0,05} 690	ρ _k 350
C30	f _{yk} 30	f _{yk} 18	f _{yk} 0,4	f _{yk} 23,0	f _{yk} 2,7	f _{yk} 2,7	f _{yk} 1,0	E _{0,05} 12000	E _{0,05} 400	G _{0,05} 750	ρ _k 380
C35	f _{yk} 35	f _{yk} 21	f _{yk} 0,4	f _{yk} 25,0	f _{yk} 2,8	f _{yk} 2,7	f _{yk} 1,0	E _{0,05} 13000	E _{0,05} 430	G _{0,05} 810	ρ _k 400
C40	f _{yk} 40	f _{yk} 24	f _{yk} 0,4	f _{yk} 26,0	f _{yk} 2,9	f _{yk} 2,7	f _{yk} 1,0	E _{0,05} 14000	E _{0,05} 470	G _{0,05} 880	ρ _k 420
D30	f _{yk} 30	f _{yk} 18	f _{yk} 0,5	f _{yk} 23,0	f _{yk} 8,0	f _{yk} 3,0	f _{yk} 1,0	E _{0,05} 10000	E _{0,05} 640	G _{0,05} 600	ρ _k 500
D40	f _{yk} 40	f _{yk} 24	f _{yk} 0,5	f _{yk} 26,0	f _{yk} 8,8	f _{yk} 3,8	f _{yk} 1,0	E _{0,05} 11000	E _{0,05} 750	G _{0,05} 700	ρ _k 530
D50	f _{yk} 50	f _{yk} 30	f _{yk} 0,6	f _{yk} 29,0	f _{yk} 9,7	f _{yk} 4,6	f _{yk} 1,0	E _{0,05} 13000	E _{0,05} 930	G _{0,05} 880	ρ _k 570

1) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte E_{0,05}, E_{90,05} und G_{0,5} gelten die Rechenwerte (Nadelholz):

$E_{0,05} = 2/3 E_{0,05} ; E_{90,05} = 2/3 E_{90,05} ; G_{0,5} = 2/3 G_{0,5}$

2) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte E_{0,05}, E_{90,05} und G_{0,5} gelten die Rechenwerte (Laubholz):

$E_{0,05} = 5/6 E_{0,05} ; E_{90,05} = 5/6 E_{90,05} ; G_{0,5} = 5/6 G_{0,5}$

3) Der zur Rollschubbeanspruchung gehörende Schubmodul darf mit G_{0,05} = 0,10 x G_{0,05} angenommen werden.

4) Die tabellierten Eigenschaften gelten für einen bei 20 °C und 65 % relative Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.

Zurück

Modifikationsbeiwerte k_{mod} :	Art der Einwirkung	KLED	Kategorie ¹⁾	Nutzungs-kategorie (NKL)		
				1	2	3
Eigengewicht		ständig		0,60	0,60	0,50
Vertikale Nutzlasten		lang	E	0,70	0,70	0,55
	* aus Lagerflächen					
Vertikale Nutzlasten		mittel	A, B, D, j	0,80	0,80	0,65
	* aus Wohnflächen, Büroflächen, Laide- und Verkehrsflächen, Stiegen					
Schnee- und Eislasten > 1000 m ü. NN						
Schnee- und Eislasten < 1000 m ü. NN						
Statische Windkräfte						
Horizontale Nutzlasten		kurz	C, F, H, K, T, Z	0,90	0,90	0,70
	* Veranstaltungsräume (Personensammlungen), Landeplätzen, Balkone, Dächer, Terrassen, Tribünen, Podien					
Aufgewöhnliche Einwirkungen		sehr kurz		1,10	1,10	0,90
	* Erdbeben					
	* Horizontalstöße von Fahrzeugen (Anpralllasten)					
	* Hubschrauberlandeplätzen auf Decken, Überrollschutz					

¹⁾ Die Kategorien entsprechen der Einteilung gemäß ON EN 1991-1-1 "Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau"

Teilsicherheitsbeiwerte γ_m :	Element	Teilsicherheitsbeiwert
	Holzprodukt	
	* Rundholz, Vollholz, Vollholz mit besonderen Eigenschaften, Balkenschichtholz	γ_m 1,30
	* Brettschichtholz, Brettsperholz, Furnierschichtholz, Furniersperholz, Spansperholz	γ_m 1,25

Literaturangaben:

- ÖNORM EN 1995-1-1:2009
enBR:2007
- [Görlacher u. a. 1990]
- [Meisel u. Schickhofer 2011]
- [Koch 2011]
- GÖRLACHER Rainer u. a.: Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von zugbeanspruchten Blattverbindungen in historischen Holzkonstruktionen. In: SFB 315 – Jahrbuch 1990, S. 273–291. Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- MEISEL Andreas ; SCHICKHOFER Gerhard: Konzepte zur Instandsetzung historischer Dachtragwerke. In: bauen mit holz, Bruderverlag 2011, Nr. 10, S. 28–34
- KOCH Heiko: Untersuchungen zum Last-Verformungsverhalten historischer Holztragwerke - Der abgestirnte Zapfen, Universität Kassel, Diss., 2011

Zurück

Berechnungen:

Die folgenden Berechnungen dienen lediglich als Hilfestellung zur Abschätzung der Tragfähigkeit der ausgewählten Verbindung. Sämtliche Exzentrizitäten der ausgewählten Verbindung, werden bei der folgenden Berechnung vernachlässigt.

Zu Beginn werden die möglichen Versagensmechanismen, welche bei einer Verbindung mittels schrägem Zapfen auftreten können angeführt:

Es bedeuten:

- $N_{k,d}$... einwirkende Normalkraft in Längsrichtung des Sparrens [N]
- $F_{v,k,d}$... resultierende vertikale Kraft infolge $N_{k,d}$ [N]
- $F_{h,k,d}$... resultierende horizontale Kraft infolge $N_{k,d}$ [N]
- L_v ... Vorholzlänge [mm]
- L_z ... Länge des Zapfens [mm]
- l_z ... Höhe des Zapfens [mm]

- 1) ... Versagen auf Querdruk am Bunddraum
- 2) ... Versagen auf Kontaktdruk an der Zapfenstim
- 3) ... Versagen auf Schub im Vorholz
- 4) ... Versagen auf Schub im Zapfen

Zur Tragfähigkeitsermittlung des schrägen Zapfens wird die ÖNORM EN 1995-1-1:2009, die enBR-2007 sowie div. Literaturangaben herangezogen. Es wird empfohlen, den Reibungskoeffizienten μ mit 0,35 zu berücksichtigen (vgl. Meisel u. Schickhofer (2011))

Der Beiwert $k_{c,90}$ wird nach der enBR:2007 - Tab. 6.1 und 6.2, in Anlehnung an die ÖNORM EN 1995-1-1, bestimmt:

Art der Auslastung	Schraubholz	Reibschraubholz	Reibschraubholz, Bsp
1) Einseitige Verankerung	1,3	1,3	1,3
2) Einseitige Verankerung mit Vorholz	1,3	1,3	1,3
3) Beidseitige Verankerung	1,3	1,3	1,3

Tab. 6.1 $k_{c,90}$ -Beiwert

Art der Auslastung	Schraubholz	Reibschraubholz	Reibschraubholz, Bsp
1) Einseitige Verankerung	1,3	1,3	1,3
2) Einseitige Verankerung mit Vorholz	1,3	1,3	1,3
3) Beidseitige Verankerung	1,3	1,3	1,3

Tab. 6.2 $k_{c,90}$ -Beiwert gemäß Tab. 6.1 mit Vorholz, 30°-schrägen Zapfen und 0°-schrägen Zapfen

$\alpha = 45$ ° ok

$\mu = 0,35$ [-] ok

Zurück

Versagensmechanismus I) $F_{v,Rd,Querdruck}$: $F_{v,Rd,Querdruck} = A_{ef,Sparrten} * k_{C,90} * f_{C,90,d}$

mit: $A_{ef,Sparrten} = (b_{min} - b_Z) * (l_{Z1} + \frac{b_Z}{\cos \alpha} + l_{Z2})$

lt. EN 1995-1-1:2009 darf die tatsächliche Kontaktlänge L_Z auf jeder Seite um 30 mm erhöht werden.

daraus folgt:

$l_{Z1} = 30$ [mm]

$l_{Z2} = 30$ [mm]

$k_{C,(90)} = 1,5$ [-] ok

Es bedeuten:

- $A_{ef,Sparrten}$... effektive vertikale Kontaktfläche zwischen Bundraum und Sparrten [mm²]
- b_S ... Höhe des Sparrten [°]
- b_Z ... Breite des Sparrten [mm]
- b_Z ... Breite des Zapfen [mm]
- α ... Anchlusswinkel zwischen Bundraum und Sparrten [°]
- l_Z ... Erhöhung der Kontaktflächenlänge lt. EN 1995-1-1:2009
- $k_{C,90}$... Querdrukbeiwert [-]

Die effektive Kontaktfläche zwischen Bundraum und Sparrten in vertikaler Richtung ergibt sich zu:

$A_{ef,Sparrten} = 42058$ [mm²]

Der Tragfähigkeit der Zapfenverbindung auf Querdruck ergibt sich somit zu:

$F_{v,Rd,Querdruck} = 117,9$ [kN]

Zurück

Versagensmechanismus 2) $F_{b,Rd,K}$ Kontaktdruck :

$$F_{b,Rd,K} \text{ Kontaktdruck} = A_{ef,Zapfenstirn} * f_{c,d}$$

mit:

$$A_{ef,Zapfenstirn} = b_z * (t_z + l_z)$$

lt. EN 1995-1-1:2009 darf die tatsächliche Kontaktlänge l_z um 30 mm erhöht werden.

daraus folgt:

$$l_z = 30 \text{ [mm]}$$

$$f_{c,d} = \frac{(f_{c,90,d} * k_{c,90}) * f_{c,0,d}}{f_{c,0,d} * \sin^2 \alpha + (f_{c,90,d} * k_{c,90}) * \cos^2 \alpha}$$

$$k_{c,90} = 1,5 \text{ [-]} \quad \text{ok}$$

Es bedeuten:

- $A_{ef,Zapfenstirn}$... effektive horizontale Kontaktfläche zwischen Bundtrum und Sparrn [mm²]
- b_z ... Breite des Zapfen [mm]
- t_z ... Höhe des Zapfen [mm]
- l_z ... Erhöhung der Kontaktflächenlänge lt. EN 1995-1-1:2009
- α ... Anchlusswinkel zwischen Bundtrum und Sparrn [°]
- $k_{c,90}$... Querdrukbeiwert [-]

Die effektive Kontaktfläche zwischen Bundtrum und Sparrn in horizontaler Richtung ergibt sich zu:

$$A_{ef,Zapfenstirn} = 7800 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Der Tragfähigkeit für Druck unter einem Winkel zur Faserrichtung $f_{c,\alpha}$ ergibt sich somit zu:

$$f_{c,d} = 4,77 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$F_{b,Rd,K} \text{ Kontaktdruck} = 37,2 \text{ [kN]}$$

Zurück

Versagensmechanismus 3) $F_{\text{Rd, Schub Vorholz}}$: $F_{\text{Rd, Schub Vorholz}} = A_{\text{Vorholz}} * k_s * f_{b,d}$

mit: $A_{\text{Vorholz}} = b_{\text{PR}} * L_Y$

lt. EN 1995-1-1:2009 muss die vorliegende Vorholzlänge mindestens 200 mm betragen. Vorholzlängen über $8 * l_y$ dürfen beim Nachweis der Scherbeanspruchung nicht in Rechnung gestellt werden.

$$200 \text{ mm} \leq L_Y \leq 8 * l_y \quad \text{mit:} \quad 8 * l_y = \boxed{800} \text{ [mm]} \quad L_Y \text{ lt. Angabe}$$

daraus folgt:

$$L_Y = \boxed{200} \text{ [mm]}$$

$$A_{\text{Vorholz}} = \boxed{46000} \text{ [mm}^2\text{]}$$

lt. Görtscherer u. a. (1990 S. 72) können Schubspannungen selbst bei Querschnittsschwächungen durch Risse in der beanspruchten Ebene von bis zu 45 % zuverlässig aufgenommen werden. Daraus folgt, dass bei nachweislich nicht vorhandenem Riss die zulässige Schubspannung mit einem Faktor bis zu $k_s = 1,77$ erhöht werden kann. Bei hoch Beanspruchten Vorholzscherflächen wird empfohlen, die Rissfreiheit vor Ort zu prüfen!

$$k_s = \boxed{1,77} \text{ [-]} \quad \text{ok}$$

Die aufnehmbare Horizontalkraft der Vorholzfläche ergibt sich somit zu:

$$F_{\text{Rd, Schub Vorholz}} = \boxed{152,2 \text{ [kN]}}$$

Zurück

Versagensmechanismus 4) $F_{h,Rd, Schub Zapfen}$: $F_{h,Rd, Schub Zapfen} = k_s * f_{v,d} * b_{ef} * L_Z$

mit: $k_s = \boxed{1,77}$ [-] ok

lt. Gförlacher u. a. (1990, S. 72) können Schubspannungen selbst bei Querschnittsschwächungen durch Risse in der beanspruchten Ebene von bis zu 45 % zuverlässig aufgenommen werden. Daraus folgt, dass bei nachweislich nicht vorhandenem Riss die zulässige Schubspannung mit einem Faktor bis zu $k_s = 1,77$ erhöht werden kann. Bei hoch beanspruchten Vorholzseherflächen wird empfohlen, die Rissfreiheit vor Ort zu prüfen!

$$b_{ef} = k_{cr, Vorholz} * b_Z$$

mit: $k_{cr, Vorholz} = \boxed{1,00}$ [-] ok

lt. EN 1995-1-1:2009 sollte beim Nachweis der Beanspruchbarkeit auf Schub von biegebeanspruchten Bauteilen, der Einfluss von Rissen mittels dem Risbeiwert $k_{cr, Vorholz} = 0,67$ berücksichtigt werden. Da man aus Erfahrung davon ausgehen kann, dass der Zapfen selbst keine Risse aufweist, wird empfohlen den Risfaktor mit $k_{cr, Vorholz} = 1,0$ anzunehmen.

daraus folgt:

$$b_{ef} = \boxed{60}$$
 [mm]

$$L_Z = \frac{h_S}{\cos \alpha}$$

mit: $L_Z = \boxed{240}$ [mm]

Die aufnehmbare Horizontalkraft des Zapfens auf Schub ergibt sich somit zu:

$$F_{h,Rd, Schub Zapfen} = \boxed{47,6} \text{ [kN]}$$

Zurück

Die Tragfähigkeit der Verbindung in vertikaler Richtung ergibt sich somit zu:

$$F_{v, \text{red}} = 117,9 \text{ [kN]}$$

Die Tragfähigkeit der Verbindung in horizontaler Richtung ergibt sich somit zu:

$$F_{h, \text{red}} = 37,2 \text{ [kN]}$$

Soll die Reibung in horizontaler Richtung $H_{\text{Reib, Red}}$ berücksichtigt werden, so ist hierfür eine Angabe zur vertikalen auf die Zapfenverbindung einwirkende Kraft $F_{v, \text{red}}$ notwendig!

$$F_{v, \text{red}} = 66,1 \text{ [kN]}$$

daraus folgt:

$$F_{h, \text{Reibung}} = 23,1 \text{ [kN]}$$

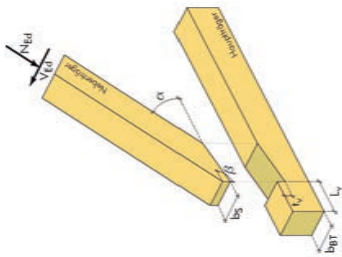
Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass ein weiteres Versagenskriterium dieser Verbindung das Rollschubversagen an der Zapfenwurzel sein kann. Der Nachweis hierfür kann nach Koeh (2011) geführt werden und wird hier nicht weiter ausgeführt.

Zurück



Eingabefelder

Einfacher Versatz:



Materialieigenschaften:

Festigkeitsklasse: Baustoffkennwerte nach en84: Hier Klicken!

k_{mod} : Um Modifikationsbeiwerte anzuzeigen hier Klicken!
 γ_m : Um Teilsicherheitsbeiwerte anzuzeigen hier Klicken!

$f_{m,d}$: [N/mm²] $f_{m,d}$: [N/mm²]
 $f_{t,d}$: [N/mm²] $f_{t,d}$: [N/mm²]
 $E_{90,d}$: [N/mm²] $E_{90,d}$: [N/mm²]
 $f_{90,d}$: [N/mm²] $E_{90,d}$: [N/mm²]
 $f_{c,90,d}$: [N/mm²] $E_{90,mean}$: [N/mm²]
 $f_{c,90,d}$: [N/mm²] G_{005} : [N/mm²]

Geometrie der Verbindung:	b_s = <input type="text" value="200"/> [mm]	t_v = <input type="text" value="40"/> [mm]	α = <input type="text" value="45"/> [°] <input type="text" value="ok"/>
	b_{gr} = <input type="text" value="230"/> [mm]		β = <input type="text" value="90"/> [°] <input type="text" value="ok"/>
Achtung! Weitere Angaben im Verlauf der Berechnung erforderlich!			L_v = <input type="text" value="200"/> [mm] <input type="text" value="ok"/>

$\beta_{faceet} = \frac{180 - \alpha}{2}$ daraus folgt: $\beta_{faceet} = [°]$

ZU DEN BERECHNUNGEN

Tragfähigkeit des einfachen Versatzes:
 $F_{Rel,gesamt} = [kN]$

ERGEBNISSE:

Alle Rechte vorbehalten! Für die Richtigkeit der Berechnungen und ihrer Ergebnisse wird nicht garantiert!

Baustoffkennwerte nach ENBR:2007:

Schnittholz:

Festigkeitsklasse	Festigkeit [N/mm ²]						Stiffigkeit [N/mm ²]				[kg/m ³]	
	Biegung		Zug		Druck		Rollschub		E-Modul			Schubmodul
	F _{m,k}	F _{0,05}	F _{t0,k}	F _{t0,05}	F _{d0,k}	F _{d0,05}	f _{r,k}	f _{r,05}	E _{0,05}	E _{90,05}		
C16	16	10	0,4	17,0	2,2	2,7	1,0	8000	270	500	310	Nadelholz ¹⁾
C24	24	14	0,4	21,0	2,5	2,7	1,0	11000	370	690	350	
C30	30	18	0,4	23,0	2,7	2,7	1,0	12000	400	750	380	
C35	35	21	0,4	25,0	2,8	2,7	1,0	13000	430	810	400	
C40	40	24	0,4	26,0	2,9	2,7	1,0	14000	470	880	420	
D30	30	18	0,5	23,0	8,0	3,0	1,0	10000	640	600	500	Buche ²⁾ , Esche ²⁾
D40	40	24	0,5	26,0	8,8	3,8	1,0	11000	750	700	530	
D50	50	30	0,6	29,0	9,7	4,6	1,0	13000	930	880	570	

¹⁾ Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte E_{0,05}, E_{90,05} und G_{0,05} gelten die Rechenwerte (Nadelholz):

$$E_{0,05} = 2/3 E_{0,05m}; E_{90,05} = 2/3 E_{90,05m}; G_{0,05} = 2/3 G_{0,05m}$$

²⁾ Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte E_{0,05}, E_{90,05} und G_{0,05} gelten die Rechenwerte (Laubholz):

$$E_{0,05} = 5/6 E_{0,05m}; E_{90,05} = 5/6 E_{90,05m}; G_{0,05} = 5/6 G_{0,05m}$$

³⁾ Der zur Rollschubbeanspruchung gehörende Schubmodul darf mit G_{R,mean} = 0,10 x G_{mean} angenommen werden.

⁴⁾ Die tabellierten Eigenschaften gelten für einen bei 20 °C und 65 % relative Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.

Zurück

Modifikationsbeiwerte k_{mod} :	Art der Einwirkung	KLEID	Kategorie ¹⁾	Nutzungsklasse (NKL)		
				1	2	3
Eigengewicht		ständig		0,60	0,60	0,50
Vertikale Nutzlasten		lang	E	0,70	0,70	0,55
	* aus Lagerflächen					
Vertikale Nutzlasten		mittel	A, B, D, J	0,80	0,80	0,65
	* aus Wohnflächen, Büroflächen, Lade- und Verkehrsflächen, Stiegen					
	* aus Wohnflächen, Büroflächen, Lade- und Verkehrsflächen, Stiegen					
Schnee- und Eislasten > 1000 m ü. NN						
Schnee- und Eislasten < 1000 m ü. NN						
Statische Windkräfte						
Horizontale Nutzlasten		kurz	C, F, H, K, T, Z	0,90	0,90	0,70
	* Veranstaltungsräume (Personensammlungen), Landeflächen, Balkone, Dächer, Terrassen, Tribünen, Podden					
Auflageverhältnisse		sehr kurz		1,10	1,10	0,90
	* Erdbeben					
	* Horizontalsäfte von Fahrzeugen (Anpralllasten)					
	* Hübschrautberandflächen auf Decken, Überrollschutz					

¹⁾ Die Kategorien entsprechen der Einteilung gemäß ON EN 1991-1-1 "Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau"

Teilsicherheitsbeiwerte γ_m :	Element	Teilsicherheitsbeiwert
	Holzprodukt	
	* Rundholz, Vollholz, Vollholz mit besonderen Eigenschaften, Balkenschichtholz	γ_m
	* Brettschichtholz, Brettsperrholz, Furnierschichtholz, Furniersperrholz, Spansperrholz	γ_m
		1,30
		1,25

Literaturangaben:

ÖNORM EN 1995-1-1:2009
enBR:2007

[Görlacher u. a. 1990]

GÖRLACHER Rainer u. a.: Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von zugbeanspruchten Blattverbindungen in historischen Holzkonstruktionen. In: SFH 315 – Jahrbuch 1990, S. 273–291. Berlin: Verlag Ernst & Sohn.

[Meisel u. Schickhofer 2011]

MEISEL Andreas; SCHICKHOFER Gerhard: Konzepte zur Instandsetzung historischer Dachtragwerke. In: bauen mit holz, Bruderverlag 2011, Nr. 10, S. 28-34

Zurück

Berechnungen:

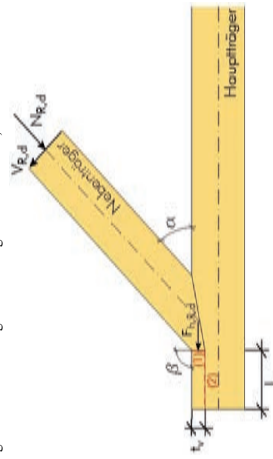
Die folgenden Berechnungen dienen lediglich als Hilfestellung zur Abschätzung der Tragfähigkeit der ausgewählten Verbindung. Sämtliche Exzentritäten sowie die Reibung in der ausgewählten Verbindung, werden bei der folgenden Berechnung vernachlässigt.

Zu Beginn werden die möglichen Versagensmechanismen, welche bei einer Verbindung mittels schrägem Zapfen auftreten können angeführt:

Es bedeuten:

- $N_{k,d}$... einwirkende Normalkraft in Längsrichtung des Sparren [N]
- $F_{v,Rd}$... resultierende vertikale Kraft infolge $N_{k,d}$ [N]
- $F_{h,Rd}$... resultierende horizontale Kraft infolge $N_{k,d}$ [N]
- L_v ... Vorholzlänge [mm]
- t_v ... Tiefe des Versatzes [mm]

- 1) ... Versagen auf Kontaktdruck an der Zapfenstirn
- 2) ... Versagen auf Schub im Vorholz



Zur Tragfähigkeitsermittlung des schrägen Zapfens wird die ÖNORM EN 1995-1-1:2009, die enBR-2007 sowie div. Literaturangaben herangezogen.

Der Beiwert $k_{c,90}$ wird nach der enBR:2007 - Tab. 6.1 und 6.2, in Anlehnung an die ÖNORM EN 1995-1-1, bestimmt:

Art der Ausblühdung	Schichtzahl	Beiwert $k_{c,90}$	Beiwert $k_{c,90}$ für verschraubte Holzbohle
1) bei einseitiger Vorholz $a \geq 100$ mm	1	1,3	1,5
2) bei beidseitiger Vorholz $a \geq 100$ mm	2	1,3	1,5
3) bei vorgelagerten Pfählen	1,3	1,3	1,3

Wichtig: Die Werte für $k_{c,90}$ sind nur für $F_{v,Rd} \leq 100$ kN anzuwenden.

Tab. 6.1 $k_{c,90}$ -Beiwert



Bild 6.2 $k_{c,90}$ -Beiwerte gemäß Tabelle 6.1, a) kein Vorholz, b) beidseitige Vorholz und c) vorgelagerte Pfähle

Zurück

Versagensmechanismus I) $F_{h,rd,kontaktdruck}$: $F_{h,rd,kontaktdruck} = A_{ef,versatz} * f_{c,d,d}$

Anmerkung: Um die folgenden Formeln für die Berechnung des Versatzes anwenden zu können, wird eine ast- und faserabweichungsfreie Versatzstirnfläche vorausgesetzt (vgl. Görlicher u. a. (1990 S. 70))
 Weiters dürfen im Falle einer rechnerischen Vergrößerung der Kontaktfläche nach EN 1995-1-1:2009, keine Schädigungen in diesem Bereich vorliegen.

mit: $A_{ef,versatz} = l_S * \left(\frac{l_V}{\sin \beta} + l_Z \right)$

lt. EN 1995-1-1:2009 darf die tatsächliche Kontaktlänge l_Z um 30 mm erhöht werden.

daraus folgt: rechnerische Vergrößerung l_Z berücksichtigen? ja nein $l_Z = 21$ [mm]

$$f_{c,d,d} = \frac{(f_{c,90,d} * k_{c,90}) * f_{c,0,d}}{f_{c,0,d} * \sin^2 \alpha + (f_{c,90,d} * k_{c,90}) * \cos^2 \alpha}$$

daraus folgt: $f_{c,d,d,hauptträger} = 15,92$ [N/mm²] mit: $\alpha_{HT} = 0$ [°]
 $f_{c,d,d,Nebenträger} = 4,22$ [N/mm²] mit: $\alpha_{NT} = 45$ [°]

$k_{c,90} = 1,3$ [-] ok

- Es bedeuten:
- $A_{ef,versatz}$... effektive Kontaktfläche unter einem Winkel zur Faserrichtung zwischen Bundtramm und Sparrn [mm²]
 - b_S ... Breite des Sparrn [mm]
 - l_V ... Versatztiefe [mm]
 - l_Z ... Erhöhung der Kontaktflächenlänge lt. EN 1995-1-1:2009
 - α ... Anschlusswinkel zwischen Bundtramm und Sparrn [°]
 - β ... Winkel zwischen Faserrichtung des Bundtrammes und der Kontaktfläche [°]
 - $k_{c,90}$... Querdrukbeiwert [-]

Die effektive Kontaktfläche zwischen Bundtramm und Sparrn in horizontaler Richtung ergibt sich zu:
 Der Tragfähigkeit für Druck unter einem Winkel zur Faserrichtung $f_{c,d,d}$ ergibt sich somit zu:

$A_{ef,versatz} = 12200$ [mm²]
 $f_{c,d,d} = 4,22$ [N/mm²]

$F_{h,rd,kontaktdruck} = 51,5$ [kN]

Zurück

Versagensmechanismus 2) $F_{k,Rd, Schub Vorholz}$: $F_{k,Rd, Schub Vorholz} = A_{Vorholz} * k_s * f_{b,d}$

mit: $A_{Vorholz} = b_{gr} * L_V$

lt. EN 1995-1-1:2009 muss die vorliegende Vorholzlänge mindestens 200 mm betragen. Vorholzlängen über $8 * t_V$ dürfen beim Nachweis der Scherbeanspruchung nicht in Rechnung gestellt werden.

$200 \text{ mm} \leq L_V \leq 8 * t_V$ mit: $8 * t_V = 320 \text{ [mm]}$ L_V lt. Angabe

daraus folgt:

$L_V = 200 \text{ [mm]}$ **ok**

$A_{Vorholz} = 46000 \text{ [mm}^2\text{]}$

lt. Görtscherer u. a. (1990 S. 72) können Schubspannungen selbst bei Querschnittsschwächungen durch Risse in der beanspruchten Ebene von bis zu 45 % zuverlässig aufgenommen werden. Daraus folgt, dass bei nachweislich nicht vorhandenem Riss die zulässige Schubspannung mit einem Faktor bis zu $k_s = 1,77$ erhöht werden kann. Bei hoch Beanspruchten Vorholzscherflächen wird empfohlen, die Rissfreiheit vor Ort zu prüfen!

$k_s = 1,77 \text{ [-]}$ **ok**

Die aufnehmbare Horizontalkraft der Vorholzfläche ergibt sich somit zu:

$F_{k,Rd, Schub Vorholz} = 152,2 \text{ [kN]}$

Zurück

Dies ist eine Veröffentlichung des

FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“. Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe

S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | F – Forschungsberichte
V – Vorträge, Tagungen | M – Masterarbeiten

Institutskenzahl:

1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl