



DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

„Barocker Dachstuhl MuseumsQuartier - Bestandsanalyse“

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplomingenieurs
unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Kolbitsch

und als verantwortlich mitwirkenden Assistenten

Dipl.-Ing. Andreas Schneemayer

am

Institut für Hochbau und Technologie

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Joachim Christoph Degendorfer

E610 / 9827089

Neubaugasse 26/1/50

1070 Wien

Wien, im Jänner 2011

.....
(Joachim Christoph Degendorfer)

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
etc.	et cetera („und so weiter“)
lt.	laut
Mio.	Millionen
o. a.	oben angeführt
ÖNORM	Österreichische Norm
s. g.	so genannte
Tab.	Tabelle
u. a.	und andere
u. ä.	und ähnliche
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

Kurzfassung

Die Erhaltung bzw. Instandsetzung von Bauwerken, stellt ein umfassendes Themengebiet im Bereich des Bauwesens dar. Aufbauend auf dem Wissen jahrhundertalter Handwerkstradition in Kombination mit dem heutigen Stand der Technik, hat sich daraus sogar ein eigener Industriezweig gebildet.

In der heutigen Zeit ist die Erhaltung und Instandsetzung von historischen Bauwerken sowohl kulturell als auch wirtschaftlich von großer Bedeutung. Unter dem Aspekt der Denkmalpflege, sind historische Bauten möglichst originalgetreu für nachkommende Generationen zu erhalten.

Eine Bestandsanalyse stellt die Grundlage für die weiteren Schritte auf dem Gebiet der Erhaltung und Instandsetzung von Bauwerken dar. Aus diesem Grund beschäftigt sich die vorliegende Diplomarbeit mit der Bestandsanalyse des Barocken Dachstuhls im MuseumsQuartier Wien. Dieser Dachstuhl stellt im Sinne der Denkmalpflege eine erhaltenswerte Konstruktion dar.

Im ersten Teil der Arbeit werden ausgewählte Kapitel auf dem Gebiet der Bestandsanalyse bzw. der Bauzustandserfassung alter Holzbauwerke erläutert. Der zweite Teil der Diplomarbeit umfasst die praktische Durchführung einer Bestandsanalyse am Beispiel dieses Barocken Dachstuhls. Ziel der Arbeit ist es den Zustand der Holzkonstruktion zu eruieren und zu veranschaulichen.

Die Bestandsanalyse hat ergeben, dass der untersuchten hölzerne Konstruktion ein Bauzustand mit „geringen Schäden“ attestiert werden kann. Trotz ihres hohen Alters beläuft sich der Umfang der Schäden bezogen auf die Gesamtkonstruktion auf ein geringes Ausmaß. Die Tragfähigkeit der Konstruktion ist vollständig vorhanden.

Die Ursache der Schäden ist in einer undichten Dachhaut zu sehen. Weiters wird die Schadensausbreitung durch die Tatsache begünstigt, dass die Holzkonstruktion den klimatischen Wechselwirkungen ausgesetzt ist. Da der Reparaturaufwand bei Schäden, welche eine Tendenz zur Ausbreitung aufweisen, nach einer exponentiellen Funktion anwächst, ist damit für die weitere Vorgehensweise hinsichtlich etwaiger Instandsetzungsarbeiten auch dieser wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen.

Abstract

Maintenance of buildings is a big topic in the area of the building industry. Based on the centuries-old tradition of the handcraft mixed with the state of the art resulted to an own branch of industry.

Nowadays the maintenance of historical buildings has cultural and economic relevance. Under the aspect of the preservation of monuments and historic buildings these constructions should be preserved as true to the original as possible for the next generations.

In the field of maintenance a broad status analysis is the basis for the next steps to preserve the basic structure of a building. This thesis deals with the analysis and evaluation of the baroque construction of the roof structure of the Museums Quartier Wien. The guidelines of the preservation of monuments and historic buildings ensure the preservation of this roof.

The first part of this thesis is based on the topic status analysis and the recording of the construction level of older wooden constructions. In the second part the theory of the first chapter is applied by using the example of this baroque roof structure. This thesis determines and visualises the condition of this wooden construction.

The status analysis shows that the construction level of this roof made of timber has minor damages. Regardless of the age of this building the damages are so marginal that the bearing capacity is still existent.

The cause for the damage symptoms is due to leaks in the roof panel. This is supported by the climatic interaction. The input for the building repair rises exponentially in case of damages with a tendency to spread out. For this reason the next steps of the maintenance should also be considered by an economical point of few.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung	1
2.	Bauzustandserfassung alter Holzbauwerke.....	3
2.1.	Schadensanalyse	4
2.2.	Schadensarten von Holzschädigungen	7
2.2.1.	Biologische Schädigung.....	10
2.2.1.1.	Pilze.....	10
2.2.1.2.	Holzerstörende Insekten	14
2.2.2.	Chemische Schädigung des Holzes.....	16
2.2.2.1.	Holzschutzmaßnahmen	18
2.2.3.	Mechanische Schädigung des Holzes	19
2.2.4.	Durchfeuchtung und bauphysikalische Einflüsse	23
2.3.	Schadenserfassung.....	24
2.3.1.	Bestandsuntersuchung	28
2.3.2.	Bestandsbewertung	30
3.	Bestandsanalyse – Barocker Dachstuhl MuseumsQuartier.....	32
3.1.	Das MuseumsQuartier.....	32
3.1.1.	Das MuseumsQuartier in der Historie	32
3.1.2.	Das MuseumsQuartier heute	37
3.2.	Bauwesen im Barock - Der Barocke Dachstuhl	37
3.2.1.	Das Handwerk des Zimmermanns in der Barockzeit.....	38
3.2.2.	Herstellungstechniken bei barocken Dachstühlen.....	42
3.2.3.	Barocke Dachwerke – Konstruktionsprinzipien und Elemente.....	46
3.2.3.1.	Das Sparrendach	47
3.2.3.2.	Das Kehlbalkendach	47
3.2.3.3.	Die Mauerlatte bzw. Mauerbank.....	47
3.2.3.4.	Der stehende Stuhl	48
3.2.3.5.	Der liegende Stuhl	50
3.3.	Bestandssituation	54
3.3.1.	Allgemeines	54
3.3.2.	Historie – Geschichtlicher Auszug	55
3.3.3.	Äußeres Erscheinungsbild	55
3.3.4.	Inneres Erscheinungsbild.....	56
3.4.	Bestandsaufnahme	58
3.4.1.	Schadensbilder	58
3.4.1.1.	Durchfeuchtungen.....	59

3.4.1.2.	Verfärbungen	59
3.4.1.3.	Bewachsungen – Schädigungen durch Holzpilze	62
3.4.1.4.	Holzfäulnis	63
3.4.1.5.	Fraßbilder – Schädigungen durch Holzinsekten	64
3.4.1.6.	Chemische Korrosion	64
3.4.1.7.	Form- und Lageänderungen	64
3.4.1.8.	Risse – Schwindverformungen und Schwindrisse	65
3.4.1.9.	Querschnittsverringerungen	66
3.4.1.10.	Brüche	67
3.4.1.11.	Veränderungen an Metallteilen	67
3.4.2.	Erfassung der Schadensbilder	68
3.4.3.	Einstufung der Schäden	68
3.5.	Struktur- und Systemanalyse	69
3.5.1.	Tragwerksbeschreibung	69
3.5.2.	Grundriss	70
3.5.3.	Systemschnitt	70
3.5.4.	Knoten und Verbindungsmittel	74
3.5.4.1.	Knoten A	75
3.5.4.2.	Knoten B	77
3.5.4.3.	Knoten C	78
3.5.4.4.	Knoten D	79
3.5.4.5.	Knoten E	80
3.6.	Brandschutz	81
3.6.1.	Brandschutztechnische Bestandsaufnahme	81
3.6.2.	Abbrandgeschwindigkeit	82
3.6.3.	Brandverhalten von zimmermannsmäßigen Verbindungen	83
3.6.3.1.	Zapfenverbindungen	84
3.6.3.2.	Versatz	84
3.6.4.	Klassifizierung des Brandverhaltens	84
3.6.5.	Definition der Brandwiderstandsklasse	85
3.7.	Statische Analyse	86
3.7.1.	Allgemeines	86
3.7.2.	Lastannahmen und Materialkennwerte	89
3.7.2.1.	Eigengewicht und Nutzlasten	89
3.7.2.2.	Schneelast	90
3.7.2.3.	Windlast	91
3.7.2.4.	Materialkennwerte	91

3.7.3.	Statische Analyse im Kaltzustand	94
3.7.3.1.	Belastungsannahmen	94
3.7.3.2.	Querkraftverlauf V_z	97
3.7.3.3.	Normalkraftverlauf N	97
3.7.3.4.	Momentenverlauf M_y	97
3.7.3.5.	Spannungsausnutzung	98
3.7.3.6.	Verformungen	98
3.7.4.	Interpretation der statischen Analyse	104
3.8.	Ergebnis und Interpretation der Bestandsanalyse	104
4.	Zusammenfassung.....	106
5.	Quellenverzeichnis.....	108

1. Einleitung

„*Aetas volat.*“

Cicero

(dt. Übers.: Die Zeit entflieht schnell.)

„*Tempus edax rerum.*“

Ovid

(dt. Übers.: Die Zeit nagt an den Dingen.)

Dies sind zwei Aussagen, welche uns historische Bauten vermutlich mitteilen würden, wenn sie denn sprechen könnten.

Seit Menschen Bauwerke errichten, beschäftigten sie sich in gewisser Weise auch mit der Analyse ihres Zustands und der Erhaltung bzw. Instandsetzung der Bausubstanz. Gewollt oder ungewollt, wissend oder unwissend, bewusst oder unbewusst, in irgendeiner Form setzt man sich immer damit auseinander, und trägt so zur Entwicklung des Bauwesens bei. Waren es zu Beginn die geübten Werkmeister mit ihren Erfahrungen, welche sich auf jahrhundertalte Handwerkstradition stützten, die mit der Errichtung und auch Erhaltung der Bauwerke begannen, so sind es in der heutigen Zeit umfassend geschulte Ingenieure, die, aufbauend auf diesem alten Wissen, sich mit diesen Themengebieten des Bauwesens beschäftigen.

Auf dem Gebiet der Bauwerkserhaltung bzw. Instandsetzung stellt eine umfassend durchgeführte Bestandsanalyse die Grundlage für die weiteren Schritte dar. Mit dieser Diplomarbeit habe ich es mir zur Aufgabe gemacht, das „Wohlbefinden“ bzw. den Zustand der hölzernen, barocken Dachstuhlkonstruktion des MuseumsQuartier Wien zu analysieren und zu bewerten. Aufbauend auf die Erkenntnisse und dem Wissen großer Handwerker und Ingenieure vor mir, habe ich mir das Ziel gesetzt, die „nonverbale Kommunikation“ dieser barocken Holzkonstruktion zu entschlüsseln und in Form dieser Diplomarbeit den Zustand dieses historischen Bauwerks zu veranschaulichen.

Der erste und theoretische Teil der Diplomarbeit (Punkt 2) beinhaltet einen ausgewählten Auszug aus dem Gebiet der Bestandsanalyse bzw. der Bauzustandserfassung alter Holzbauwerke. Basierend auf dem heutigen Stand der Technik wird in diesem Teil der Arbeit die Methodik für eine Bauzustandserfassung alter Holzbauwerke erläutert. Dabei werden Themengebiete wie die Schadensanalyse, die verschiedenen Schadensarten von Holzschädigungen und die Schadenserfassung erläutert.

Unter Punkt 3 wird eine Bestandsanalyse anhand des praktischen Beispiels, der barocken Dachkonstruktion des MuseumsQuartier Wien, durchgeführt. Unter anderem soll in diesem Teil der Diplomarbeit auch ein Überblick über den nun fast 300-jährigen Bestand des Bauwerkes gegeben werden. Dieser beginnt bei der geschichtlichen Entwicklung des MuseumsQuartier Wien und der Geschichte des „Barocken Dachstuhls“ und dessen Konstruktionsprinzips und reicht über eine Erfassung und Bewertung der vorhandenen Schadensbilder dieser Dachkonstruktion bis hin zu einer brandschutztechnischen und statischen Analyse.

An dieser Stelle sei jedoch erwähnt, dass über jeden der vorher genannten Themenbereiche, sowohl des theoretischen, als auch des praktischen Teils, eine eigene Arbeit verfasst hätte werden können. Eine vollständige Durchdringung der Materie dieser einzelnen Themenbereiche hätte den Rahmen dieser Diplomarbeit gesprengt. Aus diesem Grund beschränken sich meine Ausführungen zu diesen einzelnen Themenbereichen auf bewusst ausgewählte Beiträge, die mir als grundlegend und inhaltlich wertvoll erschienen sind.

2. Bauzustandserfassung alter Holzbauwerke

In diesem Kapitel soll ein umfassender Wissenstand zum Thema der Bauzustandserfassung alter Holzbauwerke mit Hilfe einschlägiger Fachliteratur nach heutigem Stand der Technik erörtert werden.

Aufgrund der Tatsache, dass Holz meistens als tragendes Element eingesetzt wird, ist es besonders wichtig, den Zustand des Materials, auch nach Fertigstellung der Konstruktion regelmäßig zu beurteilen. Schließlich hängt die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit und somit die Sicherheit eines Gebäudes vom Zustand der Holzkonstruktion ab. Eine Zustandserfassung und –beurteilung kann erforderlich sein:¹

- wenn die Ergebnisse einer periodischen Zustandsuntersuchung dies erfordern
- bei Ablauf der in einer früheren Beurteilung zugestandenen Restnutzungsdauer
- bei Bekannt werden von Bemessungs- oder Ausführungsmängel anlässlich einer geplanten Nutzungsänderung des Bauwerks
- bei Zweifeln an der Tragsicherheit, hervorgerufen durch sichtbare Schäden
- bei offensichtlich mangelhafter Gebrauchstauglichkeit
- wegen außerordentlicher Vorkommnisse während der Nutzung (wie z.B. Anprall von Fahrzeugen, Lawinen, Brand, Erdbeben, etc.), die das Tragwerk möglicherweise geschädigt haben könnten
- bei baustoff-, bauweisen- oder systembedingtem Verdacht auf mögliche Beeinträchtigung der Tragsicherheit
- wegen eines schlichten und zunächst unbegründeten Verdachts, den man ausräumen will

Für eine vollständige Beurteilung bzw. Zustandserfassung von Holzkonstruktionen sind vor allem folgende typische Schadensbereiche zu berücksichtigen bzw. zu erfassen:²

- schlecht belüftete Stellen

¹ Vgl. Bächle 2007, S. 1-1.

² Mönck 2004, S. 16 - 20.

- unbelüftete und unzugängliche Dachräume (z.B. bei ausgebauten Dächern)
- Stellen mit häufiger oder dauernder Feuchteinwirkung
- Konstruktionshölzer ohne oder mit nur unzureichendem Holzschutz
- Bauteile, bei denen die Grundsätze des baulichen Holzschutzes verletzt wurden
- Verbindungspunkte (z.B. Kopfbandanschlüsse, Kehlbalckenanschlüsse, etc.)
- Knotenpunkte mit großer Querschnittsschwächung
- Druckstäbe mit hohem Schlankheitsgrad und unzureichender Knicklast
- Aussteifungsverbände (z.B. Knick- und Windaussteifungen)
- Verbindungen gegen Windsog und Verankerungen
- Brettstäbe mit Astansammlungen, hohem Splintholzanteil und solchen, die wechselnden klimatischen Einflüssen ausgesetzt sind
- Dachfüße von Steildächern
- Grundswellen, Ständerfüße, Balkenköpfe, Ausfachungen und Stabanschlüsse bei Fachwerkwänden
- Dachdurchbrüche aller Art (z.B. Dachflächenfenster, Kamine, etc.)
- ältere Hängewerke

2.1. Schadensanalyse

Um die Erhaltungswürdigkeit eines historischen Bauwerkes zu prüfen, ist eine fundierte Bauzustandsuntersuchung, eine Erfassung und Dokumentation der Schäden möglichst in der Vorplanungsphase durchzuführen, um im Anschluss eine qualitativ hochwertige Genehmigungs- und Ausführungsplanung erstellen zu können.

Die Schadensanalyse dient dazu, das tatsächliche Ausmaß einer Schädigung festzustellen und Schadensursachen zu erkennen, um Wege zur Schadensbehebung aufzeigen zu

können. Dieses Vorgehen schließt eine exakte Lokalisierung und Erfassung der Schäden mit ein.³

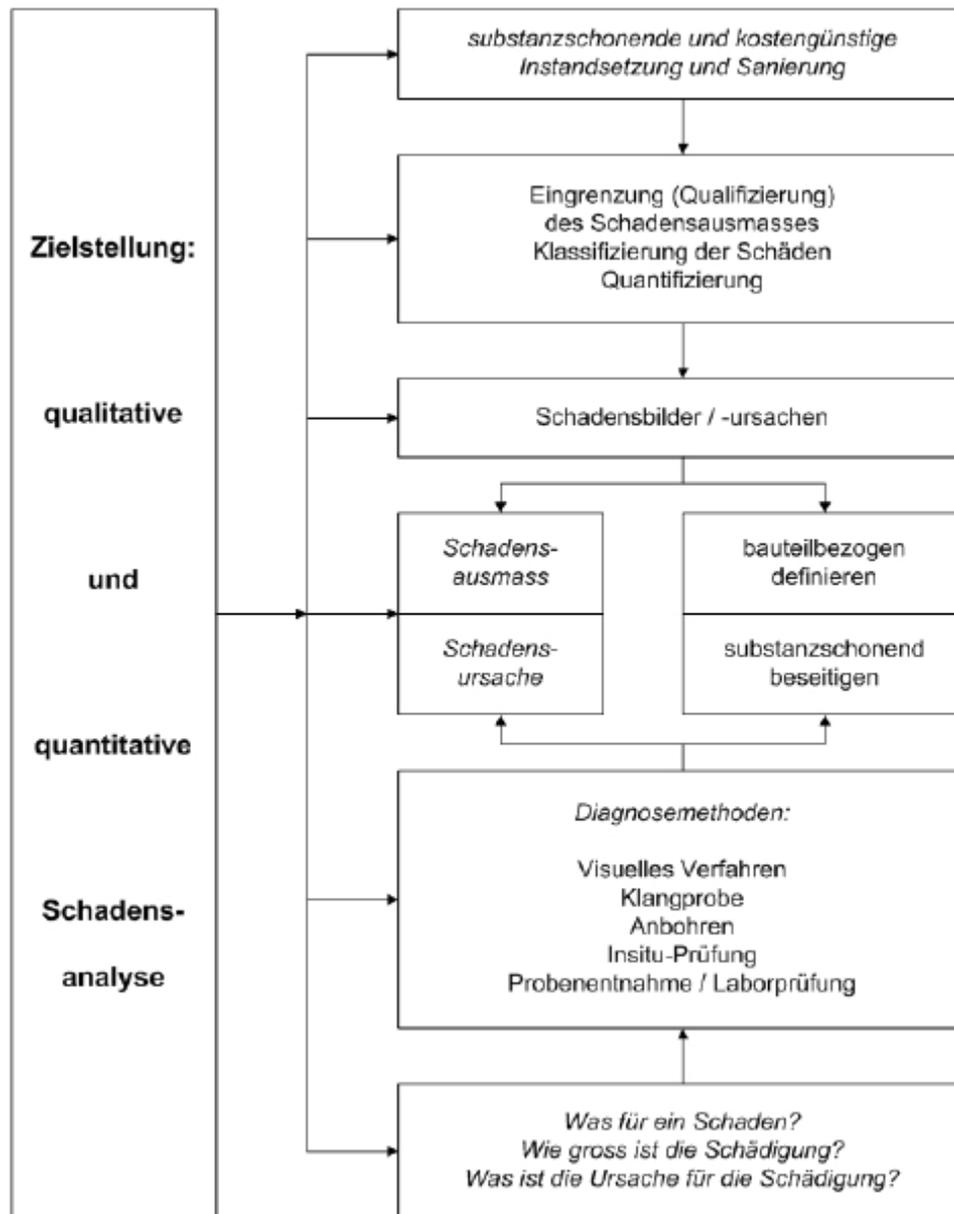


Abbildung 1: Ziel der Schadensanalyse (Quelle: Lißner, Rug 2000)

Die genaue und vollständige Erfassung der Schadensbilder erfolgt hauptsächlich durch visuelle Untersuchungen vor Ort und unter zur Hilfenahme vertiefender Untersuchungsverfahren zur Schadensermittlung und –lokalisierung. Letztere stellen z.B. zerstörungsarme bzw. –freie Diagnosetechniken und Probeentnahmen für spätere

³ Vgl. Bächle 2007, S. 3-1.

Laboruntersuchungen dar. In der Praxis hat sich ein methodisches Vorgehen bei der Schadensanalyse von historischen Bauwerken bewährt. Dabei sind im Wesentlichen vier Arbeitsschritte auszuführen:⁴

1. Erfassung des Bauzustandes

Hierbei wird die Bau- und Nutzungsgeschichte des Bauwerkes sowie der Charakter und das Ausmaß der Schäden analysiert. Es wird eine Dokumentation und eine Kartierung der Schäden vorgenommen und Bestandsunterlagen erstellt. Diese Bestandsunterlagen sind auch für das Baugenehmigungsverfahren von Wichtigkeit.

2. Ermittlung der Schadensursachen

Dieser Punkt hat eine hohe Wichtigkeit, denn dabei soll eine zweifelsfreie Beurteilung der Auswirkung der Schäden und Mängel auf die Standsicherheit und Funktions- bzw. Nutzungsfähigkeit der Bauteile, Verbindungen sowie des gesamten Bauwerkes durchgeführt werden.

3. Bewertung des Bauzustandes

Dabei wird das Bauwerk bzw. einzelne Elemente in Hinblick auf die tatsächliche Sicherheit und Nutzungsfähigkeit bewertet. Hierfür sind die gültigen Baunormen zu beachten und die modernen bzw. zukünftigen Nutzungsansprüche des Bauherrn zu berücksichtigen.

4. Ausführungsplanung

Im Anschluss an die oben angeführten Schritte der Bestandsaufnahme stellt die Ausführungsplanung eine Erarbeitung der projekttechnischen Lösungen für die Instandsetzung, Verstärkung oder umfassende Sanierung der Konstruktion dar.

Der Zusammenhang von Ursache → Schaden (Art, Erscheinung) → Folgen, Auswirkung ist bei der Bauzustandsanalyse zu erkennen und auszuwerten.⁵

⁴ Lißner 2000, S. 94 - 98.

⁵ Lißner 2000, S. 94 - 98.

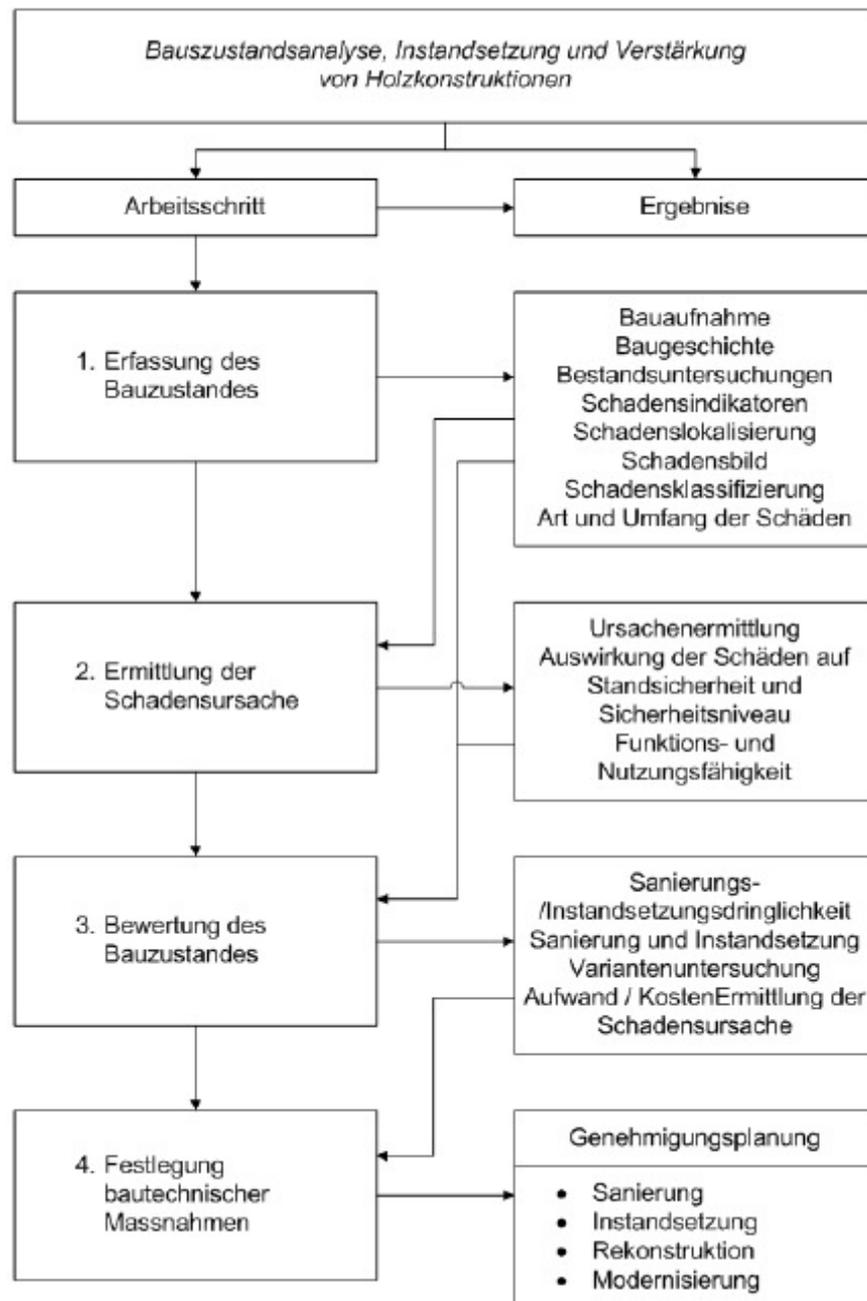


Abbildung 2: Methodik der Bauzustandsanalyse (Quelle: Bächle 2007)

2.2. Schadensarten von Holzschädigungen

Entsprechend ihrer Ursachen kann eine Klassifizierung der typischen Schadensarten am Holz vorgenommen werden. Die Hauptursachen für Holzschädigungen stellen Feuchte- und Wetterbeanspruchungen, hohe thermische Beanspruchungen sowie mechanische und

chemische Einflüsse dar. Auf Grund derer kommt es infolge zu typischen Schädigungen, die zum Abbau und der Zerstörung des Holzgefüges bzw. der Holzsubstanz führen.⁶

Es werden folgende Schäden an Holzkonstruktionen unterschieden:⁷

- I. biologische Einflüsse
- II. chemische Einflüsse
- III. mechanische Einflüsse
- IV. bauphysikalische Einflüsse und Durchfeuchtung
- V. sonstige Einflüsse.

Nachfolgende Abbildung zeigt die Verteilung der o.a. Schadensgruppen bei Holzkonstruktionen:



Abbildung 3: Verteilung der Schadensgruppen bei Holzkonstruktionen (Quelle: Bächle 2007)

Weiters unterscheidet Mönck (Schäden an Holzkonstruktionen 2004)⁸ Schäden an der untersuchten Konstruktion in sichtbare und verdeckte Bauschäden.

⁶ ÖNORM B 3802-1, 1995, S. 2.

⁷ Vgl. Bächle 2007, S. 3-12.

⁸ Vgl. Mönck 2004, S. 18.

Tabelle 1: Sichtbare und verdeckte Bauschäden (Quelle: Mönck 2004)

Sichtbare Bauschäden	Verdeckte Bauschäden
Verformungen, Durchbiegungen, Verdrehungen, Ausknicken, Verschiebungen oder Schiefstellung von Bauteilen oder Bindern	Güte und Beschaffenheit der Baustoffe
Gebrochene oder beschädigte Bauteile, Verbindungen, Verankerungen, Aussteifungsverbände	Schadigungsgrad, z.B. bei chemischen Einwirkungen, innere Holzrisse, verdeckte Holzfäulnis (z.B. Balkenköpfe)
Holzfäulnis	Verdeckte Holzerstörungen durch Insekten
Korrosionsschäden an Stahlteilen	Korrosionsschäden von Verbindungsmitteln in verdeckt liegenden Teilen
Lose Trag- und Klemmschrauben	Brüche in Verbindungen oder Anschlüssen
Wirkungslose Kopfbänder, Binde- oder Zwischenhölzer, Windböcke	Ermüdung unzugänglicher Bauteile infolge dynamischer Beanspruchung
Äussere Holzrisse, z.B. Schwindrisse	Herabgesetzte Wärmedämmfähigkeit (Kondenswasser)

Zusätzlich wird eine wichtige Einteilung der Schäden nach Tendenz ihrer Ausbreitung getroffen.⁹

Tabelle 2: Schadenseinteilung nach Tendenz zur Ausbreitung (Quelle: Mönck 2004)

Schäden ohne Tendenz zur Ausbreitung	Schäden mit Tendenz zur Ausbreitung
Der Reparaturaufwand ist unabhängig vom Reparaturzeitpunkt	Der Reparaturaufwand steigt im Zeitverlauf nach einer exponentiellen Funktion an
Brüche von Bauteilen ohne statische Funktion	Dachundichtigkeiten (Feuchtigkeit)
Mechanische Beschädigungen, solange Standsicherheit nicht gefährdet	Holzfäulnis (z.B. Echter Hausschwamm)
Fehlender Wärme- und Schallschutz	Schäden an Dachentwässerung
Bauteilschwächungen	Schäden an Aussteifungsverbänden

⁹ Vgl. Mönck 2004, S. 18.

2.2.1. Biologische Schädigung

Festgestellte biologische Schädigungen des Holzes an historischen Konstruktionen sind in fast allen Fällen in direktem Zusammenhang mit der Bauteildurchfeuchtung zu sehen.¹⁰

2.2.1.1. Pilze

Pilze sind relativ einfach aufgebaut. Ihr Vegetationskörper besteht aus einem Geflecht von band- oder röhrenförmigen Zellfäden, welche als Hyphen bezeichnet werden. Die Hyphen in ihrer Gesamtheit werden Myzel genannt. Das Myzel bzw. die Hyphen versorgen den Pilz mit Nährstoffen. Durch Ausscheiden von Enzymen werden je nach Pilzart entweder Zellinhaltsstoffe (Zucker, Stärke) aufgeschlossen oder Zellwandsubstanzen (Zellulose, Lignin, Polyosen) aufgelöst und zur Ernährung verwendet. Daher stellt das Myzel bzw. die Hyphen den eigentlichen Schädling dar.

Der Fruchtkörper stellt jenen Teil des Pilzes dar, der für die Fortpflanzung zuständig ist. Aufgrund der charakteristischen Form, Größe und Farbe des Fruchtkörpers dienen diese als Bestimmungsmerkmal der Pilzart.

Die Fortpflanzung der Pilze kann sowohl geschlechtlich als auch ungeschlechtlich erfolgen. Die geschlechtliche Fortpflanzung findet durch im Inneren erzeugte Sporen statt. Durch Wind oder durch Transporte auf Tier, Mensch oder Material werden die Sporen verbreitet. Pilzsporen weisen eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturextreme auf und keimen erst unter geeigneten Bedingungen. Durch eine Abschnürung von Hyphen aus diesen Myzelteilen kann sich ein neues, eigenständiges Myzel bilden, dies stellt die ungeschlechtliche Vermehrung der Pilze dar.

Im Falle einer ungenügenden Sanierung, bei der die Myzelteile nicht vollständig entfernt wurden, kann diese Art der Fortpflanzung zum erneuten Auftreten von Pilzen führen. Durch das Auftreten von Fruchtkörpern an der Oberfläche des Holzes wird ein fortgeschrittener Befall mit entsprechend starken inneren Holzerstörungen signalisiert.¹¹

¹⁰ Vgl. Bächle 2007, S. 3-13.

¹¹ Vgl. Bächle 2007, S. 3-14 bis 3-18.

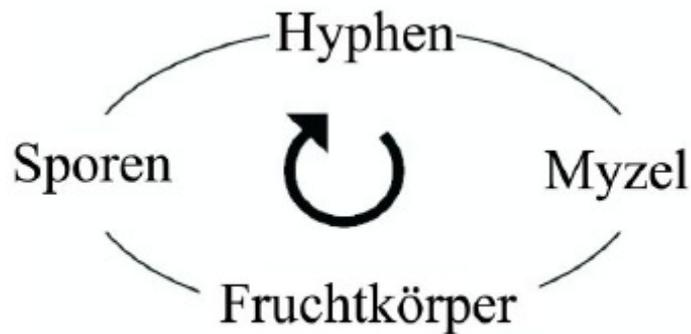


Abbildung 4: Entwicklungskreislauf von Pilzen (Quelle: Bächle 2007)

Nachfolgende Tabelle zeigt die Feuchtigkeits- und Temperaturansprüche der wichtigsten Bauholzpilze.

Tabelle 3: Feuchtigkeits- und Temperaturansprüche der wichtigsten Bauholzpilze (Quelle: Bächle 2007)

Typ des Schädlings	Charaktereistische Vertreter	Holzfeuchtigkeit [%]	Temperatur [°C]	Temperatur-optimum [°C]
Holzverfärbende Pilze	Bläuepilze Schimmelpilze	über Fasersättigung	15...35 0...50	
Holzerstörende Pilze:				
Braunfäule	Echter Hausschwamm	Entstehung: 30...40 Weiterwachstum: ≤ 20	3...26	18...22
	Kellerschwamm	50...60	3...35	22...24
	Weisser Porenschwamm	40 (30...50)	3...36	27
	Tannenblättling	38 (50...60)	5...36	29.5
	Zaunblättling	38 (50...60)	5...44	32...35
Weißfäule	Schmetterlingsporling	≥20		
Moderfäule	Moderfäuleerreger	≥ 30		

Laut ÖNORM B 3801¹² wird häufig zwischen holzverfärbenden und holzerstörenden Pilzen unterschieden.

Holzverfärbende Pilze sind solche, die das Holz nicht zerstören sondern nur optisch beeinflussen. Dazu zählen Bläue- und Schimmelpilze. Bei holzerstörenden Pilzen führt ein unterschiedliches Angriffsvermögen auf das Holz zu unterschiedlichen Fäuletypen. Dabei werden zwei Hauptgruppen von Fäulen unterschieden: Braunfäule und Weißfäule. Für Holzkonstruktionen sind insbesondere die Braunfäuleerreger von großer Bedeutung. Weiters ist auch der Fäuletyp der Moderfäule von Wichtigkeit.

Zu den typischen Vertretern der Braunfäule zählen: der Echte Hausschwamm, Kellerschwamm, Weißer Porenschwamm, sowie die Blättlinge. Die drei Erstgenannten zählen zu den gefährlichsten Zerstörern von verbautem Holz.¹³

Die Moderfäule kann bei Hölzern, die sich im ständigen Wasser- oder Erdkontakt befinden, auftreten.¹⁴

Zerstörende Holzpilze lösen die Struktur und die festigkeitsbildenden Bestandteile wie Cellulose und Lignin auf, sie wandeln die organische Substanz um, sie bauen das Holz ab. Für diesen Vorgang sind folgende Bedingungen nötig:

- eine Infektion durch Sporen
- ein geeignetes Substrat und
- Feuchtigkeit.

Dunkelheit oder diffuses Licht und feuchte Luft, das sind die Rahmenbedingungen welche von den holzerstörenden Hauspilzen bevorzugt werden.¹⁵

Die ÖNORM B 3802-3 (2003) formuliert folgendes zum Thema Pilzbefall: *„Ein Pilzbefall ist an besondere klimatische Verhältnisse gebunden. Er tritt gewöhnlich dann auf, wenn die Holzfeuchtigkeit langfristig oder regelmäßig 20 % übersteigt und auch geeignete Temperaturen, gewöhnlich zwischen 5 °C und 25 °C, vorliegen.“*¹⁶

¹² Vgl. ÖNORM B 3801, 2009, S. 17.

¹³ Vgl. Erler 1993, S. 53 - 59.

¹⁴ Vgl. Bächle 2007, S. 3-14 bis 3-18.

¹⁵ Vgl. Erler 1993, S. 53 - 59.

¹⁶ ÖNORM B 3802-3, 2003, S. 4.

Die wichtigsten holzerstörenden Pilze sowie deren Lebensbedingungen und Schadensbilder werden wie folgt charakterisiert:¹⁷

- **Hausschwamm-Arten**

Der häufigste und gleichzeitig gefährlichste Holzerstörer in unseren Gebäuden ist der echte Hausschwamm (*Serpula lacrimans*). Durch folgende Eigenschaften wird die Gefährlichkeit des Hausschwamms charakterisiert:

- Sein Myzel kann einige Meter weit wachsen, ohne Substrat vorzufinden und zieht selbst Feuchtigkeit nach.
- Mauerwerk wird von ihm durchwachsen, nicht nur der Fugenmörtel sondern auch die Ziegelsteine.
- Der Hausschwamm zerstört sehr zügig und kann auch nach längeren Trockenzeiten wieder vital bzw. aktiv werden.

Als Schadensbild am Holz weist der Hausschwamm Braunfäule, großen Würfelbruch und Verkrümmungen von Brettern auf.

- **Brauner Keller- oder Warzenschwamm**

Die bevorzugte Holzart dieses Schadpilzes ist Nadelholz mit sehr hohem Grad an Feuchte. Er weist ein sehr dünnes, schwarzes, nicht häufig auftretendes Myzel auf. Das Erscheinungsbild seiner Fruchtkörper gleicht dünnen dunkelbraunen Häuten, welche oft mit Buckeln und Warzen versehen sind. Sein Schadensbild zeichnet sich durch Braunfäule mit mittelgroßem Würfelbruch ab.

- **Weißer Porenschwamm**

Der weiße Porenschwamm befällt bevorzugt Nadelhölzer. Der Grad der erforderlichen Holzfeuchte liegt niedriger als beim Braunen Kellerschwamm. Das Erscheinungsbild dieses Pilzes ist weiß, sowohl Hyphen, Myzel als auch Fruchtkörper. Das ausgeprägte eisblumenartige Oberflächenmyzel ist ein markantes Kennzeichen des Weißen Porenschwamms.

- **Blättlinge**

¹⁷ Vgl. Erler 1993, S. 53 - 59.

Blättlinge sind holzerstörende Pilze, welche vor allem eine Innenfäule des Holzes bewirken. Diese Art der Holzerstörung ist besonders gefährlich, weil sie meist erst in einem fortgeschrittenen Stadium der Zerstörung erkannt wird. Blättlinge zerstören Nadelhölzer und verursachen eine Braunfäule im Inneren der Hölzer. Ein typisches Schadensbild ist ein jahresringförmiges Auseinanderfallen der Hölzer. Die Sporen der Blättlinge keimen vorwiegend in Fugen oder Schwindrissen, auch die Fruchtkörper können aus Rissen an die Oberfläche drängen.

2.2.1.2. Holzerstörende Insekten

Holzerstörende Insekten können Bauteile aus Holz in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigen oder sogar zerstören. Eine Zerstörung der Holzkonstruktion durch Insektenfraß kann wirtschaftlich schwerwiegend und unwiederbringlich sein. Nicht die Käfer oder Holzwespen an sich sind dabei die Holzerstörer sondern deren Larven, die sich während ihrer Entwicklung durch das Holz fressen.

Man unterscheidet zwei Gruppen von Holzinsekten: die Frischholzinsekten und die Trockenholzinsekten. Wobei die Trockenholzinsekten als die Bauholzschädlinge im eigentlichen Sinne betrachtet werden können.¹⁸

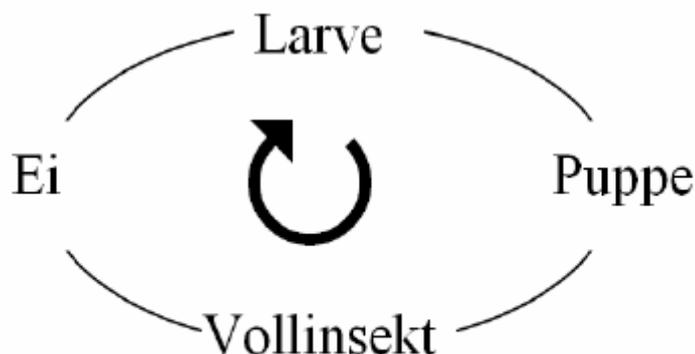


Abbildung 5: Entwicklungskreislauf von Insekten (Quelle: Bächle 2007)

Zur Einschätzung der Schadensintensität von holzerstörenden Insekten im Bauholz müssen die wesentlichen Arten der Holzschädlinge erkannt werden. Ein wichtiges Merkmal zur Bestimmung der Art stellen die Fraßgewohnheiten dar. Aufgrund der unterschiedlichen

¹⁸ Bächle 2007, S. 3-19.

Fraßgewohnheiten und damit auch unterschiedlichen Fraßbilder der einzelnen Holzinsekten kann die Art des Insekts festgestellt werden.

Die Fraßgänge, die die Larven über Jahre hinweg anlegen, führen zur Holzschwächung. Den Larven dient das zerkleinerte Holz als Nahrung. Die vorgefundenen Nagsl und ausgeschiedenen Teile, welche artenspezifisch sind, können zur Artenbestimmung herangezogen werden.

Der Käfer durchläuft folgende Entwicklungsstufen: Ei – Larve – Puppe – Vollinsekt (siehe Abb. 5). Die Larven verpuppen sich nach langer Fraßzeit meist unmittelbar unter der Holzoberfläche und der Käfer durchstößt die dünne Deckschicht. Die dadurch entstehenden Ausfluglöcher stellen durch ihre Form und Größe ebenfalls ein Erkennungsmerkmal der Insektenart da.

Eine Feststellung, ob ein toter oder lebender Befall vorliegt, erweist sich als schwierig.

Kohlenhydrate und Eiweiß als Nahrung sowie ein gewisses Maß an Holzfeuchte sind die benötigten Lebensbedingungen der Käferlarven. Die bevorzugte Holzfeuchte kann erheblich niedriger liegen als bei Holzpilzen. Die untere Grenze der Holzfeuchte liegt bei ungefähr $u = 10\%$, ihr Optimum liegt zwischen $20\% - 30\%$ Holzfeuchte. Die vorhandene Temperatur hat Auswirkungen auf das Nageverhalten der Larven. Die Nageaktivität der Larven beginnt bei ca. $+15\text{ °C}$ und endet bei ca. $+36\text{ °C}$.¹⁹

Im nun Folgenden werden die wesentlichen Arten der Holzinsekten kurz erläutert:

- **Hausbock**

Der Hausbock zählt zu den fraßintensivsten Holzkäfern. Er befällt das Splintholz von Nadelhölzern. Diese Eigenschaft ist für die Resttragfähigkeit von Holzbauteilen von Bedeutung. Oft ist die Tragfähigkeit der Restquerschnitte ausreichend, nachdem die zerfressenen Teile des Querschnitts abgeschlagen wurden. Der Hausbock hinterlässt markante ovale Fluglöcher im Ausmaß von ca. $4 \times 7\text{ mm}$ und produziert ca. $5 - 7\text{ mm}$ breite Fraßgänge.

- **Gewöhnlicher Nagekäfer**

Dieses Holzinsekt ernährt sich sowohl von Laub- als auch von Nadelhölzern. Er bevorzugt das Splintholz, kann aber auch Kernholz durchnagen. Diese Spezies befällt bei Holzfeuchten über 12% alle Holzgegenstände, angefangen von Deckenbalken bis hin zu Möbeln. Der Käfer durchzieht das Holz völlig mit sich kreuzenden Fraßgängen, wobei die Gänge mit Bohrmehl verstopft werden. Er

¹⁹ Vgl. Erler 1993, S. 60 - 62.

hinterlässt zahlreiche kreisrunde Ausfluglöcher mit geringem Durchmesser von ca. 2 mm.

- **Trotzkopf**

Der Troitzkopf ist ein holzerstörendes Insekt, welches vorwiegend feuchtes und bereits pilzdurchwachsenes Nadelholz befällt. Seine Fraßgänge sind ca. 3 mm breit und er verursacht kreisrunde, ca. 3 - 4 mm große Fluglöcher.

- **Gescheckter oder Bunter Nagekäfer**

Dieser Nagekäfer ist der Einzige, der Klopfgeräusche erzeugen kann. Er bevorzugt deutlich pilzbefallenes Holz, jedoch vorwiegend Eichenholz. Auch diese Spezies weist ähnlich wie der Troitzkopf kreisrunde Fluglöcher auf, welche einen Durchmesser von ca. 3 - 4 mm haben.²⁰

Die natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz gegenüber o. a. Schädlingen ist in der ÖNORM EN 350-2²¹ festgelegt. Darin werden ausgewählte Holzarten, die in Europa von besonderer Bedeutung sind, angeführt. Dabei unterscheidet diese Norm folgende Klassifikationen:

- natürliche Dauerhaftigkeit gegen holzerstörende Pilze
- natürliche Dauerhaftigkeit gegen Käfer
- natürliche Dauerhaftigkeit gegen Termiten
- natürliche Dauerhaftigkeit gegen Holzschädlinge im Meerwasser

Weiters wird auf die Tränkbarkeit hinsichtlich Holzschutzmittel eine Klassifikation vorgenommen und Angaben zum Splint- bzw. Kernholz der einzelnen Holzarten angegeben.

2.2.2. Chemische Schädigung des Holzes

Die anzutreffenden Verfärbungen sind meiner Meinung nach in das Anfangsstadium der Holzkorrosion einzuordnen. Den Begriff der Holzkorrosion erläutert Erler wie folgt:

²⁰ Vgl. Erler 1993, S. 60 - 62.

²¹ ÖNORM EN 350-2, 1994, S. 3 - 5.

*„Holzkorrosion ist die von der Oberfläche ausgehende Schädigung bzw. Zerstörung des Holzes infolge chemischer und / oder chemisch-physikalischer Reaktion bei Wechselwirkung mit seiner Umgebung“.*²²

Ähnlich wie bei der Korrosion anderer Baustoffe sind auch hier Formulierungen wie „von der Oberfläche ausgehend“ und „unter Beteiligung von chemischen Reaktionen“ in der Definition der Holzkorrosion maßgebend. Aufgrund der Tatsache, dass sich eine Holzkonstruktion in nahezu vollkommenem chemischem Gleichgewicht mit seiner natürlichen Umgebung befindet, ist die Lebensdauer von hölzernen Konstruktionen bei normaler Luftfeuchte sehr hoch. Holz weist eine hohe Widerstandskraft gegen chemische Angriffe auf und ist aufgrund dieser hohen Resistenz ein geeigneter Konstruktionswerkstoff für die chemische Industrie und in der Landwirtschaft. Die Holzkorrosion tritt erst nach längeren Zeiträumen unter starken chemischen Einwirkungen auf. Von der Oberfläche aus schreitet die zerstörende Wirkung der Holzkorrosion nur langsam nach innen fort. Da Holz ein korrosionsträger Baustoff ist, weisen Holzkonstruktionen eine längere Nutzungsdauer bei korrosionsfördernden Einflüssen wie hoher Luftfeuchtigkeit und aggressiven Medien auf als Bauteile aus Stahl oder Beton.

Es werden folgende Arten der Korrosion bei Holz unterschieden:²³

- Chemischer Abbau von Holzbestandteilen

Das Lignin und die Hemizellulosen werden durch die meisten auftretenden Agenzien stärker abgebaut als die Zellulose. Das Kernholz wird wesentlich langsamer abgebaut als das Splintholz, dies ist auf die Struktur und die Zusammensetzung des Holzes zurückzuführen. Generell nimmt die Zerstörungsrate mit zunehmender Tiefe von der Oberfläche aus ab. Durch die meisten chemischen Agenzien wird das Nadelholz langsamer zerstört als das Laubholz.

- Mechanische Zerstörung

Durch die Sorptionseigenschaften des Holzes kommt es zu einer Aufnahme von Wasser aus der Umgebung. Die Wasseraufnahme erfolgt in Form von hoher Luftfeuchte, Gasen und Lösungen, auch gelösten Salzen, die die Zellsubstanz zur Quellung bzw. bei Feuchteabnahme zur Volumenminderung bringt. Die zerstörende Wirkung solcher Vorgänge erhöht sich bei häufigem Wechsel dieser Vorgänge oder bei der Einlagerung stark hygroskopischer Stoffe. Dabei kommt es zu physikalischen

²² Erler 1993, S. 65

²³ Vgl. Erler 1993, S. 66 - 74.

Veränderungen in der Zellsubstanz, die starken Quellungen und eingedrungenen Kristalle zerstören den Zellverband oder die Zellwände des Holzes. So kommt es oft zum streifenartigen Lösen des Holzes.

- Auslaugung

Bei diesem Prozess kommt es zum Herauslösen von Substanzen, z.B. Nebenbestandteilen, wie Mineralien, Harze, Alkohole, Stärke u. ä., durch Wasser, besonders bei hohen Temperaturen. Bei Baukonstruktionen tritt die Auslaugung selten, nur bei entsprechender Produktionstechnologie oder ständig unter Wasser in Erscheinung.

Eine spezielle Form der Holzkorrosion wird als **Mazeration** bezeichnet. Diese Art der Holzkorrosion ist bei alten Dächern mit Dachziegel-Eindeckung zu beobachten. Dabei sind die Stoffe der Salzbildungen aus dem Dachziegelmaterial bzw. dem Verstrichmörtel, die infolge Durchfeuchtung oder über feuchte Luft in die Holzbauteile eindringen, maßgebend. Schwefeldioxid, welches durch Luftverschmutzungen z.B. aufgrund erhöhten Verkehrsaufkommens auftritt, kann diesen Effekt der Holzkorrosion zusätzlich verstärken.²⁴

2.2.2.1. Holzschutzmaßnahmen

Zum Abschluss des Kapitels der Holzschädigungen soll in diesem Kapitel in aller Kürze auf Holzschutzmaßnahmen hinsichtlich der vorher angeführten Schädigungen eingegangen werden.

Laut ÖNORM B 3801²⁵ (2009) werden folgende Holzschutzmaßnahmen unterschieden:

- vorbeugende Holzschutzmaßnahmen
 - bauliche Holzschutzmaßnahmen
 - chemische Holzschutzmaßnahmen
- nachpflegende Holzschutzmaßnahmen
- bekämpfende Holzschutzmaßnahmen

²⁴ Vgl. Erler 1993, S. 66 - 74.

²⁵ ÖNORM B 3801, 2009, S. 11 - 13.

- mechanische Holzschutzmaßnahmen
- physikalische Holzschutzmaßnahmen
- chemische Holzschutzmaßnahmen

In der ÖNORM B 3802-2 (1988) werden die Umgebungsbedingungen, denen Holzbauteile während der Verwendung ausgesetzt werden können, durch Gefährdungsklassen beschrieben. Es werden dabei Gefährdungsklassen von 0 bis 4 unterschieden. Wenn das Holz in trockenem Wohnbereich eingesetzt wird, liegt Gefährdungsklasse 0 vor. Wenn die Holzfeuchtigkeit im untersuchten Bauteil ständig über 20 % liegt, das Holz in ständigem Erd- und/oder dauerndem Wasserkontakt steht, liegt die Gefährdungsklasse 4 vor. Aufgrund der Einstufung in die Gefährdungsklasse kann eine Auswahl von Holzschutzmitteln eingesetzt werden. In der Gefährdungsklasse 0 sind keine chemischen Holzschutzmaßnahmen erforderlich.²⁶

2.2.3. Mechanische Schädigung des Holzes

Vor allem durch statische oder dynamische Überlastungen und ungeplante Beanspruchungen aus der Nutzung heraus werden mechanische Schädigungen verursacht. Es werden folgende mechanisch bedingte Erscheinungen bei Holzbauwerken unterschieden:²⁷

1. Formänderungen

- größere Durchbiegungen durch hohe Dauerlasten, gelockerte Verbindungen und geschädigtes Holz
- Verbiegungen
- Verdrehungen infolge Torsionsbeanspruchung
- Schrägstellungen von Stützen, Bindern und Wänden durch mangelhafte Aussteifung bzw. gelöste Verbindungen

2. Lageänderungen

²⁶ ÖNORM B 3802-2, 1988, S. 2 - 6.

²⁷ Vgl. Bächle 2007, S. 3-22.

- Verschiebungen infolge von Seiten- oder Sogkräften

3. Risse

- tiefe Schwindrisse
- Lastrisse infolge von Überlastung, an Einkerbungen oder durch Verbindungsmittel
- hohe Quersugbeanspruchung bei BSH-Trägern

4. Querschnittsänderungen

- Astlöcher, Kerben, Ausklinkungen, Bohrlöcher
- die Querschnittsschwächungen sind dabei in Auflagernähe nicht so relevant als in Feldmitte

5. Brüche

- langfasriges Bruchbild (entsteht meist durch Überlastung)
- kurzfasriges Bruchbild (entsteht meist durch thermische oder chemische Einwirkungen und zum Teil durch schlechte Holzqualität)

Im Holzbau treten Brüche nur relativ selten auf. Überlastungen oder Zwängungen kündigen sich meist durch Knacken, Knistern und auch große Formänderungen an, daher kann eine Abstützung meist rechtzeitig vorgenommen werden.

Für Risse werden folgende Kategorien unterschieden:²⁸

- Entstehung vor dem Einbau (z.B. Frostrisse)
- Schwindrisse (bilden sich vor oder nach dem Einbau)
- Lastrisse (Quersug-, Scher-, Spalt- und Schubrisse)

Als einen Hauptgrund für Rissbildung bei Holzkonstruktionen nennt Erler die erheblich unterschiedlichen Schwindmaße radial und tangential zu den Jahresringen. Bei Nadelholz ist das Schwindmaß in tangentialer Richtung mehr als doppelt so groß wie das Schwindmaß in radialer Richtung.

²⁸ Vgl. Bächle 2007, S. 3-22.

Tritt eine direkte Wetterbeanspruchung mit häufigem Wechsel von Einstrahlungswärme und Feuchtigkeit auf, so hat dies einen verstärkenden Effekt auf die Rissbildung von Holzquerschnitten.

Folgende Faktoren haben Einfluss auf die Größe von Schwindrissen in Holzbauteilen:²⁹

- die Lage des Kerns bzw. des Markes im Bauteilquerschnitt
- die Art und der Verlauf der Trocknung
- die Bedingungen während der Nutzung

Auswirkungen von Schwindrissen auf die Tragfähigkeit von alten Holzkonstruktionen sind aufgrund von Erfahrungen eher gering, wenn sie eine „normale Tiefe“ nicht überschreiten. Diese Auswirkungen wurden bisher in keiner Vorschrift oder ähnlichem erfasst.³⁰

Erler macht bzgl. der Rissbeurteilung, vor allem zur Einordnung unbedenklicher Risstiefen nach Lage im Querschnitt und Beanspruchungsart, folgenden Vorschlag:

1. *„Der Einfluss von Schwindrissen auf die Tragfähigkeit von Holzbauteilen ist nach der Hauptbeanspruchung des Bauteiles (Biegung, Schub, Knicken) zu differenzieren.*
2. *Die Lage der Risse im Holzquerschnitt in Beziehung zur Lastrichtung ist bei Biegung und Schub wesentlich und ist zu berücksichtigen.*
3. *Die Festlegung von unbedenklichen Risstiefen ist vertretbar und stellt eine wertvolle Hilfe bei Bestandsanalysen dar. Diese Risstiefenangaben müssen in Abhängigkeit von Beanspruchungsart des Bauteils und Lage der Risse im Holzquerschnitt zur Lastrichtung erfolgen.*

Es wird vorgeschlagen für unbedenkliche Risstiefen t

bei Biegung $t \leq 0,7h$

$t \leq 0,6b$

bei Schub $t \leq 0,7h$

$t \leq 0,5b$

²⁹ Vgl. Erler 1993, S. 62 - 63.

³⁰ Vgl. Erler 1993, S. 62 - 63.

h = Bauteilhöhe, b = Bauteilbreite.

Dabei sind die größten Risstiefen t möglich als Einzelriss oder als Summe der Risstiefen etwa gegenüberliegender Risse.

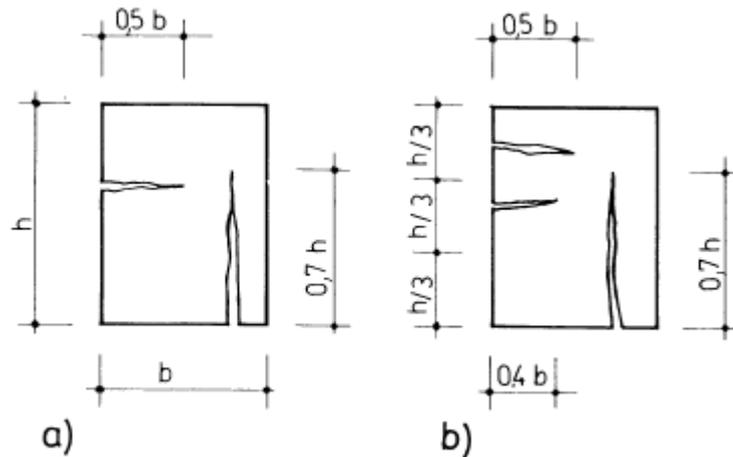


Abbildung 6: Zusammenstellung der größten unbedenklichen Risstiefen
(nicht in einer Querschnittsebene liegend) a) Biegung; b) Schub (Quelle: Erler 1993)

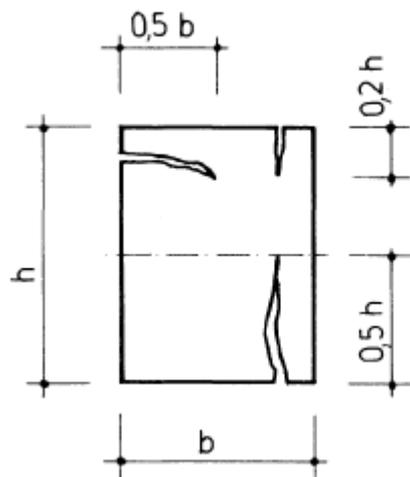


Abbildung 7: Beispiel für zulässige Risse in einer Querschnittsebene (Quelle: Erler 1993)

4. Werden die unbedenklichen größten Risstiefen überschritten, ist eine Beurteilung des jeweiligen Falls von einem erfahrenen Fachmann durchzuführen. Der Gefährdungsgrad und der Einfluss der Minderung der Querschnittswerte sind dann abhängig von der Beanspruchungsart und der Lage der Risse nachzuweisen.
5. Besonders zu beachten sind Risse im Bereich der Holzschwächungen und Verbindungsmitteln. Von hier gehen meist größere Gefahren aus (Aufspalten, Vorholz-Reißen) als von Rissen im übrigen Bereich.“

Auch die durchgehende Länge der Risse spielt für die Tragfähigkeit des Bauteils eine Rolle. Als Grenze für unbedenkliche Risslängen wird $l/3$ vorgeschlagen, wobei l die Stablänge ist.³¹

Die ÖNORM EN 14081-1³² (Tabelle A.1, Seite 17) schreibt vor, dass Risse, welche die Festigkeit, z.B. die Schubfestigkeit eines Balkens, wesentlich beeinträchtigen, zu begrenzen oder andernfalls außer Acht zu lassen sind. Dabei können Risse mit einer Tiefe kleiner als die halbe Dicke vernachlässigt werden.

2.2.4. Durchfeuchtung und bauphysikalische Einflüsse

Durch die Einwirkung von Feuchtigkeit auf Holzbauteile kann es zu starken Einflüssen auf wichtige Eigenschaften des Holzes kommen. In der Zellsubstanz und auch in Form von Zellhohlräumen weist Holz ein großes Porenvolumen auf. Diese poröse Struktur von Holz hat Einfluss darauf, dass sich der Feuchtegehalt des Baustoffs an die Umgebungsfeuchte anpasst. Bei einer Wasseraufnahme ist dieser Prozess mit einer Gewichts- und Volumenzunahme (Quellen) verbunden, bei einer Wasserabgabe mit einer Gewichts- und Volumenabnahme (Schwinden). Durch die auftretende Holzfeuchte in den Bauteilen werden folgende Eigenschaften wesentlich beeinflusst:³³

- **Abnahme aller Festigkeitsarten**

Baukonstruktionen können einem Feuchtebereich beginnend bei ca. $u = 5\%$ bis zum Fasersättigungsbereich von $u = 30\%$ ausgesetzt sein. Gerade in diesem Bereich kommt es zu einer starken Abnahme der Festigkeiten mit steigendem Feuchtegehalt. Bei Holzkonstruktionen bei denen der Feuchtegehalt über $u = 18\%$ liegt müssen die Werte für die zulässigen Spannungen sowie für die Elastizitäts- und Schubmoduln um $1/6$ abgemindert werden.

- **Schwinden bzw. Quellen und die Größe von Schwindrissen**

Insbesondere bei kurzzeitiger Trocknung entstehen durch Feuchteänderungen in Schnittholzquerschnitten Schwind- oder Trockenrisse. Dabei ist die Lage des Kerns

³¹ Vgl. Erler 1993, S. 62 - 65.

³² ÖNORM EN 14081-1, 2006, S. 17.

³³ Vgl. Erler 1993, S. 50 - 53.

im Querschnitt von Bedeutung. Diese Risse sind auf eine relativ geringe Querkzugfestigkeit und der unterschiedlichen Schwindwerte in tangentialer und radialer Richtung im Holzquerschnitt zurückzuführen.

Im Allgemeinen wird die Tragfähigkeit von Holzbauteilen durch Schwindrisse nur wenig gemindert. Die Thematik der Risstiefe von Schwindrissen und deren Auswirkungen auf die Tragfähigkeit wird in Kapitel 2.2.3. näher erläutert.

- **Holzfeuchte als Kriterium für holzschädigende Organismen**

Die Holzschutz-Vorschrift DIN 68800 (Teil 3) geht davon aus, dass „*eine Gefahr durch den Befall holzzerstörender Pilze vorliegt, wenn die Holzfeuchte 20 % langfristig übersteigt*“.³⁴

Da sich die Holzfeuchte an die Luftfeuchtigkeit anpasst, stellt sich bei zentralbeheizten Räumen mit einer Luftfeuchte von 45 % - 55 % eine Holzfeuchte von 9 % - 12 % ein. Dieses Niveau der Holzfeuchte lässt kein Pilzwachstum zu.

Eine besonders schnelle Zerstörung des Holzes wird durch häufige Wechsel von Trockenheit und Nässe verursacht. Dadurch werden günstige Bedingungen für viele Schadensorganismen geschaffen.³⁵

2.3. Schadenserfassung

Eine Bestandsaufnahme, bzw. die Erfassung des Bauzustandes, beinhaltet die Dokumentation der Geometrien der Baukörper, der einzelnen Bauteile sowie die Feststellung der Baustoffe. Weiters sind konstruktive Details und Verbindungen der untersuchten Konstruktion darzustellen. Das Erkennen verdeckter Mängel oder auch der Ursachen von Schädigungen ist schwieriger. Bei der Planung einer Verbesserung oder Änderung der Nutzung sind genaue Angaben über die Schädigung, die Belastbarkeit, die baustofflichen und bauphysikalischen Bedingungen anzuführen, um zu bautechnisch klar umsetzbaren Schlussfolgerungen zu gelangen.

Eine Dokumentation der Schäden soll eine Beschreibung der Schadensarten, des –umfangs, der nötigen Maßnahmen, technische Zeichnungen und Fotos beinhalten. Die Grundlage für

³⁴ Erler 1993, S. 52.

³⁵ Vgl. Erler 1993, S. 50 - 53.

eine genaue Schadensaufnahme stellen Bestandszeichnungen dar, welche in Form von Grundrissen, Gebäudeschnitten und Ansichten ausgeführt werden sollten.³⁶

Für eine flächendeckend durchgeführte Bauzustandserfassung kann auf „Bauzustands-Erfassungsblätter“³⁷ zurückgegriffen werden. So kann eine detaillierte und systematische Aufnahme der Schäden an den einzelnen Bauteilen der Tragkonstruktion vorgenommen werden.

Die von Erler verwendeten „Bauzustands-Erfassungsblätter“ umfassen insgesamt 4 Aufnahmeblätter:

- Blatt 1: Allgemeine Angaben
- Blatt 2: Überblick Schadensangaben
- Blatt 3: Skizze der Baukonstruktion
- Blatt 4: Schadensort, Schadensart, Schadensumfang

Wobei das Blatt 2 (siehe Abb. 8) als Hauptbestandteil der durchzuführenden Bauzustandserfassung betrachtet werden kann [Anm. d. Verf.]. Auf diesem Aufnahmeblatt werden die Einflussfaktoren auf den Bauzustand erfasst. Es wurden folgende Einflussfaktoren unterschieden:³⁸

- Biotische und chemische Einflüsse:
 - Durchfeuchtungen
 - Verfärbungen
 - Bewachsungen
 - Holzfäulnis
 - Fraßbilder
 - Chemische Korrosion
- Mechanische Einflüsse:

³⁶ Vgl. Bächle 2007, S. 3-3 bis 3-4.

³⁷ Vgl. Erler 1993, S. 28 - 31.

³⁸ Vgl. Erler 1993, S. 28 - 31.

- Form- und Lageänderungen
- Risse
- Querschnittsverringerungen
- Brüche
- Einflüsse auf Metallteile:
 - Veränderungen an Metallteilen

Bauzustands-Erfassung Holzkonstruktionen		Blatt 2 Überblick Schadensangaben																
Bauteil: Gesamtkonstruktion																		
Schadensort Bauteil																		
Schadensbilder		Mauerbank / Mauerlatte	Bundtram / Zerrbalken	Stichbalken	Fußschwelle	Sparren (1.Lage)	Stuhlsäule	Stuhlrahm	Spannriegel	Kopfband	Brustriegel	Windverband (A-förmig)	Kehlbalken (1.Lage)	Unterzug	Hängesäule	Kehlbalken (2.Lage)	Sparren (2.Lage)	
Biotische und chem. Einflüsse	E1- Durchfeuchtungen																	
	E2- Verfärbungen	°braun	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		°gelb	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
		°schwarz																
		°grau																
	E3- Bewachsungen	°Holzpilze																
		°Moose u.a.																
	E4- Holzfäulnis		o ¹			o												
	E5- Fraßbilder	°Holzinsekten																
		°andere tierische Schädlinge																
E6- Chemische Korrosion																		
Mechanische Einflüsse	E7- Form- und Lageänderungen	°Verbiegungen																
		°Durchbiegungen		o														
		°Verschiebungen								o				o		o		
		°Verdrehungen																
	E8- Risse		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
	E9- Querschnittsverringerungen	°gr. Astlöcher																
°Kerben			o															
°Bohrlöcher																		
°Abrieb																		
E10- Brüche																		
E11- Veränderungen an Metallteilen	°Korrosion															--		
	°Lockerung															o		
	°Versagen																	

<p>Eintragung des Schadensgrades (Symbole)</p> <p>x stark (viel) über 50%</p> <p>-- mittel 26 ... 50%</p> <p>o Gering 6 ... 25%</p>	<p>Bemerkungen:</p> <p>o¹ Im Bereich der Mauerbank an einem Auswechslungsbalken. Die Mauerbank selbst ist nicht betroffen.</p>
---	---

Abbildung 8: Beispiel für ein Bauzustandserfassungsblatt - Blatt 2 - Überblick Schadensangaben

(Quelle: Erler 1993)

2.3.1. Bestandsuntersuchung

Folgende Verfahren und Orte der Bauwerksuntersuchungen werden für die Bestandsaufnahme eines Gebäudes vorgeschlagen:³⁹

- eine optische Untersuchung der Außenfronten
- eine optische Untersuchung der Hölzer auf Schäden
- die Begutachtung verdeckter Hölzer
- Probebehebungen
- eine fotografische Dokumentation
- eine Entnahme von Proben
- einen Holzschutzmittelnachweis
- eine Bestimmung von Organismen
- und Beweisstücke für Gericht.

Nachfolgende Tabelle beinhaltet ein Sortiment an einfachen Werkzeugen, welche für die Untersuchung eines Bauwerkes und für eine direkte vor Ort durchgeführte vollständige Bestandsaufnahme benötigt werden.

³⁹ Vgl. Bächle 2007, S. 3-5.

Tabelle 4: Ausrüstung für holzschutztechnische Bauwerksuntersuchungen (Quelle: Bächle 2007)

Gegenstand	Verwendungszweck	Hinweise bzw. Erläuterungen
Schriftlicher Auftrag	Legitimation für die Bauwerksuntersuchung	Begehungen bzw. Untersuchungen erforderlichenfalls vorher bei Mietern oder Nutzern anmelden
Schreibzeug	Aufnahme von Schadensfeststellungen	Zur Verkürzung der Schreibarbeit vor Ort; Aufnahmeliste vorbereiten
Lichtquelle (Baustellenlampe, starke Taschenlampe, auch mit Lupe)	Sorgfältiges Ausleuchten aller Bauwerksteile bzw. Bauhölzer	Anschlussmöglichkeit vorher erkunden; ggf. Kabeltrommel mitnehmen
Arbeitsschutzbekleidung (Schutzhelm, -brille, Schutzanzug, festes Schuhwerk)	Arbeits- und Gesundheitsschutz des Untersuchenden, z.B. beim Kriechen unter Flachdächern zum Traufbereich, beim Probebeilen usw.	Waschzeug und Straßenbekleidung zum Reinigen und Umziehen mitnehmen
Kreide/ Ölkreide	Kennzeichnen von Konstruktionshölzern Befallsgrenzen Auszuwechselnden Hölzern	Durchnummerierung von Sparren, Stützen usw. zur genauen Darstellung der Befunde im Gutachten oder Ankreuzen der Hölzer, z.B. <ul style="list-style-type: none"> • „x“ Mit bekämpf. HSM behandeln • „xx“ Bebeilen, dann chemisch schützen • „xxx“ Ausbauen u. durch vorbeugend geschützte Hölzer ersetzen
Handbeil	Probebeileilung, sog. „Kantenschlag“ an allen Holzbauteilen in Abständen von jeweils etwa 0,5 m zur Feststellung von Stärke und Ausdehnung eines Insektenbefalls	Heller Klang beim Kantenschlag weist auf gesundes, dunklerer Ton und herausrieselndes „Nagsei“ (Bohrmehl und Kotwalzen) auf geschädigtes Bauholz hin
Zuwachsbohrer oder andere Bohrer	Feststellen von sog. „Innenfäulen“ infolge Pilzbefalls (siehe S. 89, 90) bzw. von Holzerstörungen durch Insekten-Erstbefall	Bohrwiderstand (normal oder geringer), Beschaffenheit, Zusammensetzung, Geruch des Bohrmehls bzw. der Bohrspäne beachten
Reißnagel, Stechbeitel oder feststehendes Messer	Feststellen des Ausmaßes der Holzerstörung durch Larvenfraß anhand von Eindringtiefen	Anreißen der Hölzer quer zur Faserrichtung; ggf. Einstechen von allen Seiten; Messen der Eindringtiefe und Berechnung des restlichen tragenden Querschnitts
Gliedermaßstab, Bandmaß	Vermessen von Hölzern, Befallausdehnung, Eindringtiefen; ggf. von Bauwerken bzw. -teilen	Bei fehlenden Bauzeichnungen zur Aufnahme bzw. Anfertigung von Skizzen erforderlich
Schnur, Senklot, Wasserwaage	Verformungsmessungen; Aufnahme von Durchbiegungen	Angabe von Durchbiegungen in mm/m Bauwerks- bzw. Bauteilausdehnung

2.3.2. Bestandsbewertung

Um Entscheidungen über das weitere Vorgehen treffen zu können, muss der Zustand des Bauwerks bzw. der einzelnen Bauteile stichhaltig bewertet werden. Basierend auf dieser Bestandsbewertung kann eine Festlegung bautechnischer Maßnahmen erfolgen und abschließend eine Genehmigungs- bzw. Ausführungsplanung erstellt werden.⁴⁰

Die vorher beschriebene Bauzustands-Erfassung bzw. Untersuchung dient als Grundlage zur Einordnung der gesamten untersuchten Konstruktion in Bauzustandsstufen. Dabei werden folgende 4 Bauzustandsstufen unterschieden:⁴¹

- Bauzustandsstufe 1: guter Erhaltungszustand
- Bauzustandsstufe 2: geringe Schäden
- Bauzustandsstufe 3: schwere Schäden
- Bauzustandsstufe 4: unbrauchbare Haupttragglieder

(Die oben angeführten Bauzustandsstufen sind in Tab. 5 näher erläutert.)

Dabei wird für die verschiedenen Bauteile die Zustandsstufe einzeln festgelegt und danach eine Gesamtstufe gebildet. Daraus wird wiederum für die gesamte Tragkonstruktion eine Bauzustandsstufe ermittelt.

⁴⁰ Vgl. Bächle 2007, S. 3-6.

⁴¹ Vgl. Erler 1993, S. 32.

Tabelle 5: Einteilung in Bauzustandsstufen (Quelle: Erler 1993)

Bauzustandsstufe	Verschleißgrad	Allgemeine Kriterien	Holzkonstruktionen
1	0.....5%	<p>guter Erhaltungszustand</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ keine Funktionsminderung ◦ volle Tragfähigkeit ◦ unbedeutende Mängel ◦ geringe Qualitätsminderung an den Oberflächen 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ keine Schäden ◦ geringe Mängel z.B. Verbindungsmittel gering korrodiert, örtlich begrenzte Schwindrisse ◦ Holzschutz vorhanden ◦ kein Schadorganismenbefall
2	6.....25%	<p>geringe Schäden</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Funktionsfähigkeit ist vorhanden, teilweise beeinträchtigt ◦ volle Tragfähigkeit der Konstruktion ◦ Risse und Brüche geringer Auswirkung ◦ geringe Korrosion 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ verminderte Tragfähigkeit einzelner untergeordneter Bauteile z.B. - örtlich begrenzter Insektenbefall <ul style="list-style-type: none"> - örtlich begrenzte Fäule - längere, aber nicht durchgehende Schwindrisse ◦ Formänderung oder Verschiebung einzelner Bauteile ◦ Verbindungsmittel teilweise gelockert ◦ Chemische Holzschutz flächhaft nicht mehr wirksam
3	26.....50%	<p>schwere Schäden</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ größere Mängel ◦ Funktionsfähigkeit erheblich eingeschränkt ◦ Tragfähigkeit einiger Teile nicht gewährleistet ◦ bedeutende Brüche bzw. Risse ◦ sofortige Instandsetzung erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ erhebliche Schäden in großen Bereichen der Holzkonstruktion ◦ Projekt ist für Instandsetzung erforderlich ! Beispiele für Schädigungen: <ul style="list-style-type: none"> - starker Insektenbefall - Echter Hausschwamm - mehrere Brüche tragender Bauteile - örtlich begrenzte, aber teilweise durchgehende Risse - mehrere schräggestellte Stützen oder Binder - starke Holzkorrosion oder starke Korrosion der Verbindungsmittel - große Durchbiegungen z.B. Balkendecken über I/150
4	über 50%	<p>unbrauchbare Haupttragglieder</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Funktionsfähigkeit nicht mehr gewährleistet ◦ erhebliche Schäden an vielen Bauteilen ◦ Tragfähigkeit überwiegend nicht gewährleistet ◦ bedeutende Verformungen und Brüche ◦ umfangreiche Instandsetzung oder Abriß 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Holzkonstruktion nicht mehr funktionssicher ◦ Holzkonstruktion nicht mehr standsicher Beispiele: <ul style="list-style-type: none"> - Gefahr des Absturzes von Bauteilen bis zur Einsturzgefahr - Verbindungen zum großen Teil nicht mehr wirksam - erhebliche Querschnittsminderung durch Pilze und/oder Insekten - großflächig extreme Holzfeuchte - starke Verformung der Konstruktion - zerstörte Auflager oder Stützenfüße

3. Bestandsanalyse – Barocker Dachstuhl MuseumsQuartier

3.1. Das MuseumsQuartier

Mit rund 60.000 m² Fläche für moderne und zeitgenössische Kunst und Kultur zählt das MuseumsQuartier Wien zu den zehn größten Kulturrealen der Welt.⁴²

Dieses architektonische Ensemble von zeitgenössischer Museumsarchitektur und historischen Gebäuden aus dem 18. und 19. Jahrhundert ist aufgrund seiner zentralen Lage am „Kaiserforum“ (dieses kulturelle Stadtviertel erstreckt sich von der Hofburg über die Museen bis hin zu den Hofstallungen zur Grenze des siebenten Wiener Gemeindebezirks) direkt mit der europäischen Kulturgeschichte verbunden.⁴³

In den nächstfolgenden Kapiteln wird eine kurze Chronologie von der Entstehung der kaiserlichen Hofstallungen bis hin zum heutigen MuseumsQuartier skizziert, um aus bautechnischer Sicht einen umfassenden Blick zu ermöglichen. Für eine detaillierte Bestandsanalyse ist es notwendig, auch über die Nutzung des gesamten Gebäudekomplexes - von der historischen bis hin zur heutigen Nutzung - Einblick zu nehmen und Kenntnis zu erlangen.

3.1.1. Das MuseumsQuartier in der Historie

Im nun Folgenden möchte ich kurz die wichtigsten Eckpunkte der Baugeschichte des MuseumsQuartiers (vormals kaiserliche Hofstallungen) chronologisch erläutern.

Das MuseumsQuartier hat eine bewegte Geschichte von nun fast 300 Jahren hinter sich. Als Teil des Kaiserforums entstammen die kaiserlichen Hofstallungen verschiedensten Bauphasen, jedoch würde man dies auf den ersten Blick aufgrund des homogen wirkenden Erscheinungsbildes der Altbauten nicht vermuten. Als Teil des Kaiserforums wurde das Erscheinungsbild dieses Areals seit dem Barock durch neue Gebäude immer wieder

⁴² MuseumsQuartier Wien / Über das MQ.

⁴³ Boeckle 2001

adaptiert. Durch jede weitere Schicht, die letztlich hinzugefügt wurde, wurde dieses architektonische Ensemble vervollständigt.

Im Jahr 1713 wurde Johann Bernhard Fischer von Erlach (1656 – 1723) von Kaiser Karl VI. beauftragt, ein Gebäude für die kaiserlichen Hofstallungen zu planen und zu errichten. Dies sollte vor dem äußeren Burgtor am Glacis im Bereich des bereits vorhandenen kaiserlichen Geflügelhofs errichtet werden.⁴⁴

Um 1713 wurde am stadtseitigen Ende des Kaiserforums mit dem Bau der Hofbibliothek begonnen, welche aus dem Umbau einer schon bestehenden Reitschule von 1681 hervorging. Zeitgleich wurden am anderen Ende des Kaiserforums, am Rande der Vorstadt, jenseits der Glacis, die Hofstallungen errichtet.⁴⁵

Im Jahre 1725 wurde die erste Bauphase vom barocken Projekt der kaiserlichen Hofstallungen abgeschlossen.⁴⁶ Dabei wurde der 364 m lange Trakt von der heutigen Museumsstraße verwirklicht. Die Gebäude entlang der Burggasse sowie zusätzliche Gebäude im Hof wurden erst in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts errichtet. Im Jahre 1815 wurden aus zweierlei Gründen bauliche Veränderungen notwendig: Zum einen erlitten die Hofstallungen bei der französischen Belagerung unter Napoleon I im Jahre 1809 sehr starke Beschädigungen aufgrund der Beschießung von der Stadt aus, zum anderen wurde eine Vergrößerung der Pferde- und Kutschenplätze benötigt, da im Jahre 1815 der Wiener Kongress tagte. Bei diesen Umbau- und Renovierungsarbeiten wurden die beschädigten Aussichtstürme über den Seitenrisaliten, der Giebel des Mittelrisalits und die der mittleren Pavillions der Flügel des Fischer-von-Erlach-Traktes abgetragen. An der Ecke der Mariahilfer Straße wurde ein kurzer Trakt errichtet und entlang der Breitegasse wurden ebenfalls bauliche Veränderungen durchgeführt.⁴⁷

⁴⁴ Vgl. MuseumsQuartier Wien / Chronologie.

⁴⁵ Gottfried 2001, S. 50.

⁴⁶ Vgl. MuseumsQuartier Wien / Chronologie.

⁴⁷ Boeckle 2001, S. 12.



Abbildung 9: Das MuseumsQuartier Wien (damals k&k Hofstallungen) am 17. Dezember 1834

(Quelle: Boeckle 2001)

Im Zeitraum von 1850 - 1854 wurden die Hofstallungen unter Kaiser Franz Joseph I von Leopold Mayer durch das Hinzufügen einer Winterreitschule und einer Sommerreitbahn umgestaltet bzw. erweitert. Im Jahre 1874 ließ Kaiserin Elisabeth eine Manege in Form einer oktogonalen Reithalle errichten. Durch die Erfindung des Automobils verloren die Hofstallungen im Jahre 1918 (nach dem Ende der österreichisch-ungarischen Monarchie) an Bedeutung, da sie als Stall- und Wagenburg überflüssig wurden. Im Jahre 1921 wurden die Hofstallungen zum ersten Mal als Ausstellungsgelände durch die Wiener Messe genutzt. Das Areal der Hofstallungen wird ab dem Jahr 1922 als „Messepalast“ bezeichnet. Zwischen den Jahren 1940 - 1945 fanden im Messepalast Propagandaveranstaltungen der damaligen Regierung statt. Erst im Jahre 1946 nahm die Wiener Messe ihre Tätigkeit wieder auf und im Haupthof wurden zwei große Hallen mit provisorischem Charakter errichtet. Bis in das Jahr 1977 dauerte es, bis der Messepalast als Standort für die „Sammlung Ludwig“ ins Gespräch kam. Ab diesem Zeitpunkt vergingen knapp 20 Jahre an öffentlicher Diskussion und Architekturwettbewerben, bis im Jahre 1997 ein positiver Bescheid des Denkmalamtes und die Baubewilligung für das heutige MuseumsQuartier erfolgten. Im Jahr 1998 ging der Baubeginn zur größten Kulturbaustelle Wiens vonstatten. Drei Jahre später, im Jahre 2001, wurde mit Abschluss der Bauphase I die offizielle Eröffnung und die Übergabe an die künftigen Nutzer des Areals vollzogen. Im Jahre 2003 wurde die Bauphase III mit der

Renovierung der Räume im Mittelrisalit abgeschlossen. Mit Abschluss dieser Bauarbeiten wurde die Umwandlung des Messepalastes zum heutigen MuseumsQuartier vollendet.⁴⁸

⁴⁸ Vgl. MuseumsQuartier Wien / Chronologie.

3.1.2. Das MuseumsQuartier heute

Mit seinem vielfältigen Angebot an verschiedensten Kunst-, Kultur-, Kulinarik- und Freizeiteinrichtungen sowie Veranstaltungen wird das MuseumsQuartier als „Dritter Ort“ bezeichnet. Dieser Begriff wurde von dem amerikanischen Soziologen Ray Oldenburg definiert bzw. geprägt. Darunter sind Räume zu verstehen, an denen soziale, öffentliche Kommunikation und Interaktion im Vordergrund stehen. Als „Erster Ort“ wird das Zuhause verstanden und als „Zweiter Ort“ die Arbeitsstätte.⁴⁹

Durch seinen komplexen Charakter, der sich aus der Koexistenz der verschiedenen Einrichtungen wie Museen, Ausstellungshäusern, Cafes, Shops, Bars, Restaurants und Ruhezonen ergibt, ist es gelungen, das MuseumsQuartier als Kulturinstitution nicht nur in Wien sondern auch auf internationaler Ebene zu positionieren.⁵⁰

Die Besucherzahlen von ca. 2,0 Mio. Besuchern im Jahr 2002 konnten bis hin zu 3,6 Mio. Besuchern im Jahr 2008 gesteigert werden.⁵¹

Dem Architektenteam Ortner & Ortner und Manfred Wehdorn ist es mit dem Entwurf dieses Konzepts für ein multidisziplinäres Kulturareal gelungen, das MuseumsQuartier weit über die Stadtgrenzen von Wien und die Grenzen von Österreich bekannt zu machen. Das MuseumsQuartier wird heute in einer Reihe mit den größten Kulturbezirken und kulturellen Institutionen der Welt, wie z.B. dem Museumsbezirk in Berlin, Frankfurt/Main oder Washington D.C., genannt.⁵²

3.2. Bauwesen im Barock - Der Barocke Dachstuhl

Ergänzend zu den in Kapitel 2.1. dargebrachten Erläuterungen hinsichtlich der Entstehungsgeschichte des Gebäudekomplexes bis hin zu seiner heutigen Nutzung soll in den nachfolgenden Kapiteln ein Überblick über die Bautechnik der Barockzeit, insbesondere bei Dachstühlen, gegeben werden.

⁴⁹ Vgl. MuseumsQuartier Wien / Über das MQ.

⁵⁰ Vgl. MuseumsQuartier Wien / Die Vision.

⁵¹ Vgl. MuseumsQuartier Wien / Chronologie.

⁵² Vgl. Gottfried 2001, S. 138ff.

3.2.1. Das Handwerk des Zimmermanns in der Barockzeit⁵³

Aufgrund des hohen Stellenwertes des Baustoffes Holz hatte der Zimmermann in der Barockzeit bis hinein ins frühe 19. Jahrhundert eine wichtige Bedeutung auf dem Gebiet der Bautechnik. Seine Zuständigkeit war nicht nur auf die Errichtung von Dachkonstruktionen beschränkt, sondern begann schon bei der Fundamentierung eines Bauwerks. Auch dabei spielte der Baustoff Holz eine „tragende“ Rolle. Wies der Baugrund keine ausreichende Tragfähigkeit auf, so wurde diese durch Einrammen von Gründungspfählen in den Untergrund hergestellt. Die Maurer konnten erst nach Fertigstellung des Fundamentrostes, welcher in Form von Balken auf die gerammten hölzernen Pfähle aufgelegt wurde, mit dem Aufsetzen der Fundamentmauern beginnen. In den meisten Fällen jedoch war, aufgrund der weit verbreiteten Fachwerks-, Ständer- und Blockbauweise, ab der Oberkante der Fundamentmauern wieder der Zimmermann gefragt. Auch bei Gebäuden eines reinen Mauerwerksbaus war das Mitwirken des Zimmermanns für die Errichtung der Zwischendecken in den einzelnen Stockwerken unerlässlich. Die Herstellung von Arbeitsgerüsten sowie Kränen und Hebezeugen oblag ebenfalls der Zunft des Zimmermanns.

Diese beschriebenen Tätigkeiten, die im klassischen Hochbau vom Zimmermann ausgeführt wurden, stellen aber nur einen kleinen Teilbereich des Tätigkeitsspektrums des Zimmermanns der Barockzeit dar. Aufgrund der Tatsache, dass der Zimmermann auch im Wasserbau und Verkehrswegebau eine herausragende Rolle spielte, ist die Dominanz des Zimmermannhandwerks zu dieser Zeit auf dem gesamten Sektor des reinen Zweckbaus ersichtlich. Mit dem Errichten von Wehren, Uferbefestigungen, Mühlrädern, Rohrleitungen, Pumpen und Pumpwerken im Bereich des Wasserbaus reichte das Betätigungsfeld des Zimmermanns weit in das Maschinenwesen hinein. Im Zusammenhang mit der Errichtung von Brücken im Bereich des Verkehrswegebaus erstreckten sich die Aufgaben des Zimmermanns von der Befestigung der Flusssohle über die Errichtung von temporären Fangedämmen und Baugrubensicherungen, der Fundamentierung und schließlich bis hin zur Konstruktion des Brückenbaus selbst.

Aufgrund des oben skizzierten weit reichenden Betätigungsfeldes der Handwerkskunst des Zimmermanns ist es meiner Meinung nach ohne Übertreibung zulässig, die Meister des Zimmermannhandwerks als die Bauingenieure der Barockzeit zu bezeichnen.

⁵³ Vgl. Holzer 2008, S 21ff.

Dem nicht genug waren die ersten Werke für bautechnische Literatur Fachbücher zur Holzbautechnik. Demnach waren es die Zimmermannsleute, die sich als erste mit der Erstellung von Lehrbüchern beschäftigten und damit auf dem Gebiet der Buchautoren tätig waren. Im deutschen Sprachraum wurde zwischen 1649 und ca. 1847 eine Reihe von Fachbüchern auf dem Gebiet des Holzbaus publiziert.

Im Jahre 1649 erschien in Frankfurt/Main das erste deutsche Zimmermannsbuch mit dem Titel „Architectura Civilis“ von Johann Wilhelm, einem gebürtigen Vorarlberger. Den Schwerpunkt des Buches bildeten 41 Tafeln, auf denen Konstruktionen für verschiedene Bauaufgaben dargestellt waren. Damals wurden die Konstruktionen teilweise in „Zulage“ (grundrissähnliche Ansicht der bereitgelegten Konstruktionshölzer senkrecht von oben) und Querschnitt, und teilweise auch in Perspektive dargestellt. Im Werk „Architectura Civilis“ wurden vorwiegend Dachwerke abgebildet (siehe Abb. 11). Jedoch nahm der Autor Johann Wilhelm auch Maschinenteknik (Kräne, Rammen, Pressen), Wendeltreppen und Brücken in sein Werk auf. Eine didaktisch sinnvolle Anordnung der Tafeln lässt sich nicht erkennen. Der vorhandene Text beschränkt sich auf die Aufzählung der Inhalte der 41 Tafeln und weist keine kritische Beurteilung der abgebildeten Konstruktionen auf.

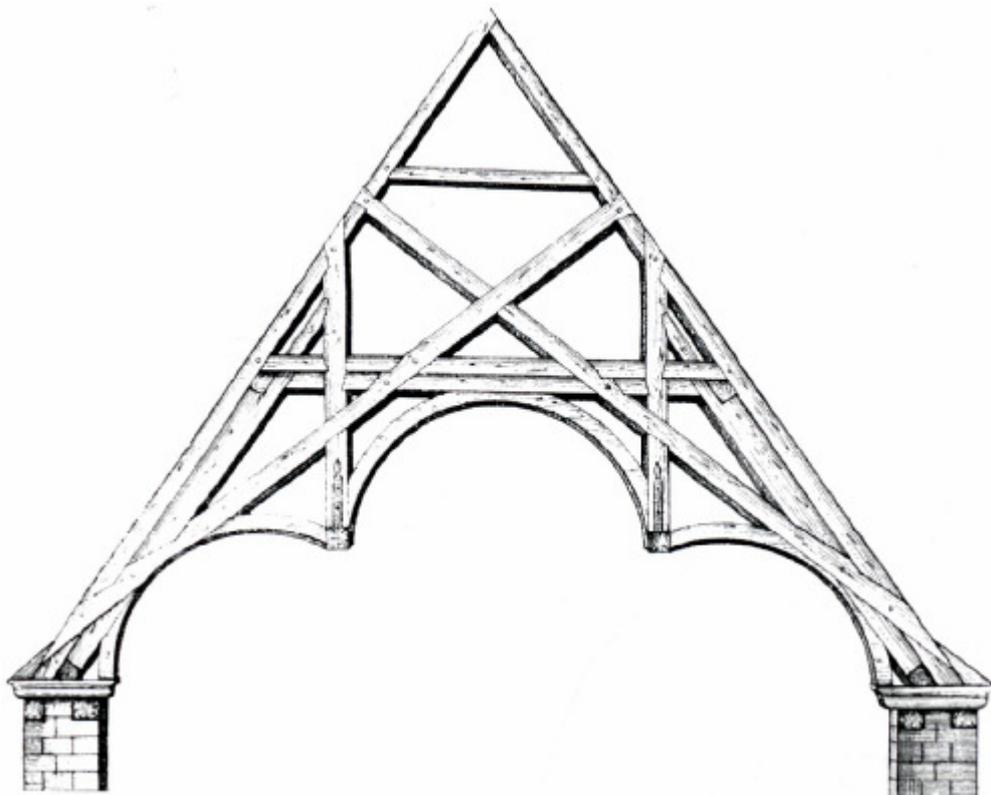


Abbildung 11: Dachwerk mit kleeblattförmiger Tonne (Quelle: Holzer 2008)

In der Ausbildung des Handwerkernachwuchses spielte das Werk eine große Rolle. War doch gerade das „Nachzeichnen“ von Vorlagenblättern - ein für damalige Zeiten - typischer Bestandteil der handwerklichen Ausbildung. Dieses Erstlingswerk wurde aber auch am Zimmerplatz (heute: Zimmererplatz) zum Lösen anspruchsvoller praktischer Aufgaben verwendet. Die Grenzen des Buches waren sehr schnell gefunden. Sie lagen bei geometrischen bzw. räumlichen Problemen, wie z.B. der Sparrenschiiftung (ist die Aufgabe, einen Sparren, der beim Walmdach nicht bis zum First reicht, sondern an der Verschneidungskante des Walmes am Grad endet, am Ende in korrekter Form schräg abzuschneiden).

Erst das Buch „Die moderne Bau-Kunst“ von Johann Vogel, welches im Jahre 1708 erschien, ging auf die Lösung einiger äußerst einfacher geometrischer Aufgaben ein. Die Erläuterungen dieser geometrischen Aufgaben wurden mathematisch nicht hergeleitet oder begründet, sondern waren nur reine Handlungsanweisungen noch ohne Bezug zum Zimmerwerk.

Jost Heinburger schlug mit seinem Werk „Neu-eröffneter Bau- und Zimmer-Platz“ (Frankfurt/Main, 1729) ein neues Kapitel in der Geschichte des Zimmerwerkstraktates (eine kurze schriftliche Abhandlung über ein Thema) auf. Die zur Herstellung von Grat-, Kehl- und Schiftsparren bei Walmdächern benötigte praktische Geometrie stellte das Hauptthema dieses Buches dar. Bis zum Erscheinen dieses Werkes wurde dieses Problem in der Praxis durch den Zimmerer in Form eines Mustergesperres gelöst, das heißt nicht auf dem Papier, sondern unter Verwendung der realen Balken. Heinburger war auch der erste Autor, der sich in seinem Werk mit Dachneigungen bzw. Dachproportionen beschäftigte.

Das 1745 erschienene „Architectura Civilis“ von Georg Peter Schillinger beinhaltete vorzüglich perspektivische Darstellungen, die eine Anschaulichkeit von Dachwerksmodellen erreichten (siehe Abb. 12). Die erste Tafel in Schillingers Buch widmete sich geometrischen Grundaufgaben, wie z.B. der Bildung eines rechtwinkligen Dreiecks mit Hilfe pythagoräischer Zahlentripels.

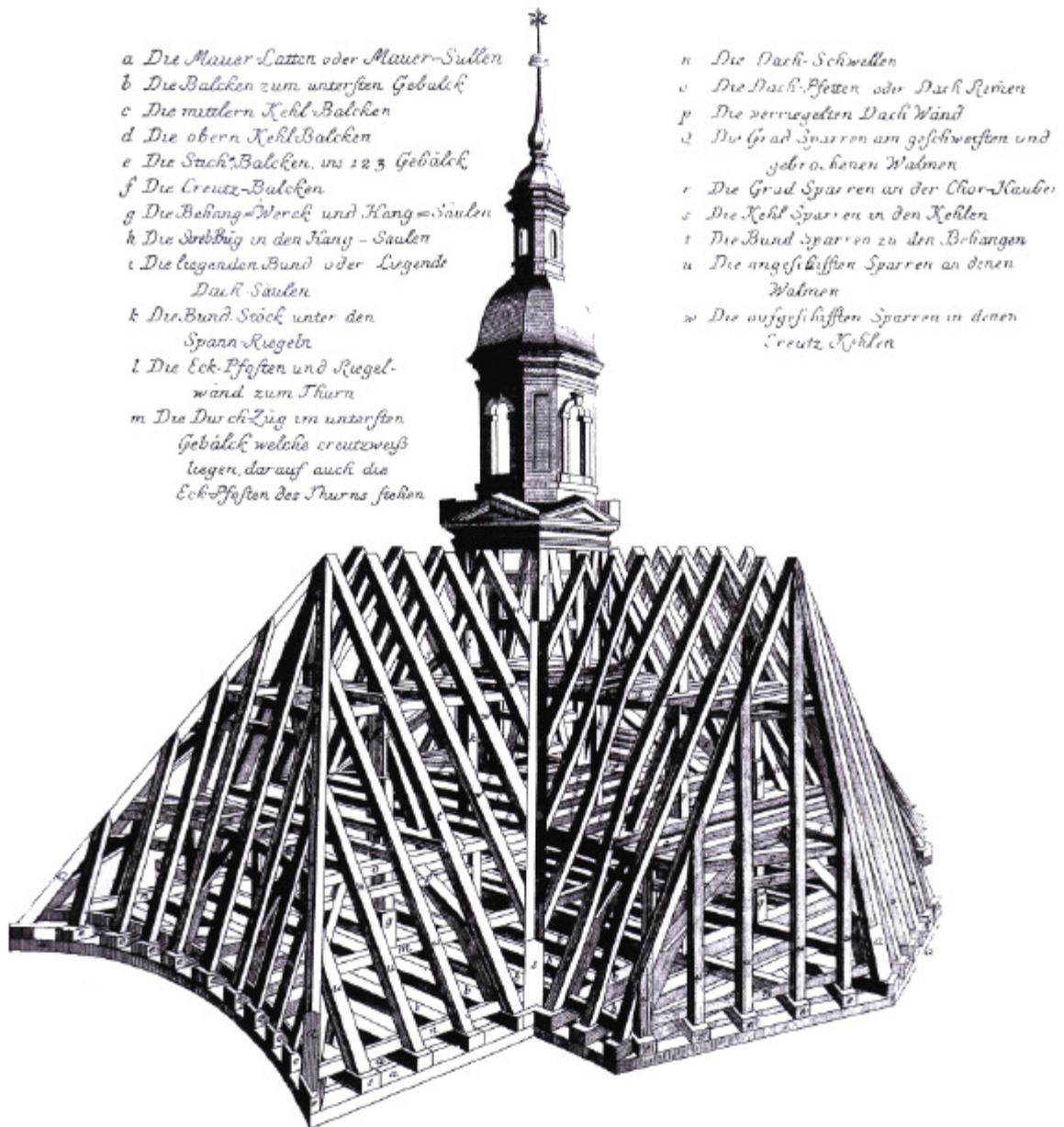


Abbildung 12: Perspektivische Darstellung eines Kreuzdaches einer Kirche (Quelle: Holzer 2008)

Erst der sächsische Maschinen- und Hof-Zimmer-Meister Christian Gottlob Reuss veröffentlichte 1764 das erste echte Lehrbuch zur Zimmermannskunst. Reuss stellte jedes Dachwerk systematisch in Grundriss, Längs- und Querschnitt sowie in Form der Zulage dar, und schritt dabei didaktisch sinnvoll vom einfachsten Sparrendach bis zum kompliziertesten Dachwerk fort. Dieses Werk ermöglichte als erstes das Selbststudium, losgelöst vom zünftischen mündlichen Unterricht.

Bis ins Jahr 1814 sollte es dauern, dass der Wiener Franz Sax in seinem Werk „Die Zimmermanns-Kunst“ in den ausführlichen Texten dieses Buches, als einziges,

deutschsprachiges Zimmerwerkstraktat überhaupt, auf die Herstellungstechnik der Balken eingeht und auch Details zum Aufrichten der Dachstühle preisgibt.

3.2.2. Herstellungstechniken bei barocken Dachstühlen

Über den praktischen Herstellungsprozess der Dächer ist in den deutschsprachigen Traktaten nur wenig angeführt. In der französischen Literatur der Barockzeit sind ausführlichere Angaben zu den praktischen Anwendungstechniken des Zimmermanns zu finden.

Eine Reihe von Barockdachwerken, die in Südbayern untersucht wurden, bestehen alle aus Fichten- und Tannenholz. In der zeitgenössischen Literatur wird der Einschlag des Holzes im Winter nahe gelegt. Dies wird aus zweierlei Gründen empfohlen: Einerseits war man sich des vermeintlich günstigeren Einflusses der Winterfällung auf die Festigkeitseigenschaften des Holzes bewusst, andererseits sprachen auch überzeugende praktische und ökonomische Gründe für die Winterfällung.⁵⁴ *„In der Regel sind die nahe wohnenden Landleute die wohlfeilsten Fuhrleute [...]. Im Winter ist der Landmann und sein Zugvieh nicht für die Landwirtschaft in Anspruch genommen. Die Winterbahn gewährt an sich schon so manche Vorteile; der Schnee ebnet und glättet unwegsame Stellen; der Frost macht sumpfige haltbar.“*⁵⁵

*„In einer Zeit miserabler Landverkehrswege war der Transport der teuerste Aspekt beim Bauen. Die Bereitstellung des Baumaterials war Aufgabe des Bauherrn und war nicht in den Werkverträgen der barocken Bauunternehmer enthalten.“*⁵⁶

Der Transport erfolgte über den Landweg oder per Floß über den Wasserweg. Der Wassertransport per Floß war bedeutender, da das Flößen des Holzes meist problemloser und billiger war.

Die Stämme wurden durch Behauen mit einem Beil zu Balken weiterverarbeitet (siehe Abb. 13 und Abb. 14). Zur damaligen Zeit war das Bebeilen noch mit einem geringeren Aufwand an manueller Kraft verbunden als das Sägen. Um 1800 gab es in Frankreich sogar eine Berufsgruppe, die sich auf das Bebeilen spezialisierte.

⁵⁴ Vgl. Holzer 2008, S. 43.

⁵⁵ Holzer 2008, S. 43.

⁵⁶ Holzer 2008, S. 44.

Folgendes Zitat soll die Herstellung eines Balkens genau beschreiben: „Sobald der Stamm auf der Unterlage befestigt ist [...], entfernt der Zimmermann mit der Axt die Rinde an derjenigen Stelle, an der er die Seitenfläche des Balken aufzeichnen muss [...]: Er rollt seine Schnur aus und taucht sie in eine Lösung von Strohasche ein, wenn er die Linie schwarz markieren will, oder in Rötel, wenn er seine Linie rot markieren will. [...] Wenn die Schnur mit der einen oder anderen Farbe getränkt ist, stellen sich zwei Arbeiter an den Enden des Stammes auf und spannen die Schnur an der Stelle, die markiert werden soll. Einer von beiden hebt die Schnur an und lässt sie auf den Stamm zurückschnellen. Dabei überträgt sich die Farbe von der Schnur auf das Holz und markiert eine gerade Linie, die den Arbeitern beim Bebeilen als Leitlinie dient. Sie tragen dann noch eine zweite Linie an, die die Dicke oder Breite des Balkens angibt. Nach diesem Anzeichnen des Balkens folgt die Ausarbeitung der Seitenflächen: Sobald das Stück angezeichnet ist, steigt der Arbeiter hinauf und erstellt mit seiner Axt Einkerbungen im Stamm im Abstand von 60-80 cm. Deren Tiefe wird durch die Position der Vorgezeichneten Linie vorgegeben und muss genau eingehalten werden. Sobald die Einkerbungen über die ganze Länge des Balkens hergestellt sind, spaltet man die Stücke ab, die zwischen den Kerben noch stehen geblieben sind. Dann steigt der Arbeiter herab und entfernt mit seinem Beil die noch überstehenden Holzteile. Dabei muss der Arbeiter sorgfältig darauf achten, die Seitenflächen des begonnen Balkens genau senkrecht abzuarbeiten. Es folgt die Ausarbeitung der Gegenseite und das Glätten der Flächen. Dann wird der Stamm auf der Unterlage um 90° gedreht, und die beiden noch fehlenden Oberflächen des Balkens werden ebenfalls bearbeitet.“⁵⁷

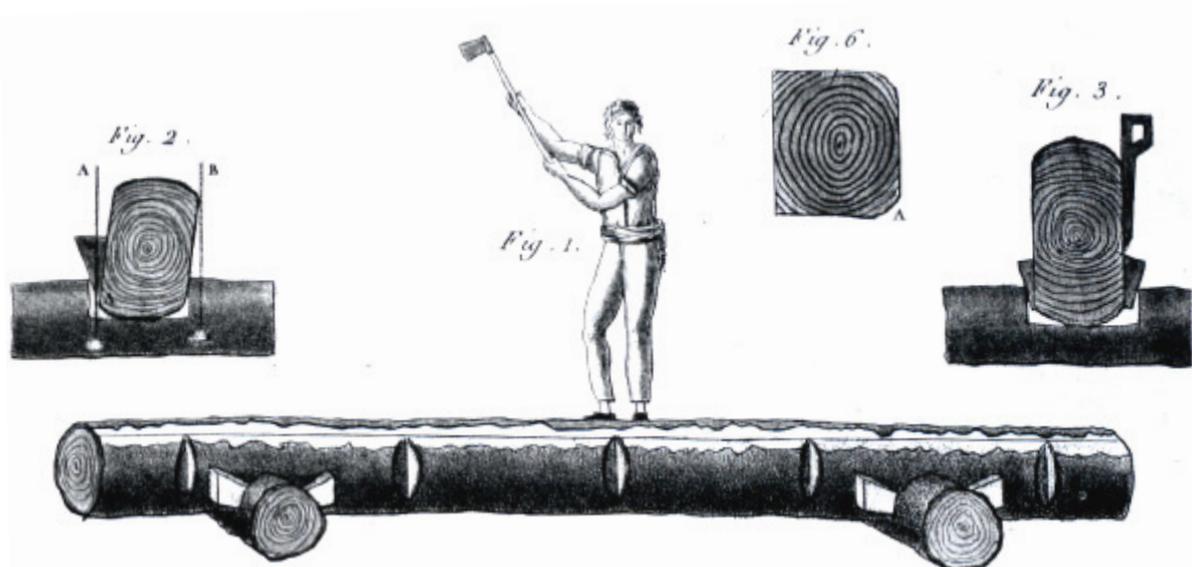


Abbildung 13: Bebeilen eines Stammes zu einem Balken (Quelle: Holzer 2008)

⁵⁷ Holzer 2008, S. 45 - 46

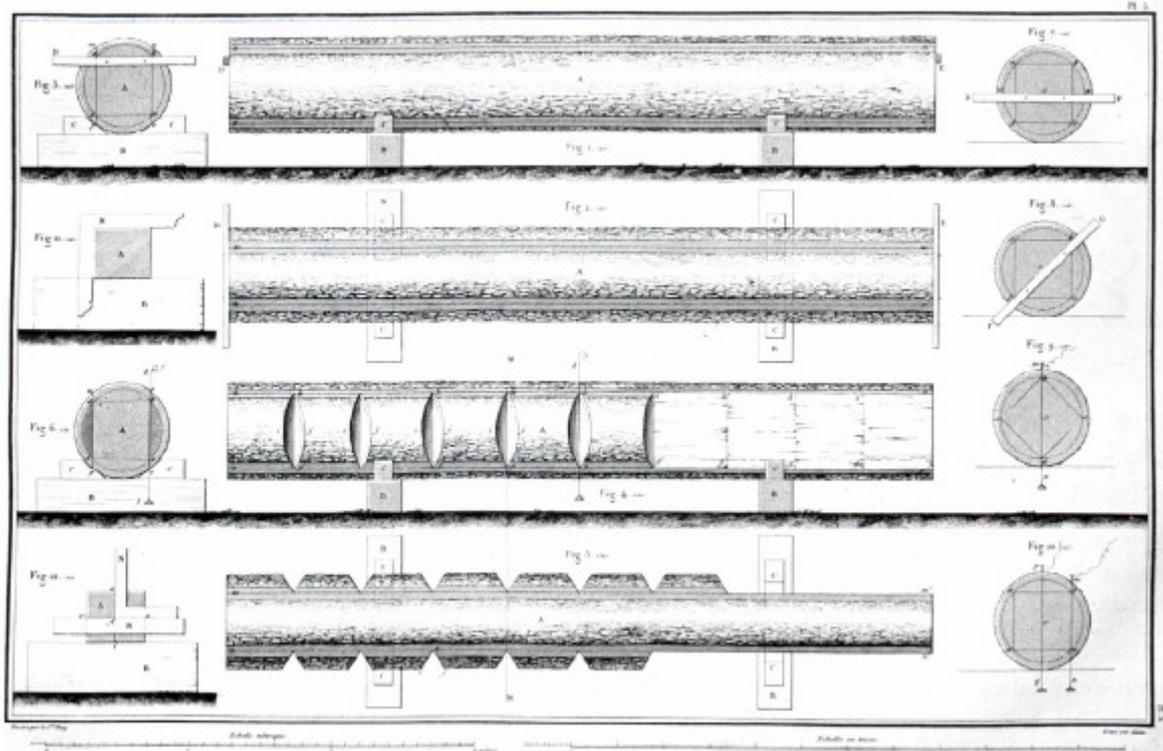


Abbildung 14: Bebeilen eines Stammes zu einem Balken (Quelle: Holzer 2008)

Wenn alle Balken behauen waren, die für das Dachwerk benötigt wurden, dann konnte mit der Vorbereitung der Anschlüsse aller Konstruktionshölzer, dem Abbund, begonnen werden. Dies geschah auf dem Zimmerplatz, ein freier Platz, der den Zimmermeistern eingeräumt wurde, wo der Dachstuhl zugelegt und abgebunden wurde. Beim Abbinden werden alle Bestandteile des zu errichtenden Dachwerks exakt gemäß dem späteren Gebäudegrundrisses ausgelegt und die Verbindungen hergestellt. Dies wird in den Zimmermannsbüchern jener Zeit als „Zulage oder Werksatz“ bezeichnet. Die „Zulage oder Werksatz“ darf mit einem modernen Grundriss nicht verwechselt werden. Diese Darstellungen stellen das direkte Abbild der bereitgelegten, fertig bearbeiteten Balken am Zimmerplatz dar.

Die herzustellenden Verbindungen der einzelnen Konstruktionshölzer wurden mit Röteln angezeichnet („aufgerissen“) und mit verschiedenen Werkzeugen wie Sägen, Stemmeisen (Zapfenlöcher) und Löffelbohrer (Nagellöcher) ausgearbeitet. Zu der damaligen Zeit wurden die Holzverbindungen der Konstruktionshölzer durch zimmermannsmäßige Verbindungen hergestellt. Die wichtigsten Verbindungstypen stellten die Blattverbindungen, die Zapfenverbindungen und die Verkämmungen dar. Die Blattverbindungen wurden insbesondere bei Anschlüssen hergestellt, bei denen Zugkräfte aufgenommen werden mussten. Die Zapfenverbindungen wurden hingegen bei druckbeanspruchten Knotenpunkten hergestellt, um die Druckkräfte zwischen den Konstruktionshölzern zu übertragen. Die

Verkämmung fand bei Anschlüssen Anwendung, bei denen Druck- oder Zugkräfte in einem Balken als Querkraft, in einen quer dazu verlaufenden Balken übertragen werden sollten.

Die Zapfen- und Blattverbindungen wurden beim Aufrichten mit Holznägeln gesichert. Holznägel hatten eine achtkantige prismatische Form und wurden aus Hartholz (Eiche) hergestellt. Die eckigen Holznägel wurden in das Rundzapfenloch eingetrieben, wodurch eine nur schwer lösbare Verbindung entstand.

Eisennägel fanden damals auch schon Anwendung, jedoch wurden sie nur zum temporären Anheften von Latten oder zur Konstruktion von Bohlenbögen eingesetzt.

Eiserne Bauklammern wurden ebenfalls nur als provisorische Befestigung, zum Festhalten der Balken bei der Bearbeitung, eingesetzt.

Aufgrund der Querschnittsschwächung, welche bei der Ausführung von zimmermannsmäßigen Verbindungen immer auftritt und wegen der geringen Festigkeit der Holznägel wurden für zugbeanspruchte Anschlüsse immer mehr Eisenteile verwendet. Dadurch war es möglich, zwei Konstruktionshölzer kraftschlüssig zu verbinden ohne dass sie sich überschneiden. Die beiden Hölzer wurden ohne Querschnittsschwächung durch eiserne Bauteile verbunden.

Die einzelnen Gespärre des Dachwerks wurden nach dem Muster eines einzigen Vorlagengespärres hergestellt. Dieses Vorlagengespärre wurde dabei mit größter Sorgfalt abgemessen und geometrisch genau konstruiert.

Nachdem alle Gespärre inklusive der Verbindungen am Zimmerplatz (siehe Abb. 15) hergestellt waren, wurden diese wieder zerlegt und anschließend auf dem Gebäude wieder zusammengesetzt. Um die Gespärre wieder in der richtigen Reihenfolge aufrichten zu können, wurden sie mit Abbundmarken versehen, ehe die einzelnen Balken mit einfachen Flaschenzügen auf das Gebäude aufgezogen wurden. In der Regel bestanden die Abbundmarken aus römischen Ziffern. Sie wurden zunächst provisorisch in Röteln angetragen und danach mit dem Beil eingeschlagen.⁵⁸

⁵⁸ Vgl. Holzer 2008, S. 44 - 54



Abbildung 15: Der Zimmerplatz in der Barockzeit. Arbeiter beim Abbinden eines Dachstuhls
(Quelle: Holzer 2008)

3.2.3. Barocke Dachwerke – Konstruktionsprinzipien und Elemente⁵⁹

In diesem Unterkapitel sollen zeitgenössische Konstruktionsprinzipien der barocken Baukunst bei Dachwerken, vom einfachen Sparrendach bis hin zum Sparrendach mit liegendem Stuhl und Hängesäule, erläutert und veranschaulicht werden. Weiters werden die einzelnen Konstruktionselemente und deren Funktion in der gesamten Dachkonstruktion detailliert beschrieben. Dieses Unterkapitel stellt eine wichtige Grundlage für das konstruktive Verständnis der untersuchten Dachkonstruktion im MuseumsQuartier dar.

⁵⁹ Vgl. Holzer 2008, S. 69 - 81

3.2.3.1. Das Sparrendach

Das Sparrendach stellt eine der einfachsten Konstruktionsformen eines Daches dar. Dabei werden zwei Balken schräg gegeneinander gelehnt und am Firstpunkt kraftschlüssig miteinander verbunden. Diese Balken werden als „Sparren“ bezeichnet. Die Fußpunkte des so gebildeten Sparrendreiecks werden durch ein dehnsteifes Konstruktionselement am Wegrutschen gehindert und kraftschlüssig miteinander verbunden. Diese Aufgabe übernimmt ein quer über den Dachraum gespannter Balken, welcher als „Zerrbalken“ oder „Bundtram“ bezeichnet wird. Die Sparren werden durch Druckkräfte beansprucht und unterliegen dadurch einer Stauchung. Weiters übernehmen die Sparren auch das Eigengewicht der Dachhaut sowie die Lasten aus Wind und Schnee, wodurch sie zusätzlich gebogen werden. Der Bundtram hingegen wird durch Zugkräfte beansprucht. Der Bundtram erfährt eine Biegung, vor allem dann, wenn der Dachraum als Lagerraum genutzt wird. Die Bundträme bei Dachwerken aus der Barockzeit weisen einen Achsabstand von ca. 90-95 cm auf, in seltenen Fällen bis zu 1,15 m.

3.2.3.2. Das Kehlbalkendach

Erhöht sich die Spannweite des Dachwerks, dann muss in erster Linie der Sparren gegen übermäßige Durchbiegung geschützt werden. Diese Funktion übernimmt ein horizontaler Balken, der die gegeneinander gelehnten Sparren auf halber Höhe verbindet. Dieser Balken wird als „Kehlbalken“ bezeichnet. Das Sparrenpaar stützt sich über den Kehlbalken gegenseitig ab. Diese Dachkonstruktion nennt man „Kehlbalkendach“. Bei großen Dachwerken sind oft mehrere Kehlbalkenlagen übereinander anzutreffen. Meist werden die Kehlbalkenlagen in den Drittel- oder Viertelpunkten der Höhe angebracht.

Als „Gespärre“, „Bund“ oder „Gebinde“ wird die Verbindung von Sparren, Bundtram und eventuell zugehörigen Kehlbalken bezeichnet. Dieses s. g. Gespärre stellt eine Art Fachwerkswand dar, die sich quer zur Firstachse des Daches spannt.

3.2.3.3. Die Mauerlatte bzw. Mauerbank

Das Konstruktionselement der s. g. „Mauerlatte“ bzw. „Mauerbank“ stellt die Verbindung zwischen der Holzkonstruktion des Dachwerks und dem Mauerwerk des zu überdachenden Gebäudes dar. Auf dieser längs auf der Mauerkrone verlaufenden hölzernen Schwelle liegen die Bundträme auf. Oft treten Mauerbänke auch paarweise auf, ein Balken längs der

Innenkante der Außenmauer und ein weiterer Balken parallel dazu weiter außen. Die Mauerbank erfüllt mehrere Aufgaben gleichzeitig. Sie gewährleistet eine allseitige Belüftung der Bundtrankköpfe und schützt diese gleichzeitig vor aufsteigender Feuchtigkeit aus dem Mauerwerk. Weiters bietet sie durch die Anhebung der Bundtränne Schutz vor Feuchtigkeit die durch die Dachfläche eindringt, wodurch sich stehende Nässe aufstauen kann. Aus statischer Sicht übernimmt die Mauerbank die Aufgabe, die Lasten aus den Gespärren gleichmäßig in das Mauerwerk einzuleiten. Bei Dachkonstruktionen deren Bundtränne nicht in jedem Gespärre durchlaufen, werden die Kräfte durch die Mauerbank gesammelt und in die Gespärre mit durchlaufendem Bundtram eingeleitet. Bei historischen Dächern ist die Mauerbank aber auch jenes Konstruktionsholz, welches im Laufe der Zeit die größten Schäden infolge Feuchtigkeit erleidet. Daher wurde schon um 1800 eine Methode entwickelt, mit der man in der Lage war, die defekten Mauerbänke auszutauschen. Dabei wurde die Dachkonstruktion mittels Winden etwas angehoben und defekte Bereiche der Mauerbank durch neue Hölzer ersetzt. Bei historischen Dachwerken ist die Mauerbank nicht im Mauerwerk verankert, sondern liegt nur lose auf der Mauerkrone auf.

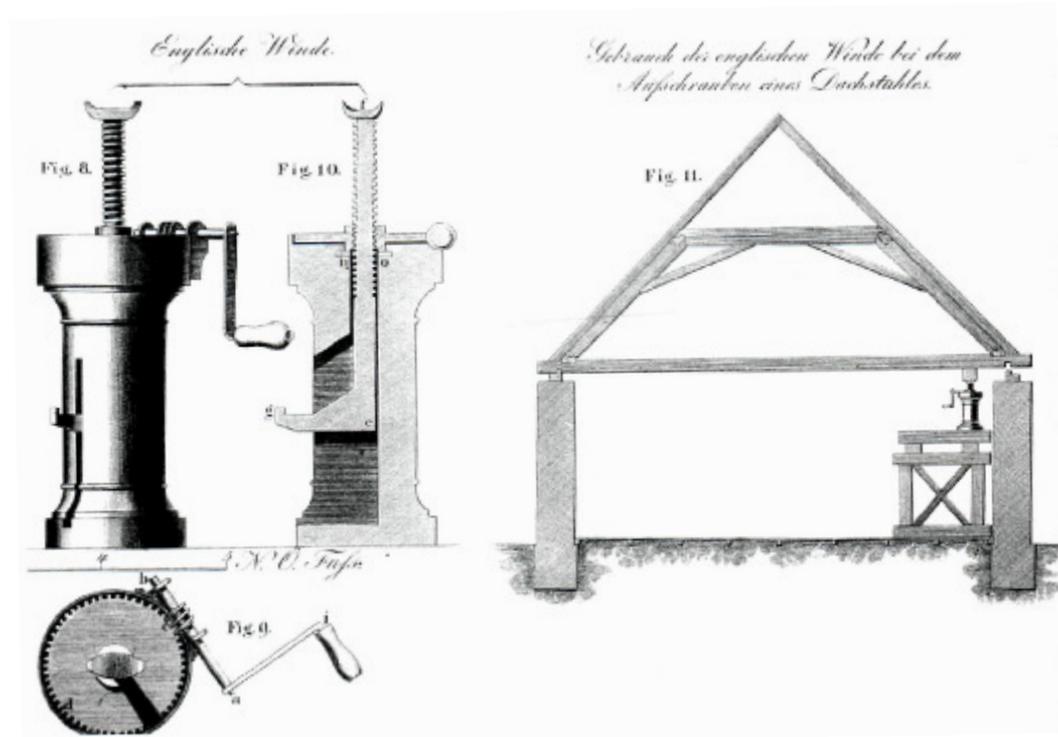


Abbildung 16: Englische Winde zum Anheben eines Barocken Dachstuhls (Quelle: Holzer 2008)

3.2.3.4. Der stehende Stuhl

Die Bezeichnung Dachstuhl reicht zurück bis ins Mittelalter. Die Zimmerer dieser Zeit erfanden eine Konstruktionshilfe zum Aufbau großer Dächer, den Dachstuhl. Da die

Gespärre ab einer gewissen Spannweite nicht mehr vorab am Zimmerplatz zusammengesetzt und in einem Stück aufs Dach gehoben werden konnten, mussten die Gespärre in Einzelteilen aufs Dach gehoben werden.

Der Dachstuhl stellt eine Arbeitsplattform dar, welche es erlaubt, die Konstruktionshölzer eines Dachwerks einzeln aufs Dach zu transportieren und dort erst zum „Bund“ zusammensetzen. Nach Fertigstellung der gesamten Konstruktion verbleibt der Dachstuhl im Dach und stellt ein zusätzliches Konstruktionselement dar. Der Dachstuhl ist im einfachsten Fall eine tischartige Plattform, die auf zwei zueinander parallelen, längs durch den Dachraum verlaufenden Stützenreihen ruht. Das so genannte Stuhlrähm, ein durchlaufender Balken, verbindet die Stützen am oberen Ende in Längsrichtung des Daches. Zusammen mit diagonal geführten Kopfbändern bildet das Stuhlrähm mit den Stuhlsäulen eine Art Fachwerkwand in firstparalleler Richtung. So trägt der Dachstuhl zu einer deutlich erhöhten Steifigkeit des Daches bzw. einer Verringerung der Verformungen der Sparren bei. Durch die Kopfbänder wird die Dachkonstruktion in firstparalleler Richtung ausgesteift.

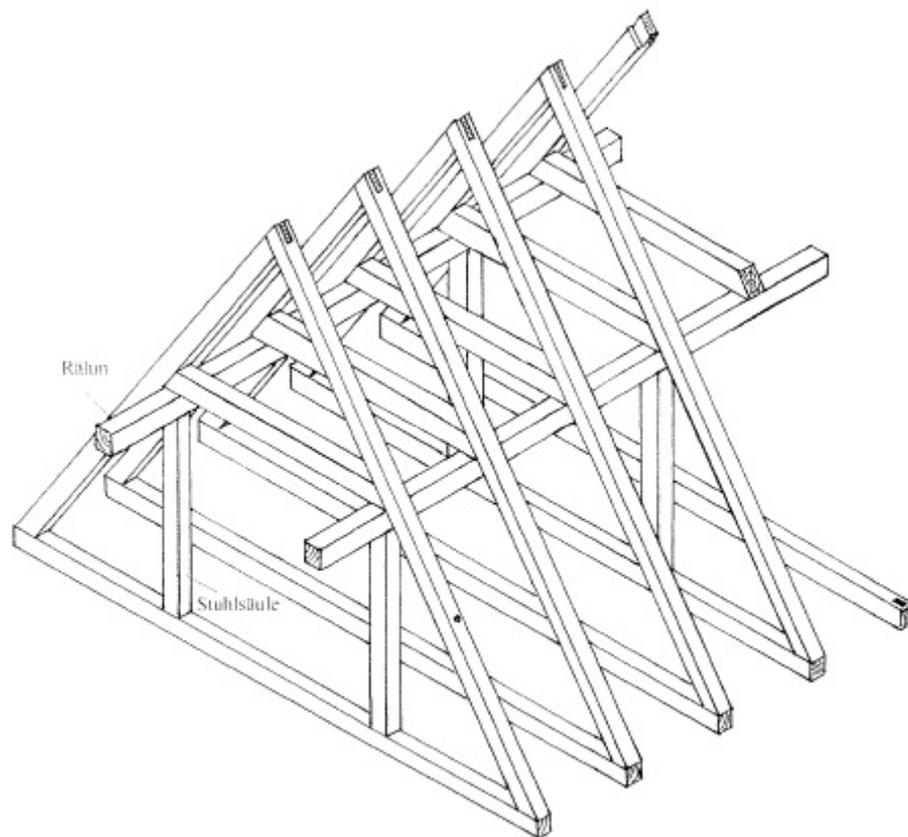


Abbildung 17: Prinzipskizze eines stehenden Stuhls (Quelle: Holzer 2008)

3.2.3.5. Der liegende Stuhl

Aus statischer Sicht ist es jedoch ungünstig, dass beim soeben beschriebenen stehenden Stuhl die Stuhlsäulen auf dem Bundtram stehen und in diesem größere Biegebeanspruchungen verursachen, falls der Bundtram sich nicht auf Zwischenaufleger stützt. Aufgrund solcher statischer Überlegungen wurde der Stuhl so konstruiert, dass die Stuhlsäulen nicht senkrecht stehen, sondern schräg nach außen zu den Fußpunkten der Sparren gerichtet sind. Diese Form der Dachkonstruktion wird als „liegender Stuhl“ bezeichnet. Der liegende Stuhl ist zwar statisch besser, aber dafür schwieriger aufzubauen als der stehende Stuhl. Beim liegenden Stuhl stützen sich die liegenden Stuhlsäulen gegeneinander ab, damit sie nicht umfallen. Sie stehen sich daher immer paarweise gegenüber und sind durch einen horizontalen Balken miteinander verbunden. Dieser horizontale Balken nimmt die entstehenden Druckkräfte auf und wird als „Spannriegel“ bezeichnet, obwohl er auf Druck beansprucht wird. Der Spannriegel ist streng vom Kehlbalken zu unterscheiden. Der Kehlbalken verstrebt die Sparren gegenseitig, während der Spannriegel die liegenden Stuhlsäulen gegeneinander abstützt. Die Ecken des liegenden Stuhls werden durch diagonal verlaufende Kopfbänder zwischen Stuhlsäule und Spannriegel ausgesteift und sind für die Errichtung und Standsicherheit der Konstruktion unabdingbar. Diese Kopfbänder werden auch als Jagdband bezeichnet. Wie beim „Stehenden Stuhl“ verbleibt auch der „Liegende Stuhl“ im Sparrendach und bildet zusammen mit diesem eine längs- und quergespannte Dachkonstruktion.

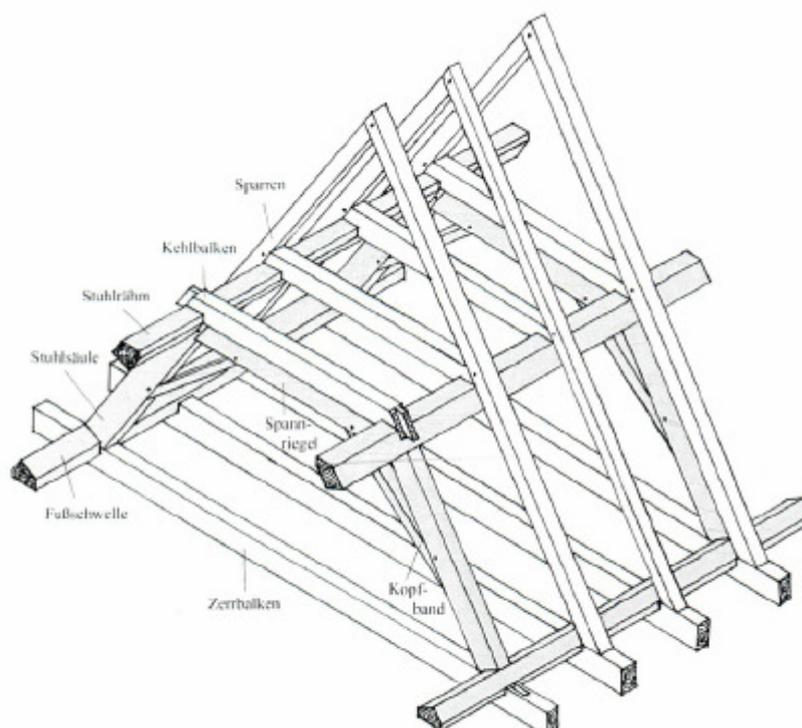


Abbildung 18: Prinzipskizze eines liegenden Stuhls (Quelle: Holzer 2008)

Bei Dachwerken, bei denen eine Stuhlkonstruktion verwendet wurde, werden in der Regel nicht bei allen Gespärren ein Paar Stuhlsäulen mit zugehörigem Spannriegel und Stuhlrähm angeordnet, sondern nur bei jedem dritten oder vierten. Diese Gespärre werden als „Bindergespärre“ bezeichnet und stellen die Hauptquerträger des Dachwerks dar. Jene Gespärre, in denen keine Stuhlsäulen angeordnet sind, bezeichnet man als „Leergespärre“. In vielen Fällen werden die Bundträmme der „Leergespärre“ abgeschnitten und laufen nicht durch. Diese abgeschnittenen Bundträmme werden als „Stichbalken“ bezeichnet. Einen Kehlbalcken weisen jedoch alle Gespärre auf, Bindergespärre als auch Leergespärre. Durch das Vorsehen einer „Fußschwelle“ werden die Stuhlsäulen auch an ihrem Fußpunkt, zusätzlich zum Stuhlrähm am oberen Ende, durch einen längs durchs Dach verlaufenden Balken verbunden. Dadurch, dass die Stuhlsäulen auf diesem Längsholz aufstehen, erfolgt die Lastenleitung weniger konzentriert, da die Bundträmme bzw. Stichbalken der Leergespärre mithelfen, die Last der Stuhlsäulen zu tragen. Durch Ausführung des Stuhlrähms und der Fußschwelle als unregelmäßigen fünfeckigen Querschnitt und Drehung dieses Querschnitts in die Lage der Sparrenebene, liegen Fußschwelle, Stuhlsäule und Stuhlrähm in derselben Ebene. Dadurch ist man problemlos in der Lage, zwischen diesen Konstruktionshölzern einen Windverband anzuordnen. Der Windverband kann in Form von „Andreaskreuzen“ oder in Form von A- bzw. V-förmig angeordneten Streben ausgeführt werden. Oft wird dieser Windverband durch ein auf halber Höhe zwischen Fußschwelle und Stuhlrähm verlaufendes, horizontales Konstruktionsholz ergänzt, dem s. g. „Brustriegel“. Jene Windlasten, welche auf die Giebelwände wirken, werden durch diesen Windverband problemlos in die traufenseitigen Wände abgeleitet. Weiters wird eine Schiefstellung der Gespärre verhindert und die gesamte Dachkonstruktion in firstparalleler Richtung verstärkt.

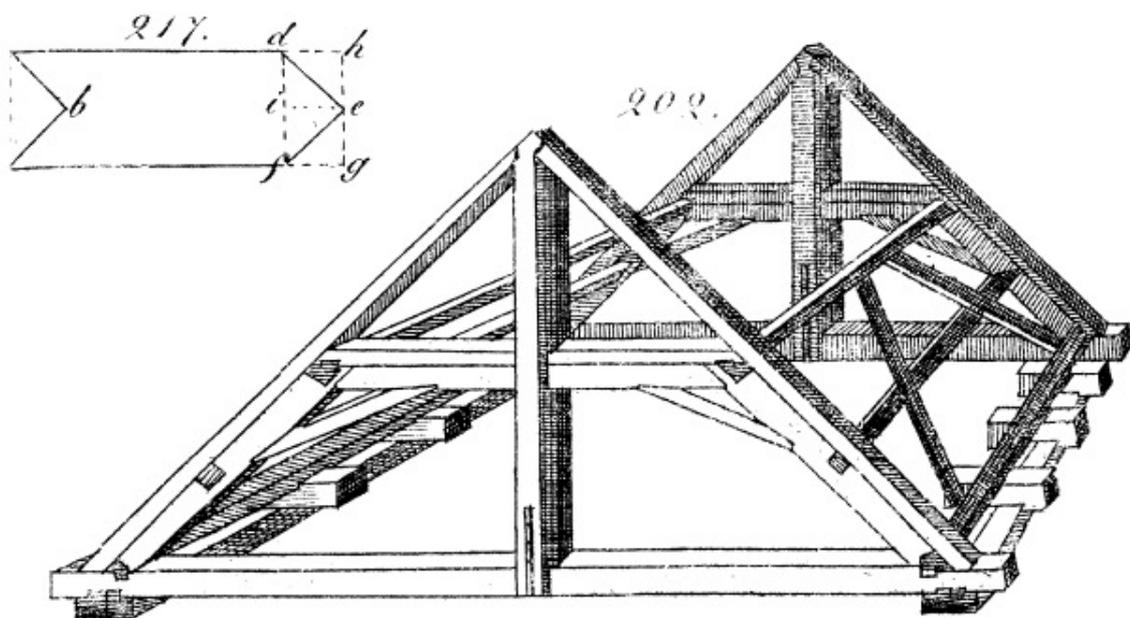


Abbildung 19: Liegender Stuhl mit Hängesäule und Windverband (Quelle: Holzer 2008)

Die Grenze des technisch Machbaren wird bei Sparrendächern mit liegendem Stuhl dann erreicht, sobald der Bundtram eine gewisse Spannweite überschreitet. Ist dies der Fall, benötigt der Bundtram ein Zwischenaufleger. Durch Hochhängen des Bundtrams an den Sparren, kann ein solches Zwischenaufleger erreicht werden. Ein derartiges Zugglied, an dem der Bundtram aufgehängt wird, nennt man „Hängesäule“. Die Hängesäulen liegen in den meisten Fällen in den Bindergespärren. Eine seit der Renaissance gängige Konstruktion ist die verdoppelte Hängesäule, die den Kehlbalcken und den Bundtram zangenartig umgreift. Der unterste Anschluss der Hängesäule an den Bundtram erfolgt seit dem späten Mittelalter durch s. g. „Hängeeisen“, da an diesem Punkt große Zugkräfte zu übertragen sind. Die Kehlbalcken der Leergespärre werden durch einen Über- oder Unterzug, welcher ein vergleichbares Zwischenaufleger darstellt und an die Hängesäule angeschlossen ist, gehalten.

Die Kombination aus Hängesäulen und Dachwerken mit liegenden Stühlen stellt den Schlüssel zu großen Spannweiten im traditionellen handwerklichen Dachwerksbau dar.

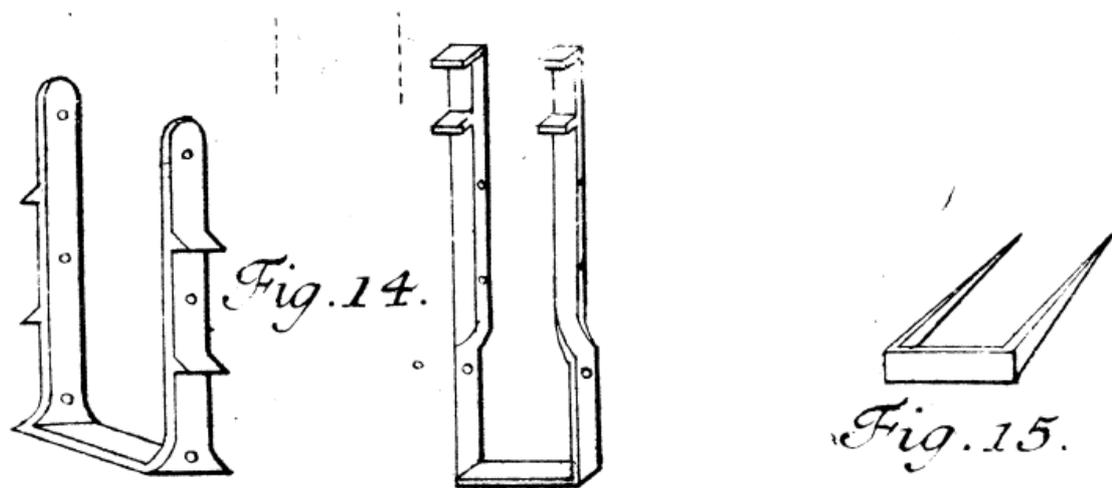


Abbildung 20: Eiserne Verbindungsmittel für den zugfesten Anschluss einer Hängesäule

(Quelle: Holzer 2008)

Bis zum ersten Drittel des 19. Jahrhunderts sollte es noch dauern, bis die Etablierung der Wissenschaft „Bauingenieurwesen“ von Statten ging. Zu dieser Zeit waren die Standardlösungen des traditionellen Zimmermannhandwerks für weitgespannte Dachkonstruktionen nicht mehr ausreichend. Auf der Suche nach immer weiter gespannten Tragwerken, nicht nur im Brückenbau sondern auch im Hochbau, konnte sich schließlich das

moderne Fachwerk als siegreiche Lösung aus zahlreichen unterschiedlichen experimentellen Systemen durchsetzen.⁶⁰

Die in diesem Kapitel beschriebenen Konstruktionshölzer sind im Kapitel 3.5.4. im Detail graphisch dargestellt (siehe Abb. 36 bis 41).

⁶⁰ Holzer 2007, S. 130.

3.3. Bestandssituation

3.3.1. Allgemeines

Das MuseumsQuartier befindet sich im 7. Wiener Gemeindebezirk und wird von der Mariahilfer Straße, dem Museumsplatz, der Burggasse und der Breite Gasse bzw. der Karl Schweighofer Gasse begrenzt. Es liegt am Fuße des Spittelbergs, an der Grenze zwischen dem 7. und 1. Wiener Gemeindebezirks unmittelbar angrenzend zu den beiden Museen für Natur- und Kunstgeschichte.

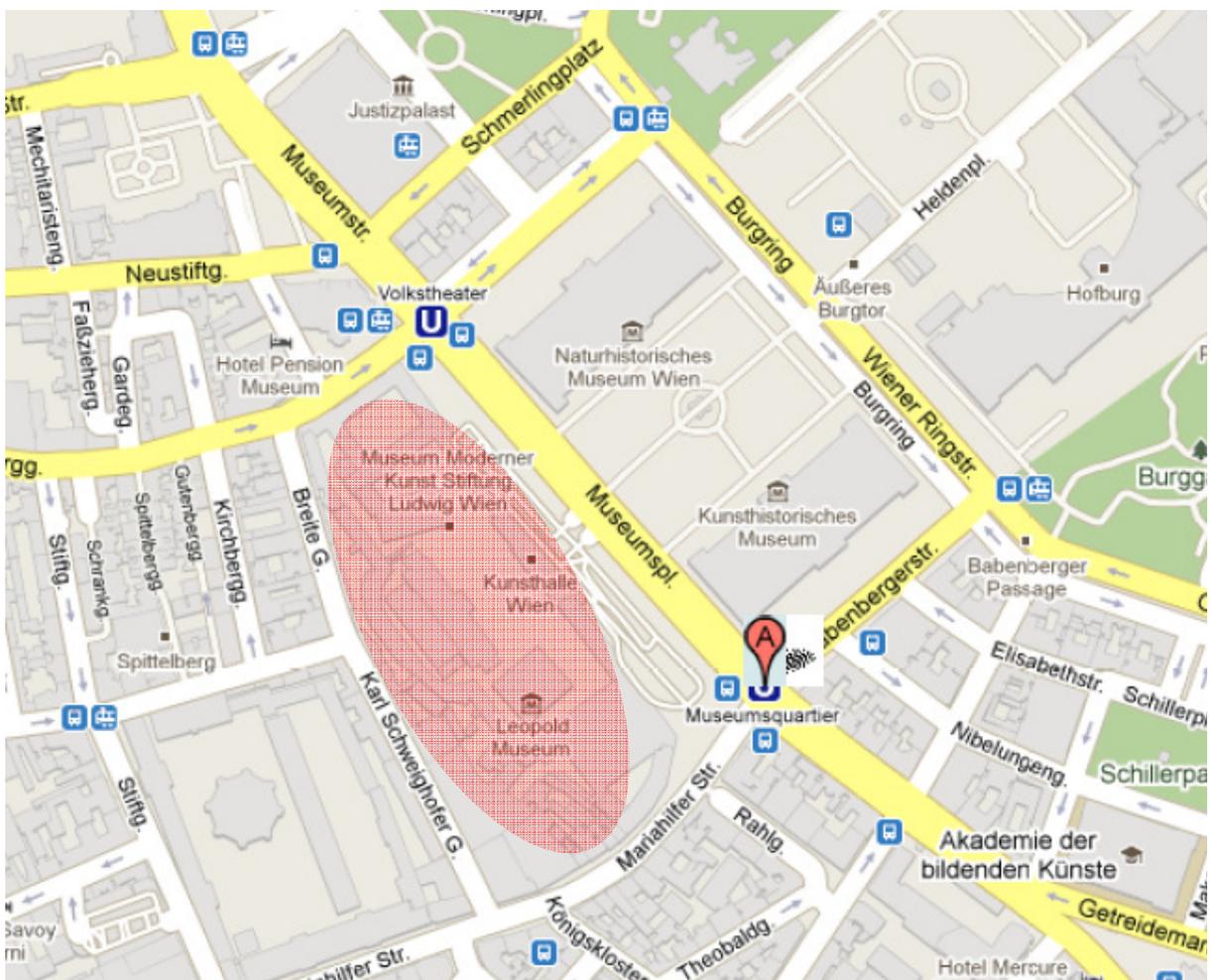
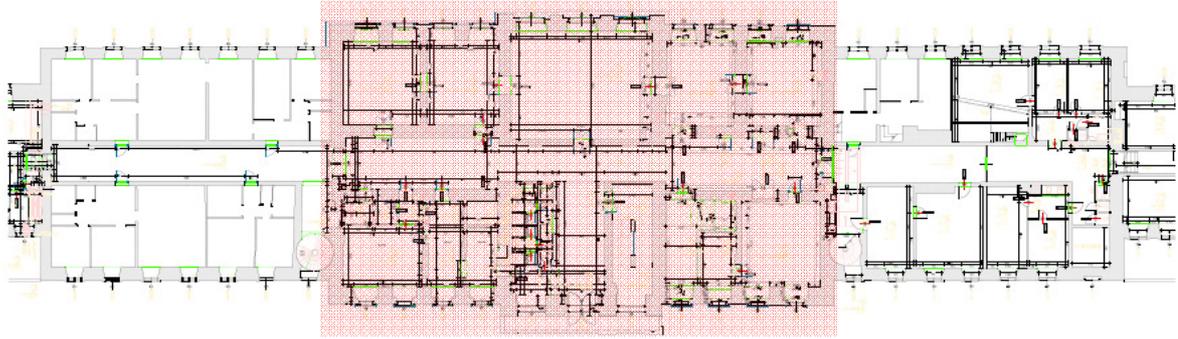


Abbildung 21: Lageplan MuseumsQuartier Wien (rote Markierung) (Quelle: Google Maps)

Da das MuseumsQuartier insgesamt über ca. 7.000 m² Dachboden verfügt, beschränkt sich der in dieser Arbeit untersuchte Bereich auf den Dachboden, der den Mittelresalit des Haupttraktes überspannt. Dieser Bereich des Dachbodens liegt direkt über dem Haupteingang auf der Seite des Museumsplatzes.



**Abbildung 22: Übersichtsplan Mittelresalit des Haupttraktes (rote Markierung) im MuseumsQuartier Wien
(Quelle: MuseumsQuartier Wien)**

3.3.2.Historie – Geschichtlicher Auszug

Die Historie des MuseumsQuartiers wurde im Zuge dieser Arbeit im Kapitel 3.1. ausführlich behandelt. Auf diesen Themenbereich wird daher in weiterer Folge nicht mehr näher eingegangen.

Der untersuchte Bereich des Dachbodens ist in die Barockzeit zu datieren. Nähere Ausführungen zur zeitgenössischen Bauweise der Barockzeit wurden im Kapitel 3.2.3 Barocke Dachwerke – Konstruktionsprinzipien und Elemente behandelt und werden in den nun folgenden Kapiteln nicht mehr näher erläutert.

3.3.3.Äußeres Erscheinungsbild

Der Dachstuhl über dem Mittelresalit ist als Walmdach ausgeführt. Längs der Hauptfassade zum Museumsplatz hin erstreckt sich das Hauptwalmdach mit der Firstachse parallel zur Außenfassade. Normal zu dieser Firstachse des Hauptdaches erstrecken sich drei nebeneinander liegende Walmdächer, deren Firstachsen in den Innenhof gerichtet sind. Die gesamte Dachkonstruktion weist eine einheitlich geschlossene Firsthöhe auf.

Der Grundriss entspricht annähernd der Form eines Rechtecks mit den Außenmaßen von ca. 41,00 m x 22,00 m. Die Firsthöhe beträgt etwa 7,50 m (siehe Abb. 34 und Abb. 35).

Alle Dachflächen sind mit einer doppelten Ziegeldeckung in Form der „Wiener Tasche“ gedeckt. Die äußeren Dachflächen, welche parallel zur Hauptfassade entlang des Museumsplatzes, parallel zur Mariahilfer Straße und jene, welche parallel zur Burggasse

verlaufen, weisen eine historische Ziegeldeckung auf. Alle anderen Dachflächen sind mit neuem Ziegelmaterial eingedeckt.

Die Entwässerung der Dachflächen erfolgt über eine rund um den Dachboden verlaufende Attikarinne. Das Abwasser wird mittels Rinnen in das Innere des Dachbodens geleitet und dort über innen liegende Fallrohre in den Kanal abgeleitet.

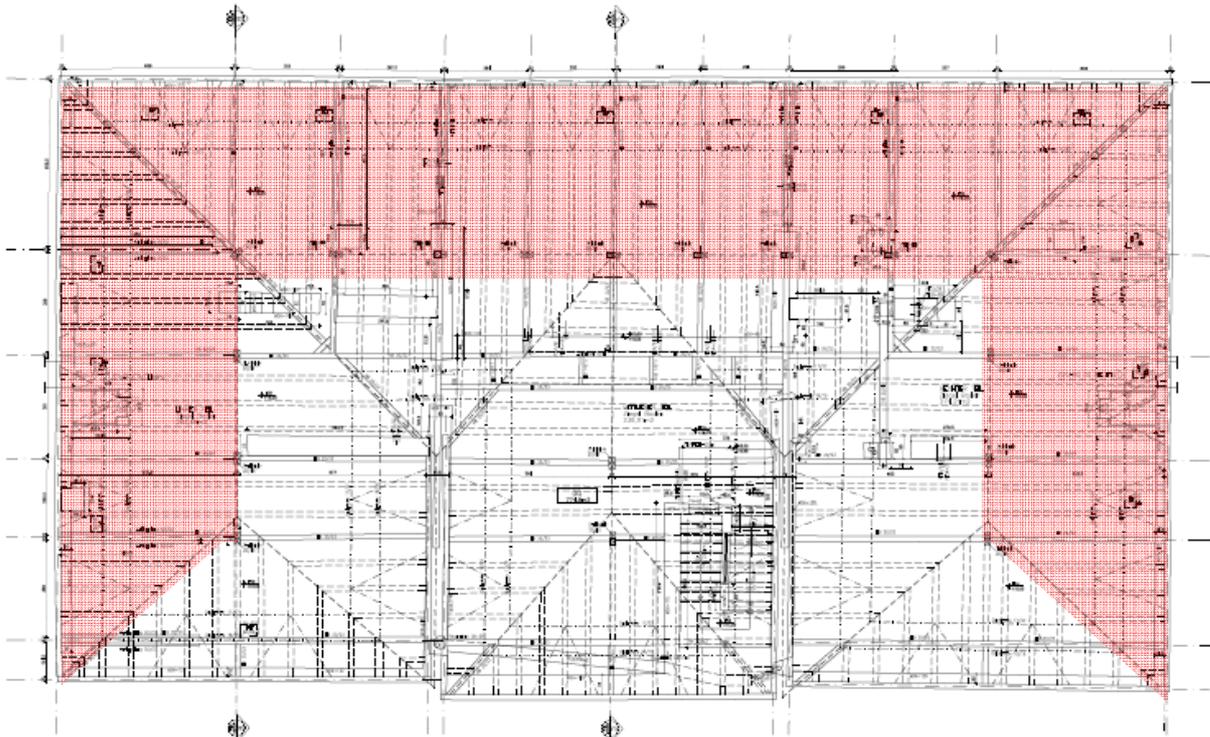


Abbildung 23: Schema-Grundriss des Barocken Dachstuhls über dem Mittelresalits des Haupttraktes. Die Dachflächen mit historischer Ziegeldeckung sind rot markiert (Quelle: MuseumsQuartier Wien)

3.3.4. Inneres Erscheinungsbild

Die gesamte Dachstuhlkonstruktion des untersuchten Dachbodens ist unverkleidet und nicht beschichtet. Die gesamte Konstruktion weist jedoch einen Kalkanstrich auf, welcher ungefähr in das Jahr 1945 zu datieren ist und der Verminderung der Brandlast während des 2. Weltkriegs dienen sollte.

Aufgrund dieses Kalkanstrichs sind nachträglich (nach ca. 1945) vorgenommene Sanierungsmaßnahmen leicht erkennbar, da die eingebauten Konstruktionshölzer diesen weißen Anstrich nicht aufweisen. Durchgeführte Sanierungsmaßnahmen sind vor allem im Bereich der Mauerbänke, der Bundträme und der Stichbalken erkennbar, da die Hölzer einen dunkelbraunen Anstrich aufweisen. Alle vor ca. 1945 erfolgten Sanierungsmaßnahmen sind

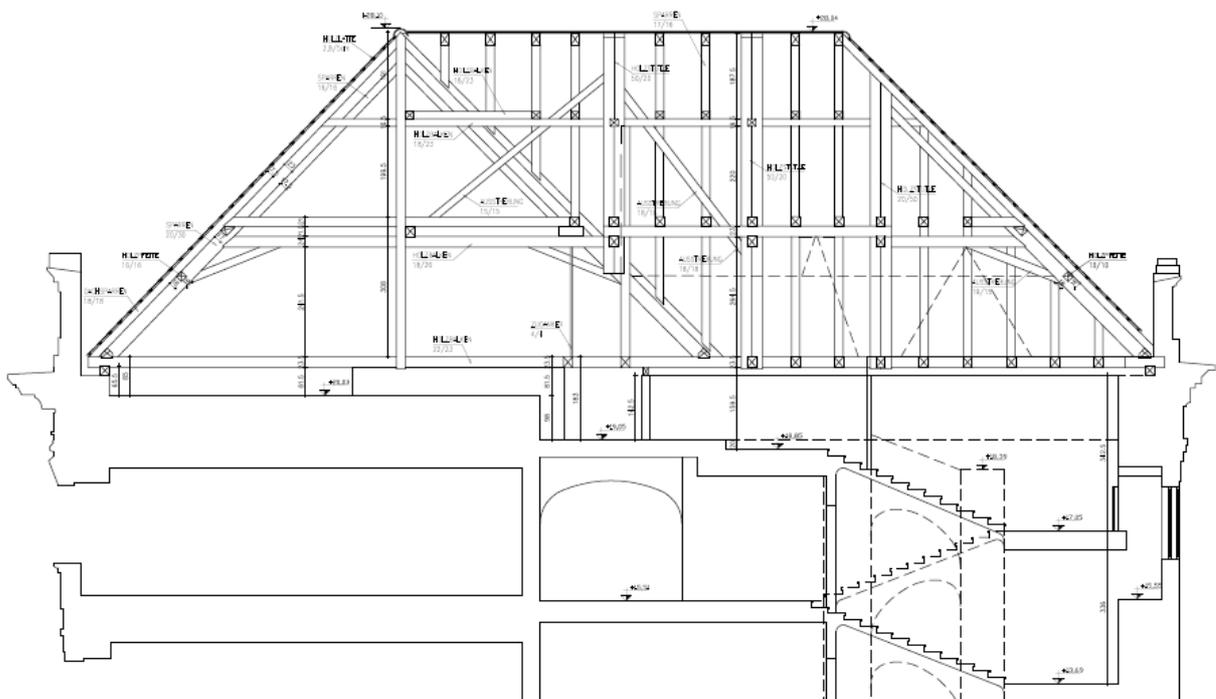
nur mehr schwer nachzuvollziehen, wenn sie nicht wie in vereinzelt Fällen anzutreffen, aus der einheitlichen Konstruktion des Dachstuhls augenscheinlich herausstechen.

Der Dachboden weist verschiedene Höhenniveaus der letzten Geschoßdecke auf. Diese resultieren aus den verschiedenen Raumhöhen der darunter liegenden Räume und werden mittels Holztreppe überwunden. Der Bodenbelag im Dachboden besteht durchgehend aus Ziegelpflastersteinen, welche den Abschluss der letzten Geschoßdecke darstellen.

Das rundum laufende Trempelmauerwerk weist ein durchgehendes Niveau der Mauerkrone auf, dadurch ergibt sich eine ebenfalls einheitliche Höhenlage der Mauerbank bzw. der Bundträme des Dachstuhls.

Der Dachboden ist ein „kalter Dachboden“. Die Ziegeldeckung des Dachstuhls liegt auf einer Lattung, welche direkt auf die Sparren befestigt ist. Es ist nur in den Bereichen der Ichen und der Attika eine Dachschalung unter der Verblechung vorhanden. Die Ziegeldeckung stellt den einzigen Schutz gegen eintretenden Niederschlag dar.

Die natürliche Belichtung des Dachbodens erfolgt durch kleine, über den gesamten Dachboden verteilte Dachflächenfenster, welche im Bereich hinter der Attika liegen. Zusätzlich wurde eine künstliche Belichtung in Form von Leuchtstoffbalken im gesamten Dachboden angebracht, um eine ausreichende Belichtung zu gewährleisten.



**Abbildung 24: Schema-Schnitt des Barocken Dachstuhls über dem Mittelresalit des Haupttraktes
(Quelle: MuseumsQuartier Wien)**

3.4. Bestandsaufnahme

Eine detaillierte Bestandsaufnahme des Dachbodens wurde im Zeitraum zwischen 17.09.2010 und 05.10.2010 vorgenommen. Das Ziel der Bestandsaufnahme war es, einen Überblick über den Bauzustand des Tragwerks, die einzelnen Bauteile und deren Knotenpunkte sowie der Knotenverbindungen zu erhalten. Die daraus resultierenden Erkenntnisse werden in weiterer Folge bei der Analyse des Tragsystems bzw. des Tragverhaltens berücksichtigt.

Die Bestandsaufnahme wurde mit einem Laser-Disto, einem Maßband, einem Zimmermannshammer, einem Taschenmesser, einer Taschenlampe und einer Digitalkamera durchgeführt. Es wurde kontrolliert, ob die Abmessungen der Hauptbauteile mit den Bestandsplänen übereinstimmen, was sich auch bestätigte.

Die Bestandspläne wurden von der Bauabteilung des MuseumsQuartiers zur Verfügung gestellt. Urheber dieser Bestandspläne ist das Architekturbüro von Arch. Univ. Prof. Manfred Wehdorn. Diese Pläne stellen einen wichtigen Bestandteil dieser Arbeit dar und sind Grundlage für zahlreiche Abbildungen und Illustrationen.

Mittels Digitalkamera wurde eine ausführliche Fotodokumentation erstellt, welche als Grundlage der folgenden Bauzustandserfassung dient.

Das Hauptaugenmerk bei der Bauzustandserfassung wurde dabei auf die „Binderespärre“ gelegt, welche das Haupttragwerk der Dachkonstruktion darstellen.

3.4.1. Schadensbilder

In diesem Kapitel soll ein Überblick über die festgestellten Schäden an der Dachstuhlkonstruktion gegeben werden. Dabei wird in den folgenden Unterkapiteln zuerst die theoretische Erläuterung der einzelnen Schadenstypen angeführt und unmittelbar danach auf diesen festgestellten Schadenstyp, falls vorhanden, an der untersuchten Dachstuhlkonstruktion eingegangen. Hierzu wurde jenes Konstruktionselement als Beispiel herangezogen, welches den größten Schadensgrad aufwies. Die wesentlichen Daten zu Schadensort, Schadensart und Schadensumfang werden hier im Detail durch beigefügte Fotos und zugehörige Planausschnitte erörtert.

3.4.1.1. Durchfeuchtungen

An der Dachstuhlkonstruktion waren augenscheinlich keine Durchfeuchtungen der Holzkonstruktion festzustellen. Der gesamte Dachstuhl befand sich in einem trockenen Zustand. Es waren keine Stellen mit permanentem Wassereintrag ersichtlich. Weiters konnte auch keine aufsteigende Nässe aus dem Mauerwerk oder stehende Nässe festgestellt werden. Der gesamte Dachboden wurde in einem sehr trockenen Zustand vorgefunden.

Lediglich waren feuchte Stellen an der Konstruktion ersichtlich, welche auf temporären Wassereintrag schließen lassen. Dieser zeitlich stark begrenzte Wassereintrag ist meiner Meinung nach auf eine stellenweise undichte Dachhaut zurückzuführen (siehe Abb. 26). Vor allem im Bereich der Dachflächen mit historischer Ziegeldeckung (siehe Abb. 23) sind solche feuchte Stellen an den darunter liegenden Konstruktionshölzern vermehrt festzustellen. An diesen Stellen kommt es auch in weiterer Folge zu Verfärbungen des Holzes, welche in Kapitel 3.4.1.2. im Detail erläutert werden.

Im Bereich der Stichbalken, der Bundtramköpfe und der Mauerbänke sind durchgeführte Sanierungsarbeiten erkennbar. Mit hoher Wahrscheinlichkeit sind diese Sanierungsmaßnahmen auf frühere Probleme mit Durchfeuchtung zurückzuführen.

3.4.1.2. Verfärbungen

Bis auf die oben angeführten, vereinzelt anzutreffenden, sanierten Konstruktionshölzer im Bereich der Stichbalken, der Bundtramköpfe und der Mauerbank weist die gesamte Dachstuhlkonstruktion einen weißen Kalkanstrich auf. Aufgrund dieses Kalkanstrichs sind Verfärbungen der Konstruktionshölzer gut mit dem freien Auge erkennbar.

Die gesamte Dachstuhlkonstruktion weist einen leichten Gelbstich auf, der bis maximal 50 % der Oberfläche des Holzes umfasst. An vereinzelt Knotenpunkten sind auch Stellen mit einer Braunfärbung sichtbar, welche aber nicht mehr als maximal 25 % der Oberfläche der betroffenen Konstruktionshölzer ausmachen. Punktweise sind auch Graufärbungen anzutreffen und vereinzelt sogar Stellen, bei denen das Holz eine schwarze Färbung aufweist. Bei diesen schwarzen Stellen ist auch eine Kristallbildung an der Oberfläche des Holzes erkennbar.

Die angetroffenen Verfärbungen sind meiner Meinung nach im Wesentlichen auf die undichte Dachhaut zurückzuführen, wodurch Feuchtigkeit in Form von Flugschnee und Schlagregen in das Innere des Dachstuhls eindringen kann.

Im Allgemeinen ist festzustellen, dass im Bereich der historischen Ziegeldeckung des Daches auch die flächenmäßig größten und intensivsten Verfärbungen auftreten.

Im Bereich eines Ichsensparrens treten diese Verfärbungen in erhöhtem Ausmaß auf. An einem untergeordneten Konstruktionsholz (Brustriegel des Windverbandes) wurde an einer Stelle eine Kristallbildung festgestellt (siehe Abb. 25).



Abbildung 25: Verfärbung inkl. Kristallbildung an einem Brustriegel des Windverbandes

Die Dachdeckung unmittelbar über diesem Konstruktionspunkt ist flächendeckend neu hergestellt, inklusive neuer Ichsensverblechung und darunter liegender Verschalung. Jedoch wurde im Firstbereich an der westseitigen Dachfläche in unmittelbarer Nähe dieser Konstruktionshölzer eine größere undichte Stelle (mehrere cm breite Spalten) der historischen Ziegeldeckung festgestellt (siehe Abb. 26), durch die ein erhöhter temporärer Eintrag an Feuchtigkeit stattfindet. Dies erklärt auch die ersichtlichen Spuren von Wasser, welches an den Konstruktionshölzern hinunter geronnen ist (siehe Abb. 25 und Abb. 27)



Abbildung 26: Undichte Stelle in der Dachhaut



Abbildung 27: Wasserspuren in Form von Verfärbungen an der Konstruktion

Die gesamten Verfärbungen, die an der untersuchten Holzkonstruktion festgestellt wurden, sind auf die äußersten Fasern des Holzquerschnitts beschränkt. Weiters treten diese Verfärbungen nur an einzelnen, deutlich begrenzten Stellen der Konstruktionshölzer auf und erstrecken sich nicht über die gesamte Oberfläche (siehe Abb. 28). Es ist außerdem keine Zerfaserung der Holzoberfläche ersichtlich. Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass es zu keiner Abminderung der Festigkeit in den tieferen Randzonen der

Holzquerschnitte kommt. Daher kann aus dem Titel der Verfärbungen meiner Meinung nach von einer vollen Tragfähigkeit der Konstruktionshölzer ausgegangen werden.



Abbildung 28: Vereinzelt deutlich begrenzte Stellen der Holzverfärbungen

Hierbei gilt es auch zu berücksichtigen, dass die Holzquerschnitte durch händisches Bebeilen hergestellt wurden, und daher weisen sie Schwankungen in ihren Querschnittsabmessungen bis in den cm-Bereich auf. Aus diesem Grund wurden bei der Aufnahme der Holzdimensionen Mittelwerte herangezogen, um diese Schwankungen in den Abmessungen zu berücksichtigen. Es kann meiner Meinung nach davon ausgegangen werden, dass die betroffenen äußersten Holzschichten durch diese Reserven der Querschnittsabmessungen abgedeckt werden.

Jedoch weisen diese Verfärbungen auf eine, sich im Anfangsstadium befindende, oberflächennahe Holzfäulnis hin.

3.4.1.3. Bewachungen – Schädigungen durch Holzpilze

An der untersuchten Konstruktion waren augenscheinlich keine Bewachungen bzw. Schädigungen durch Holzpilze festzustellen. Dies lässt sich meiner Meinung nach auf zwei wesentliche Punkte zurückführen: Einerseits auf den trockenen Zustand der gesamten Dachstuhlkonstruktion bzw. des Dachbodens (siehe Kapitel 3.4.1.1.) und andererseits auf die Tatsache, dass der Dachboden eine gute „natürliche“ Belüftung aufweist. Diese s. g. „natürliche“ Belüftung ist aufgrund der Ausführung als Kaltdach gewährleistet und wird

zusätzlich durch vorhandene Dachflächenfenster und undichte Stellen in der Dachhaut unterstützt. Daher sind die Rahmenbedingungen für ein Pilzwachstum derzeit nicht gegeben.

3.4.1.4. Holzfäulnis

Im Bereich des Fußpunktes der Konstruktion wurde an einem Auswechslungsbalken und zweier daran angeschlossener Sparren Holzfäulnis in einem weit fortgeschrittenen Stadium vorgefunden. Die Struktur des Holzes dieser Konstruktionselemente ist sehr stark zersetzt (siehe Abb. 29). Bei den betroffenen Konstruktionshölzern handelt es sich dabei um Sparren der Leergespärre und dem zugehörigen Auswechslungsbalken. Trotz des hohen Grades der Schädigung ist in diesem Bereich kein Versagen der Konstruktion festzustellen.



Abbildung 29: Holzfäulnis eines Auswechslungsbalkens und Sparrens im Bereich des Fußpunktes

Die Holzfäulnis ist auf einen eindeutig begrenzten Bereich beschränkt. Außerdem befand sich dieser Bereich bei der Aufnahme in völlig trockenem Zustand. Es war keine Form von Durchfeuchtung festzustellen. Deswegen liegt die Vermutung nahe, dass diese Schädigung auf eine früher stattgefundene Durchfeuchtung der Konstruktionshölzer zurückzuführen ist, welche durch eine undichte Stelle der Attikarinne verursacht wurde. Meiner Meinung nach wurde der beschädigte Bereich der Dachhaut später saniert und damit quasi wieder „trockengelegt“.

3.4.1.5. Fraßbilder – Schädigungen durch Holzinsekten

Es konnte kein Befall von Holzinsekten an der Konstruktion festgestellt werden. Es waren weder Ausflugslöcher noch oberflächennahe Fraßgänge auszumachen.

Dies lässt sich meiner Meinung nach wie im Unterkapitel 3.4.1.3 beschrieben, auf die im Dachboden vorgefundenen klimatischen Verhältnisse zurückführen. Aufgrund der Tatsache, dass der Dachstuhl als Kaltdach ausgeführt ist und daher Temperaturschwankungen unterliegt, welche außerhalb des bevorzugten Temperaturbereichs der Holzinsekten liegen, ist die Wahrscheinlichkeit eines Holzinsektenbefalls als eher gering einzuschätzen. Auch das niedrige Feuchtigkeitsniveau im gesamten Dachraum spricht gegen einen Befall von Holzinsekten. Die im untersuchten Dachboden vorgefundenen klimatischen Verhältnisse entsprechen nicht den von Holzinsekten bevorzugten klimatischen Verhältnissen.

3.4.1.6. Chemische Korrosion

Aus dem Titel der chemischen Korrosion konnten nur in einem geringen Ausmaß Schädigungen an der Konstruktion bzw. an untergeordneten Konstruktionselementen festgestellt werden. Die angetroffene Form der Holzkorrosion wird als Mazeration (siehe Kapitel 2.2.2) bezeichnet. Sie beschränkt sich auf die Dachlatten, welche die Dachziegel tragen. Es ist eine starke braun bzw. grau Verfärbung und oberflächliche Zerfaserung der Dachlatten im Bereich der historischen Ziegeldeckung festzustellen. Dies ist auf Stoffe der Salzbildung aus dem Dachziegelmaterial und den Eintrag von Schwefeldioxid aus der Luftverschmutzung im Zusammenspiel mit Durchfeuchtung zurückzuführen.

Aus diesem Schadensbild ist meiner Meinung nach noch kein negativer Einfluss auf die Funktionsfähigkeit bzw. Tragfähigkeit der Konstruktion abzuleiten.

3.4.1.7. Form- und Lageänderungen

Form- bzw. Lageänderungen sind an den Diagonal-Hauptgespärren im Bereich der Hängesäulen festgestellt worden (siehe Abb. 30). An diesem speziellen Knotenpunkt schneiden sich zwei Dachstuhlkonstruktionen. Einerseits das Hauptdach längs des Museumsplatzes und andererseits das orthogonal dazu verlaufende Wallmdach. An diesem Punkt kommt es zu vertikalen Verschiebungen der Hängesäule bzw. der Bundträme und in weiterer Folge sind davon auch die Spannriegel und die Kehlbalken betroffen.



Abbildung 30: Bundtram und Hängesäule eines Diagonal-Haupgespärres. Knotenpunkt zweier Dachstühle

Meiner Meinung nach resultieren diese vertikalen Verschiebungen an dieser Stelle der Konstruktion aus dem Schlupf (Ungenauigkeiten) der Verbindungen. Selbst bei sorgfältigster Arbeit ist das „Zimmermannshaar“ (Ungenauigkeit) nie ganz zu vermeiden und vor allem stellte dieser Knotenpunkt für die damalige Zeit eine konstruktive Herausforderung dar.

3.4.1.8. Risse – Schwindverformungen und Schwindrisse

Die vorgefundenen Schwindrisse in den untersuchten Konstruktionshölzern, sind hinsichtlich ihrer Risstiefen größtenteils als unbedenklich (laut Definition im Kapitel 2.2.3.) einzustufen. Die Risstiefen betragen maximal ca. 7 cm, was sowohl kleiner als $0,5 b$ und auch kleiner als $0,7 h$ der Bauteilabmessungen ist.

Jedoch wurden an einer Hängesäule Risse im Bereich von Verbindungsmitteln festgestellt, welche auf ein Aufspalten des Konstruktionsholzes hindeuten (siehe Abb. 31). Die hier gemessenen Tiefen der Schwindrisse belaufen sich ebenfalls auf maximal ca. 7 cm. Die Risse sind nur auf einer Seite der Hängesäule ersichtlich. Der Querschnitt wird von den Rissen nicht durchtrennt und die Risse sind auch nicht durchgehend über die gesamte Länge vorhanden, sodass auch hier *noch* keine Gefährdung hinsichtlich des Versagens der Konstruktion aufgrund dieser Risse festgestellt werden konnte.



Abbildung 31: Schwindrisse im Querschnitt einer Hängesäule

Es ist jedoch festzuhalten, dass die hölzerne Dachstuhlkonstruktion den klimatischen Wechselwirkungen (feucht-trocken und kalt-warm) ausgesetzt ist. Dies wiederum begünstigt im zeitlichen Verlauf die Bildung neuer bzw. die Ausbreitung bereits vorhandener Schwindrisse.

Trotzdem sind meiner Meinung nach derzeitig aus dem Titel der Schwindrisse noch keine negativen Auswirkungen auf die Tragfähigkeit der gesamten Dachstuhlkonstruktion festzustellen.

3.4.1.9. Querschnittsverringeringen

Querschnittsverringeringen konnten in einem begrenzten Ausmaß, sowohl hinsichtlich der vorgefundenen Anzahl, als auch hinsichtlich ihrer Abmessungen festgestellt werden. Hauptsächlich wurden die Querschnittsverringeringen im Bereich der Bundträme vorgefunden. Zum Großteil wurden an den Oberkanten der Bundträme Auflager für die Balken der Wartungsstege herausgetrennt (siehe Abb. 32).



Abbildung 32: Querschnittsverringering an einem Bundtram (Auflager für Wartungssteg)

3.4.1.10. Brüche

Es waren zum Zeitpunkt der Bestandsanalyse des Dachstuhls keine Brüche von Konstruktionshölzern festzustellen. Die Tragfähigkeit der gesamten Dachkonstruktion war uneingeschränkt gegeben.

3.4.1.11. Veränderungen an Metallteilen

Die Metallteile der Konstruktion weisen alle eine zur Gänze verrostete Oberfläche auf. Dieser Rost hat aber keinen Einfluss auf die Tragfähigkeit der Metallteile, da sich der Rost auf die Oberfläche beschränkt und es zu keinen Querschnittsverringeringen kommt (siehe Abb. 33).

Vereinzelt sind jedoch Lockerungen der Metallteile festzustellen gewesen (siehe Abb. 33). Ursache dieser Lockerungen sind fehlende Bolzenköpfe oder Splinte. Doch auch bei diesen Veränderungen an den Metallteilen kommt es bisher zu keiner Beeinträchtigung der Tragfähigkeit. Der Kraftschluss ist meiner Meinung nach noch im vollen Ausmaß gegeben.



Abbildung 33: Hängeeisen - Oberflächenrost und Lockerung

3.4.2. Erfassung der Schadensbilder

Die systematische Erfassung der vorgefundenen Schadensbilder (siehe Kapitel 3.4.1.) an der untersuchten Konstruktion, wurde, wie in Kapitel 2.3. beschrieben, durchgeführt.

Dabei wurden die Schäden in s. g. Bauzustands-Erfassungsblätter (siehe Abb. 8) hinsichtlich ihrer Art, ihres Umfangs und ihres Ortes eingetragen. Die Schadensbilder der verschiedenen Bauteile (Konstruktionshölzer) wurden einzeln erfasst.

Darauf basierend wurde eine Bauzustandsstufe für die einzelnen Hauptgespärre ermittelt. Daraus wurde wiederum eine Bauzustandsstufe für die Gesamtkonstruktion eruiert. Die Auswertung der Ergebnisse bzw. die Zuordnung der Gesamtkonstruktion zu einer Bauzustandsstufe wird in Kapitel 3.8. näher erläutert.

3.4.3. Einstufung der Schäden

Hinsichtlich der Einstufung der Schäden ist an dieser Stelle festzuhalten, dass einige der angetroffenen Schadensbilder, der Kategorie „Schäden mit Tendenz zur Ausbreitung“ zuzuordnen sind (siehe Kapitel 2.2.). Der Reparaturaufwand und die damit verbundenen Kosten steigen im zeitlichen Verlauf nach einer exponentiellen Funktion an.

Die Ursache der häufigsten Schäden an Dachkonstruktionen ist der Eintritt von Feuchtigkeit durch undichte Stellen in der Dachhaut oder Schäden an der Dachentwässerung.⁶¹ Dies bestätigte sich auch anhand der aufgenommenen Schäden (siehe Kapitel 3.4.1.) an der untersuchten Dachkonstruktion. Als weitere, die Schadensausbreitung begünstigende Ursache muss aber auch die Tatsache berücksichtigt werden, dass die Holzkonstruktion den klimatischen Weselwirkungen (feucht-trocken und kalt-warm) unterliegt.

Im vorliegenden Fall sind folgende angetroffene Schadensbilder in die Kategorie „Schäden mit Tendenz zur Ausbreitung“ einzustufen:

- Verfärbungen (siehe Kapitel 3.4.1.2.)
- Holzfäulnis (siehe Kapitel 3.4.1.4.)
- Chemische Korrosion (siehe Kapitel 3.4.1.6.)
- Schwindrisse (siehe Kapitel 3.4.1.8.)
- Veränderungen an Metallteilen (siehe Kapitel 3.4.1.11.)

Die Auswirkungen dieser Schäden auf die untersuchte Holzkonstruktion, sind in einer Minderung der Tragfähigkeit zu sehen. Sollten sich die Schäden weiter ausbreiten, dann wäre davon zuerst die Tragfähigkeit einzelner, für die Konstruktion relevanter Bauteile betroffen. Erst in weiterer Folge wäre auch die Tragfähigkeit der gesamten Konstruktion betroffen. Derzeitig ist die Tragfähigkeit bis auf einzelne untergeordnete Konstruktionshölzer, jedoch vollständig vorhanden.

3.5. Struktur- und Systemanalyse

3.5.1. Tragwerksbeschreibung

Das untersuchte Dachwerk ist in Form eines Sparrendaches mit liegendem Stuhl und einer Hängesäule ausgeführt. Der „Liegende Stuhl“ ist eine typische Konstruktionsform für Dachwerke der Barockzeit. Diese Art der Dachstuhlkonstruktion reicht zurück bis ins späte Mittelalter. Das Konstruktionselement der Hängesäule ist seit der Renaissance eine gängige Konstruktionsform, um beim Bundtram ein Zwischenaufleger zu konstruieren, wodurch es ermöglicht wurde, größere Spannweiten zu erzielen.

⁶¹ Vgl. Kolbitsch 1991, S. 12

Näher soll in diesem Kapitel auf die barocken Konstruktionsprinzipien und Funktionen der einzelnen Konstruktionselemente nicht mehr eingegangen, da sie im Kapitel 3.2.3. ausführlich beschrieben wurden.

3.5.2. Grundriss

In der Grundrissdarstellung in Abb. 34 ist gut zu erkennen, dass Großteils jedes vierte Gespärre ein Hauptgespärre ist. In der Zeichnung sind die Leergespärre strichliert und die Hauptgespärre mit durchgehenden Linien dargestellt.

Weiters ist auch das sich ergebende „Netz“ an Bundträmen ersichtlich (durchgehende Linien), welches den Dachraum überspannt und bis auf zwei Stellen bei den Kamingruppen (blaue Markierung) nur auf der rundum laufenden Mauerbank aufliegt. Die Bundträme sind an vereinzelt Stellen temporär durch Konstruktionshölzer für Wartungsstege unterstellt. Diese „Auflagerpunkte“ wurden jedoch bei den weiteren statischen Untersuchungen in Kapitel 3.7. nicht berücksichtigt.

Die A-förmig ausgeführten Windverbände sind im Grundriss ebenfalls dargestellt (strichpunktierte Linien). Es ist gut erkennbar, dass die Windverbände im ganzen Dach umlaufend an den Außenseiten vorhanden sind, wo sie ihre aussteifende Wirkung für die Gesamtkonstruktion erfüllen.

3.5.3. Systemschnitt

Der Dachstuhl entspricht vom Konstruktionsprinzip her dem in Abb. 34 dargestellten liegenden Stuhl mit Hängesäule und Windverband. Im Unterschied zu dem in Abb. 19 dargestellten Dachstuhl weist die untersuchte Konstruktion aufgrund der großen Spannweite im oberen Drittelpunkt eine zweite Kehlbalckenlage auf. Dadurch entsteht ein zusätzlicher Auflagerpunkt der Sparren. Ein weiteres Konstruktionselement welches in der Abb. 19 nicht vorhanden ist, stellen die inneren Streben in der oberen Hälfte der Dachkonstruktion dar. Diese übernehmen die Funktion, die Hängesäule nach oben hin abzustützen und gleichzeitig die Lasten schräg nach außen zu den Stuhlsäulen abzuleiten.

Im Kapitel 3.5.4. wird auf die Dimensionen und Funktionen der einzelnen Konstruktionshölzer des Dachstuhls näher eingegangen. Die Knoten und Verbindungsmittel werden anhand von 3D-Darstellungen diskutiert bzw. im Detail veranschaulicht.

Eine räumliche Darstellung der gesamten Tragstruktur des Dachstuhls ist in Abb. 42 dargestellt.

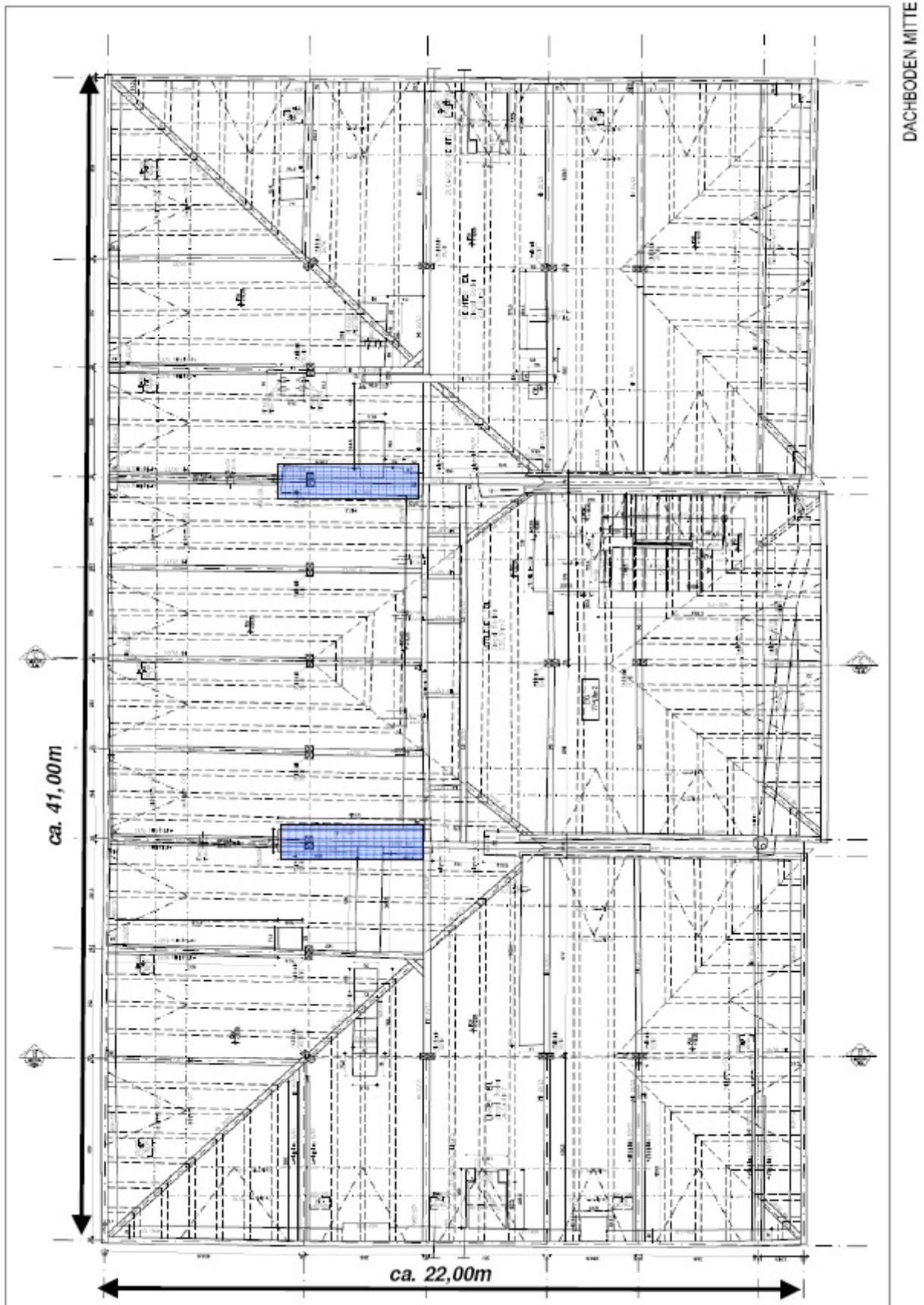


Abbildung 34: Grundriss des Barocken Dachstuhls über dem Mittelresalits des Haupttraktes
(Quelle: Museumsquartier Wien)

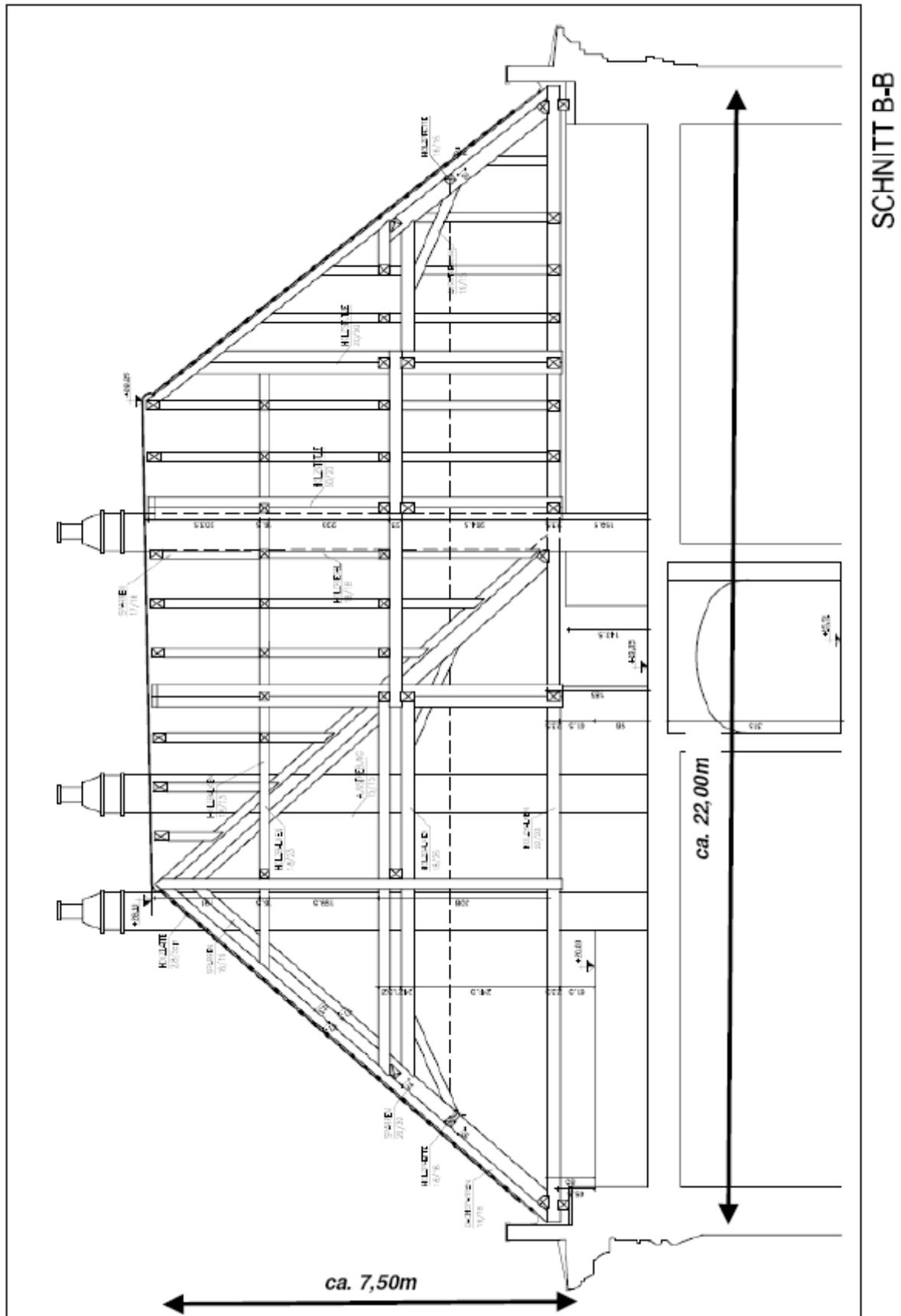


Abbildung 35: Systemschnitt des Barocken Dachstuhls über dem Mittelresalit des Haupttraktes (Quelle: MuseumsQuartier Wien)

3.5.4. Knoten und Verbindungsmittel

Um eine Beurteilung des Gesamttragwerks durchführen zu können, ist die Ausbildung der einzelnen Knoten der Dachkonstruktion von besonderer Bedeutung. Daher werden nachfolgend in diesem Kapitel alle Knoten des Dachwerks im Detail diskutiert und durch 3D-Abbildungen veranschaulicht. Dabei werden vor allem die ausgeführten Verbindungen und die verwendeten Verbindungsmittel der einzelnen Konstruktionshölzer genau erläutert.

Die Art der Verbindung und die verwendeten Verbindungsmittel sind für die in Kapitel 3.7. durchgeführte Berechnung der Dachkonstruktion von Bedeutung. Weiters werden auch die Dimensionen der Konstruktionshölzer angegeben, welche ebenfalls in die statische Berechnung eingeflossen sind.

Um eine übersichtliche Darstellung zu gewährleisten, wurde die gesamte Dachkonstruktion in fünf wesentliche Knoten zerlegt, welche alle Verbindungen und Verbindungsmittel der Konstruktionselemente enthalten.

Knoten A zeigt den Fußpunkt der untersuchten Dachkonstruktion. Im Knoten B ist der Anschluss der Hängesäule an den Bundtram zu sehen. Der Knoten C beinhaltet die Verbindungen des Sparrens mit dem Kehlbalken, der Stuhlsäule mit dem Spannriegel und dem Jagdband, sowie dem Stuhlrähm. In Knoten D ist der Unterzug des Kehlbalkens ersichtlich. Der Knoten E veranschaulicht den Firstpunkt und den oberen Kehlbalken.

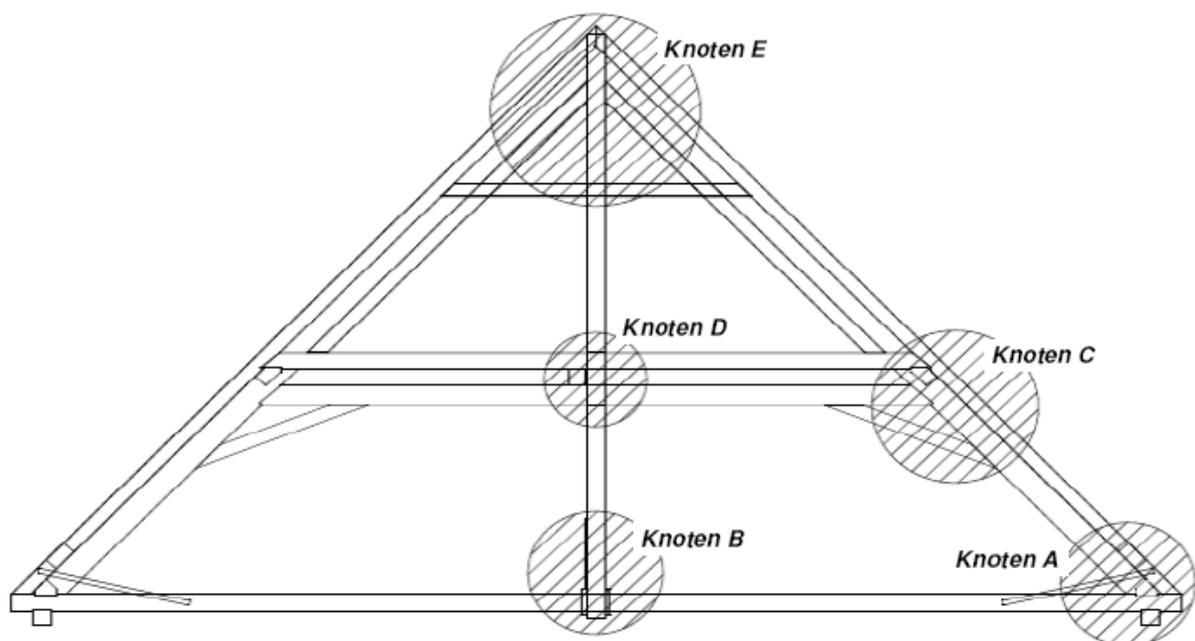


Abbildung 36: Systemschnitt des liegenden Stuhls mit Knotenbezeichnungen

3.5.4.1. Knoten A

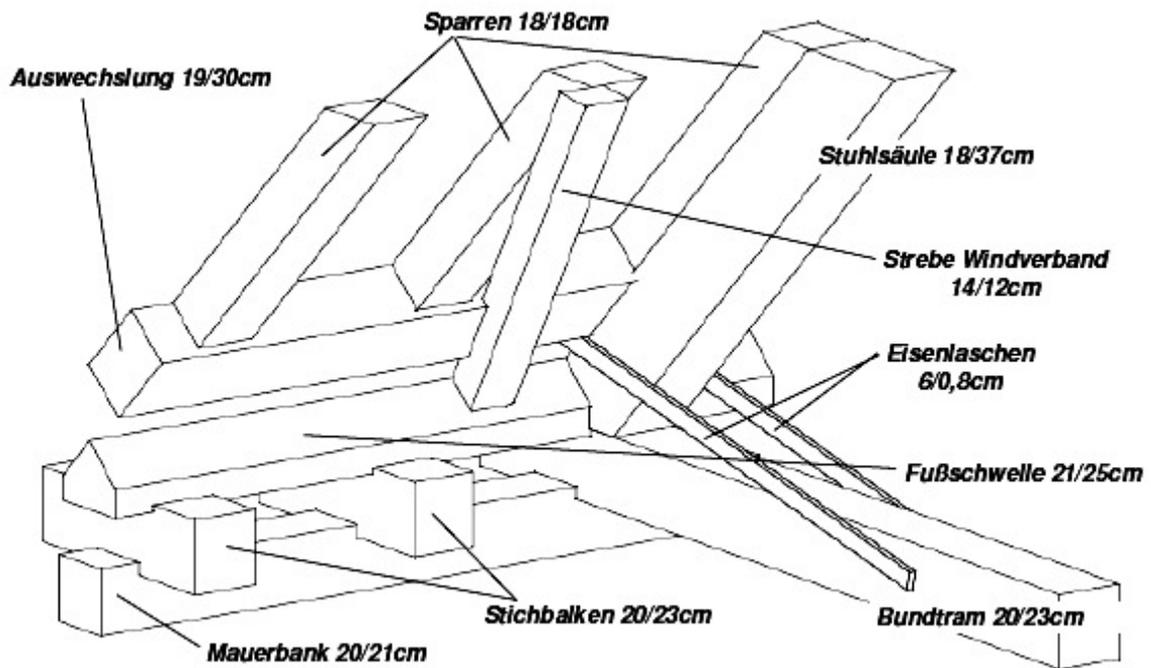


Abbildung 37: Knoten A - Fußpunkt der Dachkonstruktion in 3D-Darstellung

Knoten A stellt den Fußpunkt der Dachkonstruktion dar. Die zimmermannsmäßigen Verbindungen bzw. Anschlüsse der einzelnen Konstruktionshölzer sind in der 3D-Darstellung nur teilweise erkennbar.

Der Bundtram ist mittels Kreuzkamm an die Mauerbank angeschlossen. Die Überschneidung der beiden Hölzer beträgt ca. 3 - 4 cm. Auch die ersichtlichen Stichbalken sind über einen Kreuzkamm mit der Mauerbank verbunden. Die Mauerbank liegt lose auf der Mauerkrone auf.

Die oberhalb der Stichbalken und des Bundtram längs verlaufende Fußschwelle, ist ebenfalls durch eine Kreuzkammverbindung an den Stichbalken und den Bundtram angeschlossen. Die Fußschwelle weist eine 5-eckige Querschnittsform auf. Siehe dazu auch Kapitel 3.2.5.3.

Die Stuhlsäule stützt sich durch eine Aufklauung auf die Fußschwelle auf. Durch diese Form der Verbindung werden hauptsächlich nur Druckkräfte übertragen.⁶²

⁶² Vgl. Pech 2007, S. 58

Der Anschluss des Sparrens an den Bundtram war bei der Aufnahme des Dachbodens an keiner Stelle erkennbar. Meiner Meinung nach erfolgt die Einleitung der Druckkräfte über einen Stirnversatz mit Zapfen. Der Sparren wird zusätzlich durch Eisenlaschen an den Bundtram angehängt.

Die Sparren der Hauptgespärre liegen über die gesamte Länge auf den Stuhlsäulen lose auf. Es sind keine Verbindungen zwischen Sparren und Stuhlsäulen ersichtlich.

Im Mittelteil des Dachstuhls, an der Seite zum Museumsplatz, werden die Sparren der Leergespärre durch einen Balken im Bereich oberhalb der Fußschwelle ausgewechselt und reichen daher nicht bis zum Fußpunkt. Der Anschluss der Sparren der Leergespärre und dem Balken erfolgt durch eine Zapfenverbindung. Der Balken selbst ist wiederum mittels eines Zapfens mit den Sparren der Hauptgespärre verbunden.

Die A - förmigen Streben des Windverbands sind durch eine Zapfenverbindung an die Fußschwelle angeschlossen.

3.5.4.2. Knoten B

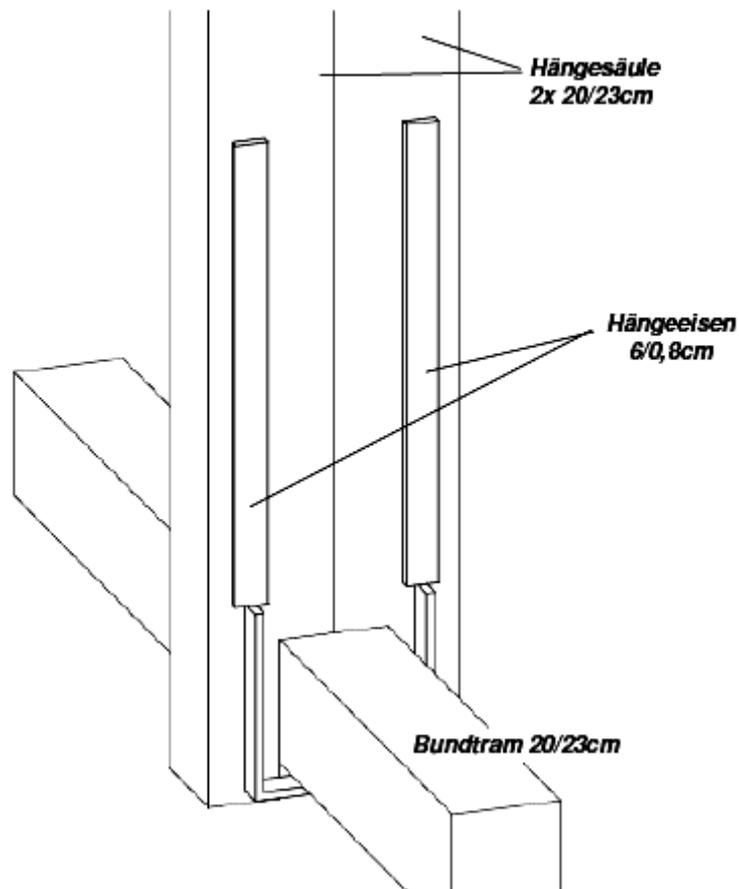


Abbildung 38: Knoten B - Anschluss der Hängesäule an den Bundtram in 3D-Darstellung

Im Knoten B wird der Anschluss der Hängesäule an den Bundtram dargestellt.

Es ist in der Abbildung gut ersichtlich, dass die doppelt ausgeführte Hängesäule den Bundtram umschließt. Der Bundtram wird durch s. g. Hängeisen an der Hängesäule aufgehängt. Das Hängeisen umgreift den Bundtram. Es wird durch einen eisernen Bolzen mit Splint und Beilagscheibe an der Hängesäule befestigt. Der Splint ist als ein keilförmiger, durch eine Öse getriebener Riegel ausgeführt.

Durch diese Konstruktion entsteht ein Zwischenauflager für den Bundtram. Siehe dazu auch Kapitel 3.2.3.5.

Die graphische Darstellung des Hängeisens in 3D konnte nur schematisch erfolgen.

3.5.4.3. Knoten C

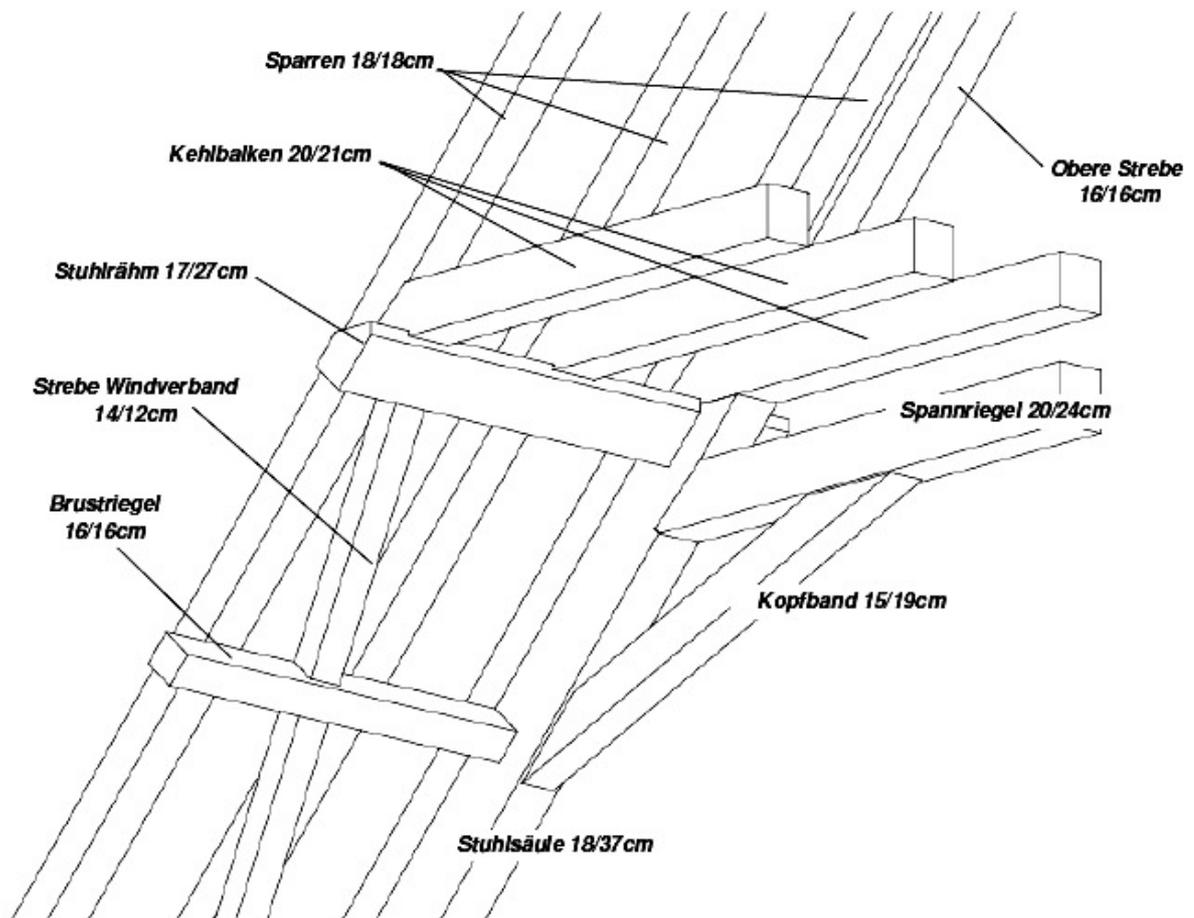


Abbildung 39: Knoten C - Ausschnitt der Dachkonstruktion auf Höhe des ersten Kehlbalkens in 3D-Darstellung

Der Knoten C zeigt einen gesamten Ausschnitt der Dachkonstruktion auf Höhe des ersten Kehlbalkens bzw. des Stuhlrähms.

Das Stuhlrähm verläuft längs durchs Dach und weist eine 5-eckige Querschnittsform auf. Siehe dazu auch Kapitel 3.2.5.3.

Die Kehlbalken sind auf das Stuhlrähm aufgekämmt. Die Verbindung ist mittels Kreuzkamm ausgeführt. Die Überschneidung der beiden Konstruktionshölzer beträgt ca. 3 – 4 cm. Weiters ist der Kehlbalken an die Sparren durch eine Zapfenverbindung angeschlossen.

Die Stuhlsäule ist an ihrem oberen Ende durch einen Zapfen mit dem Kehlbalken verbunden.

Der Anschluss des Spannriegels an die Stuhlsäule erfolgt durch einen Stirnversatz inklusive Zapfen. Durch Holznägel wird die Verbindung zusätzlich gesichert.

Die diagonal verlaufenden Kopfbänder bzw. Jagdbänder, welche die Ecke zwischen Stuhlsäule und Spannriegel aussteifen, sind an beiden Enden durch einen Stirnversatz mit Zapfen angeschlossen. Diese Verbindung wird ebenfalls durch Holznägel gesichert. Eine weitere Variante dieses Anschlusses ohne Stirnversatz ist in der Dachkonstruktion auch ersichtlich.

Die längs verlaufenden Brustriegel des Windverbandes sind seitlich durch Zapfen an die Stuhlsäule angebunden. Die A-förmigen Streben des Windverbandes sind durch ein Kreuzblatt mit dem Brustriegel verbunden.

Der obere Anschluss der Strebe des Windverbandes an das Stuhlrähm erfolgt ebenfalls durch ein Kreuzblatt, welches durch Holznägel zusätzlich fixiert wird.

3.5.4.4. Knoten D

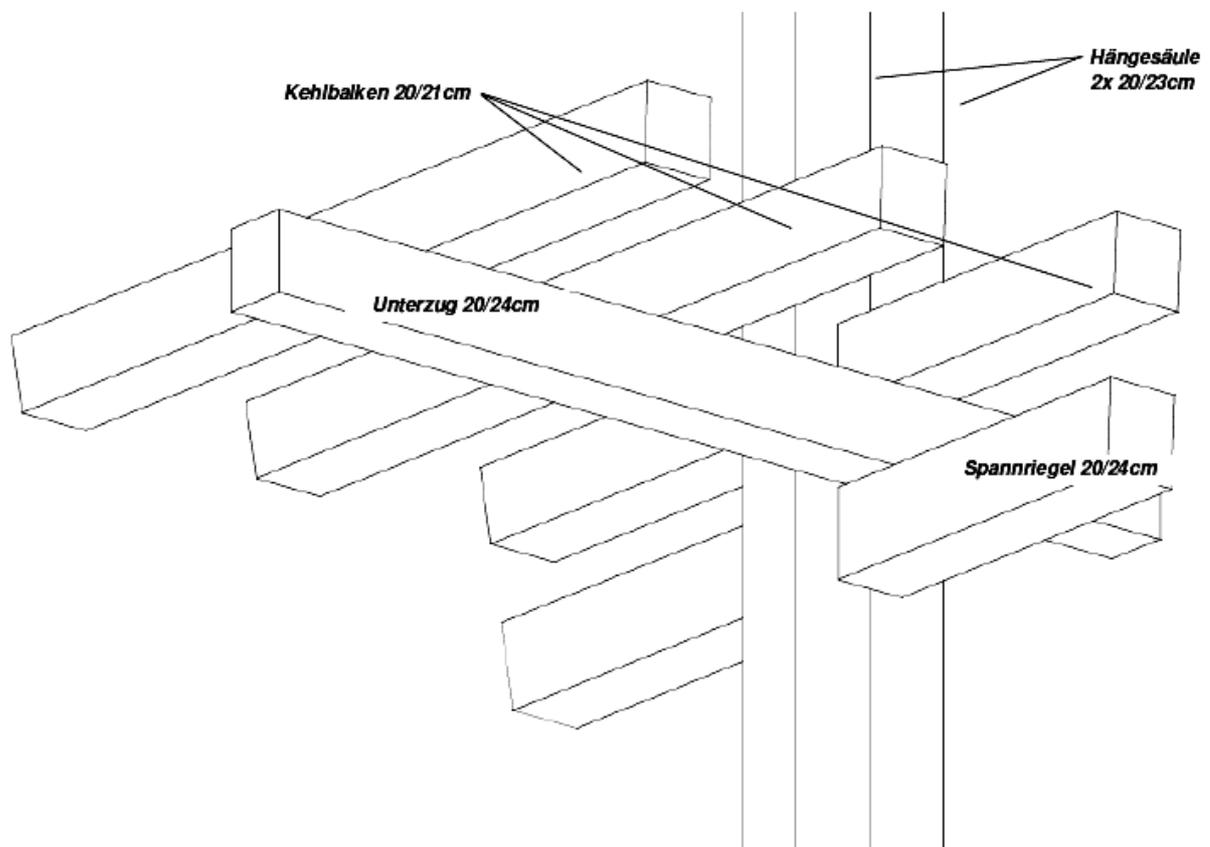


Abbildung 40: Knoten D – längs verlaufender Unterzug der Kehlbalken in 3D- Darstellung

In Knoten D ist der längs verlaufende Unterzug der Kehlbalken ersichtlich. Der Unterzug liegt bei den Hauptgespärren auf. Er spannt sich maximal über drei Hauptgespärre. Teilweise

liegt der Unterzug lose auf den Spannriegeln des Hauptgespärres auf und teilweise hat es den Anschein, als wäre er auf den Spannriegel aufgekämmt. Der Unterzug streicht an der Hängesäule vorbei und ist mit dieser nicht verbunden. Er stellt vor allem für die Kehlbalken der Leergespärre ein Zwischenaufleger dar.

In Abb. 40 ist auch gut ersichtlich, dass sowohl der Kehlbalken, als auch der Spannriegel von der doppelten Hängesäule umschlossen werden und dadurch ebenfalls ein Zwischenaufleger entsteht.

3.5.4.5. Knoten E

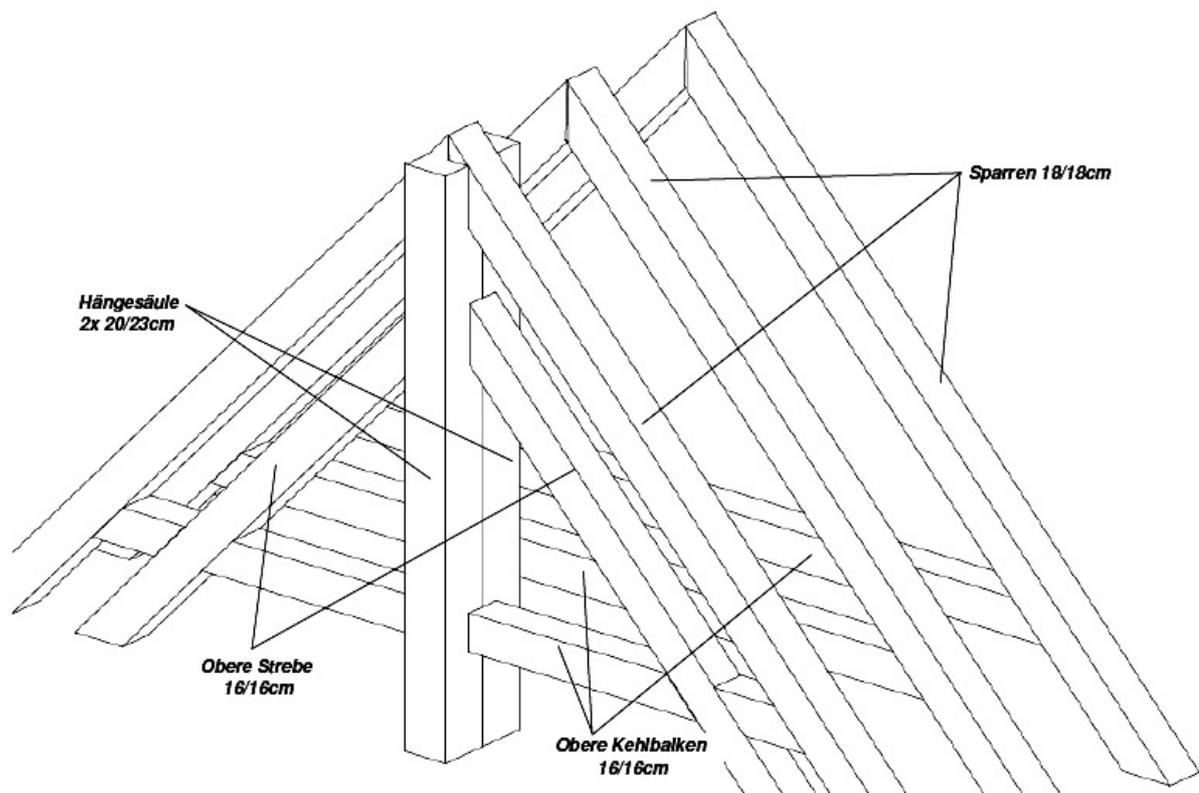


Abbildung 41: Knoten E – Bereich vom oberen Kehlbalken bis zum First in 3D-Darstellung

Der Knoten E veranschaulicht den Bereich oberhalb des zweiten Kehlbalkens bis hinauf zum First (siehe Abb. 41).

Der obere Kehlbalken wird von der doppelten Hängesäule umschlossen. Der Kehlbalken ist durch eine Zapfenverbindung mit den Sparren verbunden. Der Kehlbalken ist mittels einer

Kreuzblattverbindung an die obere Strebe angeschlossen. Der obere Kehlbalken ist in jedem Gespärre vorhanden.

Die obere Strebe schließt an ihrem oberen Ende durch eine Zapfenverbindung an die doppelte Hängesäule an und am unteren Ende ist sie ebenfalls durch eine Zapfenverbindung mit dem Hauptkehlbalken verbunden. Sie ist nur in den Hauptgespärren vorhanden und hat meiner Meinung nach die Aufgabe, die Hängesäule nach oben hin abzustützen und dadurch die Lasten der Hängesäule schräg nach außen hin abzuleiten.

Am First sind die Sparren stumpf aneinander gestoßen. In den Hauptgespärren liegen die Sparren am oberen Ende der Hängesäulen auf und werden teilweise von dieser umschlossen.

3.6. Brandschutz

3.6.1. Brandschutztechnische Bestandsaufnahme⁶³

Eine umfassende Bestandsaufnahme, wie in Kapitel 3.4. durchgeführt, bildet die notwendige Grundlage für eine glaubwürdige Einstufung der bestehenden Baustoffe bzw. Bauteile hinsichtlich ihrer möglichen brandschutztechnischen Eignung. Hierfür ist eine präzise Gefahrenbeurteilung auf der Grundlage genauer Bauteilkenntnisse erforderlich. Notwendige Bestandteile einer umfassenden brandschutztechnischen Bestandsaufnahme sind:

- Aufnahme aller relevanten Tragwerks- bzw. Bauteilabmessungen
- Feststellung der Materialkennwerte der verwendeten Baustoffe
- Bauteilkonstruktion
- Einbausituation.

⁶³ Vgl. Geburtig 2008, S. 40.

3.6.2. Abbrandgeschwindigkeit⁶⁴

Die so genannte Abbrandgeschwindigkeit beschreibt das Vordringen des Brandes in das Innere des Holzes. Unter Normbrandeinwirkung verläuft sie nahezu linear und stellt die wichtigste Größe zur Beurteilung des Holzabbrandverhaltens dar. Folgende Einflussfaktoren sind hinsichtlich der Abbrandgeschwindigkeit von Wichtigkeit:

- Holzart
- Rohdichte des Holzes
- Feuchtigkeitsgehalt des Holzes
- Verhältnis der Oberfläche zum Volumen
- Belüftungsbedingungen (Sauerstoffangebot)
- Temperaturbeanspruchung bzw. Beflammungsart
- externe Wärmestrahlung
- Querschnittsgeometrie
- eventuell zusätzliche Verformungen.

Je nach Holzart und in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt und von der Rohdichte stellen sich ganz bestimmte, sehr unterschiedliche Abbrandgeschwindigkeiten ein.

Die Entflammbarkeit von Holz kann durch einen hohen Feuchtigkeitsgehalt herabgesetzt werden. Bei Temperaturen oberhalb von 100 °C verdampft nach einiger Zeit die im Holz enthaltene Feuchtigkeit zur Gänze. Die Zeitspanne ist wiederum von der jeweiligen Holzart abhängig. Der Feuchtigkeitsgehalt von Konstruktionshölzern im eingebauten Zustand liegt meist unterhalb von 20 %, wodurch keine baupraktisch relevante Schutzwirkung gegeben ist.

Die Rohdichte der einzelnen Holzarten ist großen Schwankungen unterworfen. Sowohl bei Bäumen einer Holzart untereinander, als auch innerhalb eines einzelnen Baumes kann eine unterschiedliche Rohdichte auftreten. Grundsätzlich hängt die Rohdichte von Holz von folgenden Faktoren ab:

⁶⁴ Vgl. Moschnitschka, 2001, S. 47 - 48.

- Holzart
- Holzalter
- Feuchtigkeitsgehalt des Holzes
- Lage im Stamm
- Standort und naturgegebene Faktoren.

Die Rohdichte sinkt auf etwa 90 % ihres Ausgangswertes, sobald eine Temperatur von 100 °C überschritten wird und sinkt weiter auf etwa 20 % des Ausgangswertes, wenn bei einer Temperatur von 300 °C die Umwandlung von Holz in Holzkohle von statten geht.

Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei den untersuchten Hölzern um eine historische Bausubstanz handelt, kann im Sinne des Denkmalschutzes die tatsächlich vorhandene Abbrandgeschwindigkeit der einzelnen Konstruktionshölzer nicht nach oben genannten Einflussfaktoren untersucht bzw. aus Abbrandversuchen festgestellt werden. Daher erfolgt die Feststellung der Abbrandgeschwindigkeit über die Zuordnung zur Sortierklasse S10 laut ÖNORM B 3800-4⁶⁵. Die Abbrandgeschwindigkeit der vorhandenen Holzkonstruktion kann mit $\beta = 0,65$ mm/min angenommen werden.

3.6.3.Brandverhalten von zimmermannsmäßigen Verbindungen⁶⁶

Aus brandschutztechnischer Sicht verhält sich Holz unter Brandeinwirkung relativ günstig, das heißt, dass im Brandfall nicht mit einem plötzlichen Einstürzen der Konstruktion zu rechnen ist. Bevor die einzelnen Bauteile der Holzkonstruktion versagen, kommt es in den meisten Fällen zum Versagen der Verbindungen eines Tragwerks. Die richtige Wahl und die fehlerlose Ausführung von Verbindungen und Anschlüssen sind bei Holzkonstruktionen hinsichtlich ihrer Feuerwiderstandsdauer von größter Bedeutung.

Aufgrund der Tatsache, dass bei der untersuchten Konstruktion die Zapfenverbindungen und der Versatz die am häufigsten auftretenden Verbindungstypen sind, sollen diese in den nachfolgenden beiden Unterkapiteln aus brandschutztechnischer Sicht in Kürze beschrieben werden.

⁶⁵ ÖNORM B 3800-4, 2000, S. 25.

⁶⁶ Moschnitschka, 2001, S. 132 - 137.

3.6.3.1. Zapfenverbindungen

Moschnitschka schreibt hinsichtlich der brandschutztechnischen Beurteilung von Zapfenverbindungen folgendes: *„Aus brandschutztechnischer Sicht verhalten sich Zapfenverbindungen prinzipiell gut, obwohl der Originalquerschnitt beider Hölzer durch den Abbrand um die Tiefe der Holzkohleschicht reduziert wird, nimmt der allseitig umschlossene Zapfen keinen Schaden, da er von der Holzkohleschicht vor direkter Beflammung geschützt wird. Aufgrund der formschlüssigen Verbindung der beiden Holzbauteile wirken diese als Einheit, d.h. die Flammen können, fachgerechte und exakte Ausführung vorausgesetzt, nicht in den Zwischenraum der Kontaktstelle eindringen.“*⁶⁷

Hinsichtlich der Zwischenräume der Kontaktstellen bleibt jedoch festzuhalten, dass bei der untersuchten Dachkonstruktion sehr wohl Zwischenräume festgestellt wurden, welche eine ungünstige Auswirkung auf die Brandwiderstandsdauer des Verbindungsknotenpunktes darstellen können.

3.6.3.2. Versatz

Ebenfalls wie bei der Zapfenverbindung bildet die während des Abbrands entstehende Holzkohle eine Schutzschicht für den Restquerschnitt. Sie kann jedoch keinen Beitrag zur Tragfähigkeit liefern. Außerdem nimmt bei Erhöhung der Temperatur die Druckfestigkeit von parallel zur Faser belastetem Holz kontinuierlich ab.

Aus brandschutztechnischer Sicht müssen die Versätze und Zapfenverbindungen im Detail entsprechend berechnet werden, falls in das vorhandene und gültige Brandschutzkonzept eingegriffen wird.

3.6.4. Klassifizierung des Brandverhaltens

In diesem Kapitel wird in aller Kürze eine Klassifizierung der vorhandenen Konstruktionshölzer hinsichtlich ihres Brandverhaltens vorgenommen. Laut ÖNORM EN 14081-1 (Anhang C, Tabelle C.1, Seite 22)⁶⁸ können Bauteile mit einem Mindestwert der

⁶⁷ Moschnitschka, 2001, S. 136.

⁶⁸ ÖNORM EN 14081-1, 2006, S. 22, Anhang C, Tabelle C.1.

Gesamtdicke von 22 mm und einem Mindestwert der mittleren Dichte von 350 kg/m³ der Brandverhaltensklasse D-s2, d0 zugeordnet werden.

Die Brandverhaltensklasse gibt Aufschluss über die Flammenausbreitung innerhalb einer vorgegebenen Beflammungsdauer, über die Rauchentwicklung und das Abtropfverhalten. Diese Kriterien sind in der ÖNORM EN 13501-1⁶⁹ genauer definiert und werden im Zuge dieser Arbeit nicht im Detail ausgeführt.

3.6.5. Definition der Brandwiderstandsklasse

In diesem Kapitel wird eine Zuteilung der Konstruktionshölzer aufgrund ihrer Abmessungen und Beanspruchungsart in Brandwiderstandsklassen vorgenommen.

Die ÖNORM B 3800-4⁷⁰ unterscheidet dabei Anforderungen für die Klassifikation von Holzstützen und Holzbiegeträgern. Die Anforderungen für die Klassifikation sind die Spannungsausnutzung der Querschnitte im Kaltzustand, die Sortierklassen, das Seitenverhältnis der Holzquerschnitte und die Knicklänge der Bauteile.

Wie die in Kapitel 3.7.3. ermittelten Spannungsnachweise zeigen, liegt die Ausnutzung der Querschnitte bei ca. 60 % der maximal zulässigen Spannungen.

Daher kann die Hängesäule, die als einziges Konstruktionsholz als Holzstütze angesehen werden kann, mit dem Querschnitt 23/46 cm einer Brandwiderstandsklasse R60 zugeordnet werden.

Alle anderen Konstruktionshölzer werden der Klassifikation als Holzbiegeträger zugeordnet und weisen ebenfalls eine Brandwiderstandsklasse R60 auf.

Hinsichtlich der oben ausgeführten Überlegungen zum Thema Brandschutz kann die untersuchte Dachkonstruktion aufgrund ihrer Spannungsausnutzungen und Querschnittsabmessungen einer Brandwiderstandsklasse R60 zugeordnet werden.

⁶⁹ ÖNORM EN 13501-1, 2009, S. 17 - 24.

⁷⁰ ÖNORM B 3800-4, 2000, S. 27 - 28.

3.7. Statische Analyse

In diesem Kapitel der Diplomarbeit wird das zuvor beschriebene Dachtragwerk mit dem Stabwerksprogramm R-STAB 7.02⁷¹ hinsichtlich seines Tragverhaltens nach Eurocode 5 – ÖNORM B 1995-1-1⁷² untersucht. Die durchgeführte statische Analyse stellt eine erste grobe Veranschaulichung des Tragverhaltens dar.

3.7.1. Allgemeines

Der gesamte Dachstuhl wurde durch eine 3D-Modellbildung (siehe Abb. 42) erfasst und auch räumlich berechnet. Bei der Eingabe der Stäbe und der Stabgelenke wurde soweit als möglich auf eine wirklichkeitsnahe Simulation des Tragverhaltens geachtet. Dabei wurden aufgrund des zu großen Umfangs die Verbindungsmittelcharakteristika in das statische Modell noch nicht eingearbeitet.

In seiner Arbeit „Die Tragfähigkeit historischer Holzkonstruktionen“ geht Deinhard unter dem Titel „System-Annahmen“ folgendermaßen auf die Berechnung statisch unbestimmter Holzkonstruktionen ein: „ [...] *Wie bei allen statisch unbestimmten Aufgaben, so müssen auch hier gewisse idealisierte Annahmen getroffen werden, die der Wirklichkeit möglichst nahe kommen und doch eine Berechnung mit vertretbarem Rechenaufwand ermöglichen.*

*So gestatten zum Beispiel Holzverbindungen wie Zapfen, Versatz, Überplattung etc. aufgrund ihrer konstruktiven Ausbildung in guter Näherung die Annahme gelenkiger Stabanschlüsse.*⁷³

Holzer schreibt dazu: „ [...] *Im Gegensatz zu vielen anderen historischen Konstruktionen spielen nicht nur Festigkeiten, sondern auch Steifigkeiten eine erhebliche Rolle, weil sich die barocken Systeme nicht einfach im Grenzzustand der Traglast auf ein sofort erkennbares, statisch bestimmtes Dreieckssystem reduzieren, sondern sich bei steigender Last unterschiedliche Typen des Tragverhaltens einstellen können, [...] Ein wesentlicher Einflussfaktor in einer handwerklich historischen Konstruktion sind die Verbindungen,*

⁷¹ Dlubal Ingenieur-Software GmbH, R-STAB 7.02, 2009.

⁷² ÖNORM B 1995-1-1.

⁷³ Deinhard 1963, S. 13.

*besonders die Nichtlinearität der Verbindungen infolge von herstellungsbedingten sowie durch Schwinden entstandenen Klaffungen.*⁷⁴

Die Dimensionen des Tragstrukturmodells entsprechen denen des realen Dachtragwerkes. Es wurden sämtliche Konstruktionshölzer des Dachtragwerks bei der Modellbildung erfasst.

Neueste Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass die Berücksichtigung des Tragvermögens der Dachlatten dazu dienen kann, das tatsächliche mechanische Tragverhalten historischer Dachstühle realitätsnäher abzubilden. Es hat sich gezeigt, dass die Dachlatten vor allem für das Tragverhalten in Ichnsen-, Grat- und Gaupenbereichen und hinsichtlich Aufsteifungen der Dachebene einen wesentlichen Einfluss haben können. Dieser wesentliche Einfluss resultiert vor allem aus der Dehnsteifigkeit in Dachlattenrichtung.⁷⁵

In der hier durchgeführten Modellbildung wurden die Dachlatten nicht berücksichtigt.

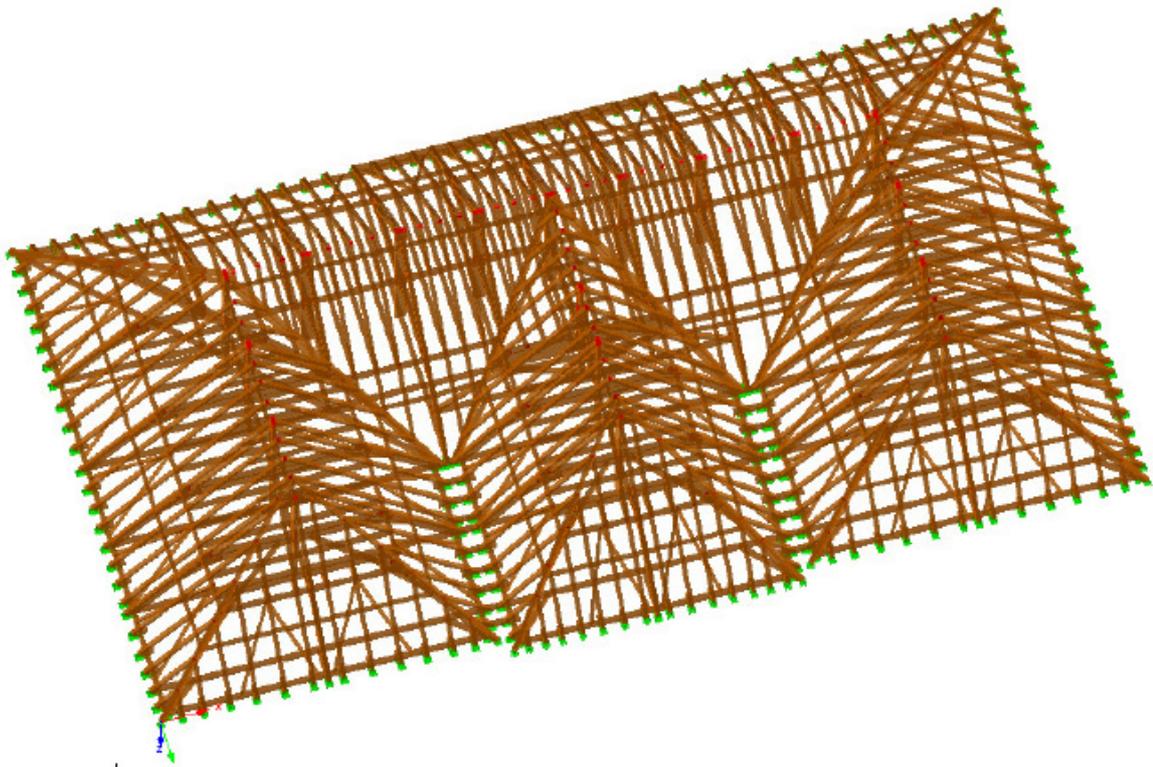


Abbildung 42: 3D-Modellbildung der Tragstruktur (Quelle: R-Stab Version 7.02)

⁷⁴ Holzer 2009, S. 46.

⁷⁵ Vgl. Meisel 2010, Heft 6, S. 338.

Das in der Abb. 43 dargestellte Fachwerk, ist das der Berechnung zu Grunde liegende 2D-Modell. Es ist ein mehrfach statisch unbestimmtes Fachwerk.

Aufgrund der Tatsache, dass der gesamte Dachstuhl nicht in der Mauerkrone verankert ist (siehe dazu Kapitel 3.2.3.3.) sondern frei aufliegt, weist das System Auflager auf, welche nur vertikale Auflagerkräfte aufnehmen können

Da die Köpfe der Bundträme und Stichbalken zusätzlich zur Mauerbank auch im Trempelmauerwerk kraftschlüssig aufliegen, wurden unter diesem Bereich doppelte Auflager angesetzt.

Die zimmermannsmäßigen Holzverbindungen wie Zapfen und Versatz wurden als gelenkige Stabanschlüsse in der Modellbildung berücksichtigt.⁷⁶ Die restlichen Knoten wurden als biegesteife Knoten ausgeführt.

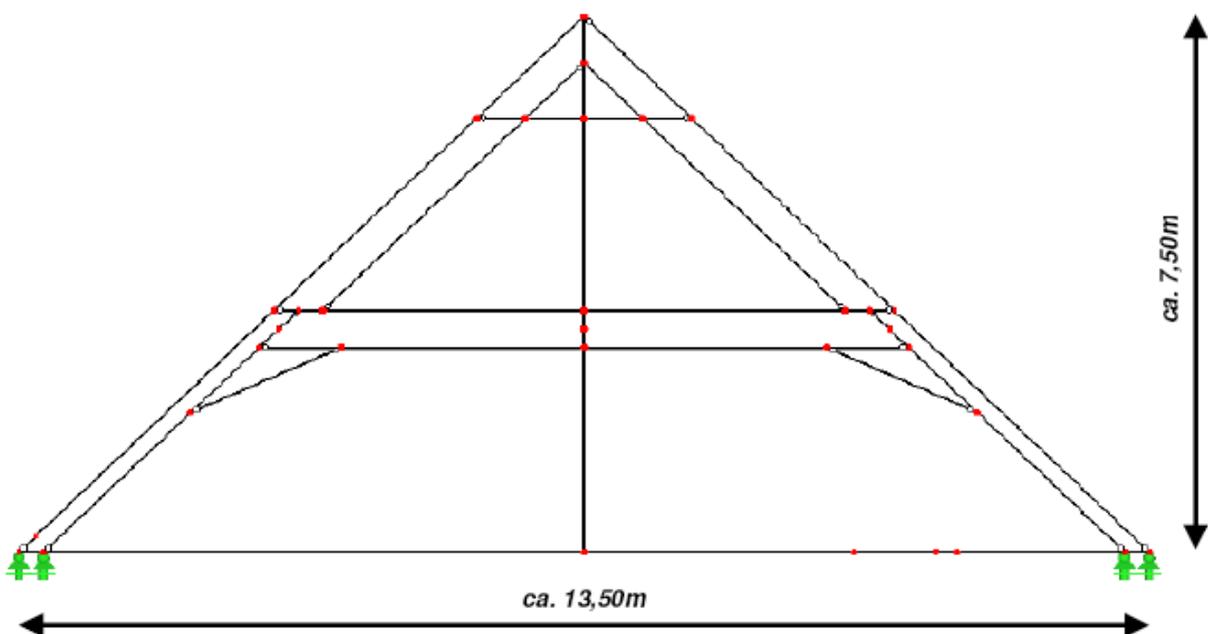


Abbildung 43: 2D-Fachwerkmodell (Quelle: R-Stab Version 7.02)

⁷⁶ Vgl. Deinhard 1963, S. 13.

3.7.2. Lastannahmen und Materialkennwerte

Für die Lastannahmen und Materialkennwerte wurde auf die aktuellen Normen zurückgegriffen. Die Lastannahmen für Eigengewicht, Nutzlast, Schneelast und Windlast wurden auf Basis des Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke eruiert.

Die in den nachfolgenden Unterkapiteln angeführten Zahlenwerte für Lastannahmen sind charakteristische Bemessungswerte und werden im Zuge der Berechnung mittels Software mit den jeweiligen Sicherheitsbeiwerten multipliziert.

Die bei der statischen Berechnung angesetzten Linienlasten wurden mit einem maximalen Sparrenabstand von 90 cm berechnet.

3.7.2.1. Eigengewicht und Nutzlasten

- Eigengewicht der Konstruktion

Das Eigengewicht der Konstruktion wurde von der Software selbstständig berechnet und berücksichtigt. → g_0

- Dachaufbau⁷⁷

Dachdeckung aus Ziegeln „Wiener Tasche“ inklusive Lattung, doppelt gedeckt, maximaler Sparrenabstand von 90 cm. → 0,90 kN/m²

$$g_1 = 0,90 \text{ kN/m}^2 \times 0,90 \text{ m (Sparrenabstand)} = \mathbf{0,81 \text{ kN/m}}$$

- Nutzlast⁷⁸

Laut Eurocode 1 (ÖNORM EN 1991-1-1) 2003⁷⁹ fällt die untersuchte

Dachkonstruktion in die Nutzungskategorie H (Nicht zugängliche Dächer außer für übliche Unterhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen).

$$q = 1,0 \text{ kN/m}^2 \times 0,90 \text{ cm (Sparrenabstand)} = \mathbf{0,90 \text{ kN/m}}$$

⁷⁷ ÖNORM B 1991-1-1, 2006, S. 15, Tabelle A.4.1.5.

⁷⁸ ÖNORM B 1991-1-1, 2006, S. 7, Tabelle 5.

⁷⁹ ÖNORM EN 1991-1-1, 2003, S. 22, Tabelle 6.9.

3.7.2.2. Schneelast⁸⁰

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k$$

s_k charakteristischer Wert der Schneelast auf dem Boden [kN/m²]

μ_i Formbeiwert (aus Bild 5.1 - Formbeiwert für Schneelasten, S. 14)

C_e Umgebungskoeffizient = 1,0

C_t Temperaturbeiwert = 1,0

α Dachneigung 46°

Im Bereich der außenliegenden Dachflächen (Regelbereich, z.B. Seite zum Museumsplatz) ergibt sich der Formbeiwert $\mu_1 = 0,8$, bei den innenliegenden Dachflächen (doppelter Bereich, hofseitig) ergibt sich der Formbeiwert $\mu_2 = 1,6$ aufgrund der Scheddach-ähnlichen Dachform.

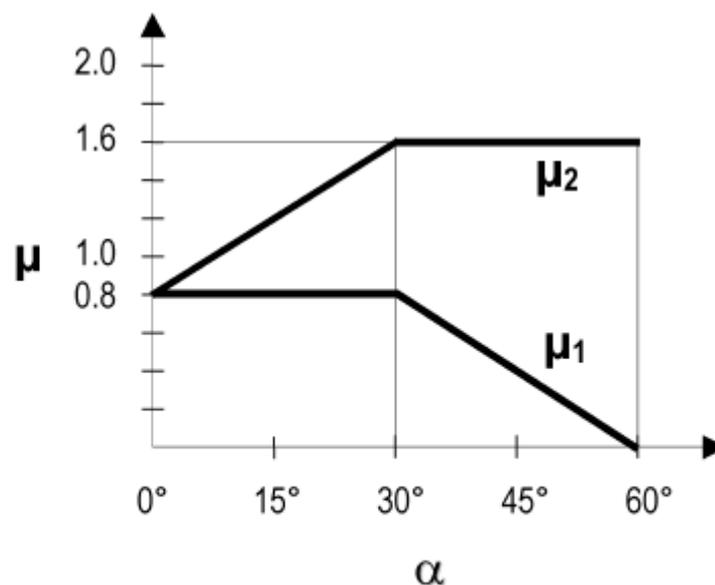


Abbildung 44: Formbeiwert für Schneelasten (Quelle: ÖNORM EN 1991-1-3, 2005)

Charakteristischer Wert der Schneelast auf dem Boden $s_k = 1,37$ kN/m².

⁸⁰ ÖNORM EN 1991-1-3, 2005, S. 12-16.

- Regelbereich:
 $s_1 = 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,37 \text{ kN/m}^2 \times 0,90 \text{ m (Sparrenabstand)} = \mathbf{0,432 \text{ kN/m}}$
- Doppelter Bereich:
 $s_2 = 1,6 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,37 \text{ kN/m}^2 \times 0,90 \text{ m (Sparrenabstand)} = \mathbf{1,973 \text{ kN/m}}$

3.7.2.3. Windlast⁸¹

Für die Berechnung der Windlasten wurde auf das Software-Programm Conlast (Stand April 2010) zurückgegriffen. Diese Software berechnet die Windlasten lt. ÖNORM EN 1991-1-4 (2005-11-01) und ÖNORM B 1991-1-4 (2009-04-15).

Bundesland:	Wien
Ort:	Neubau (7. Bezirk)
Seehöhe:	175 m
Geländekategorie:	IV (ÖNORM EN 1991-1-4, Pkt. 4.2.3.2)
Max. Gebäudehöhe:	28,00 m
Basisgeschwindigkeitsdruck $q_{b,0}$:	0,39 kN/m ² (Grundwert, Anhang A)
Basisgeschwindigkeit $v_{b,0}$:	25,10 m/s (Grundwert, Anhang A)
• Winddruck $w_D = 0,63 \text{ kN/m}^2$ $w_D = 0,63 \text{ kN/m}^2 \times 0,90 \text{ m (Sparrenabstand)} = \mathbf{0,57 \text{ kN/m}}$	
• Windsog $w_S = 0,75 \text{ kN/m}^2$ $w_S = 0,75 \text{ kN/m}^2 \times 0,90 \text{ m (Sparrenabstand)} = \mathbf{0,68 \text{ kN/m}}$	

3.7.2.4. Materialkennwerte

Die Ermittlung der Materialkennwerte von historischen Holzkonstruktionen, wie es bei diesem Dachstuhl der Fall ist, erfordert bekanntlich eine Vielzahl von Untersuchungen bzw.

⁸¹ ÖNORM B 1991-1-4, 2009.

Versuchen mit unterschiedlichsten Messgeräten und nach unterschiedlichsten Messverfahren, um mehr oder weniger gute Durchschnittswerte ermitteln zu können. Diese im Labor gefundenen Ergebnisse können unter Umständen von den tatsächlichen, im Bauwerk herrschenden, Verhältnissen erheblich abweichen. Aufgrund des Umfangs bzw. des Aufwands dieser Untersuchungs- bzw. Messmethoden wurde im Zuge dieser Diplomarbeit nur eine visuelle Sortierung der vorhandenen Konstruktionshölzer durchgeführt. Die Hölzer wurden augenscheinlich nach den Sortiermerkmalen nach ÖNORM DIN 4074-1⁸² begutachtet und einer Sortierklasse S10 zugeordnet.

Deinhard schreibt dazu: „ [...] Dazu kommen beim Holz die Einflüsse des Feuchtigkeitsgehaltes, der Wuchsfehler, Abweichungen der Fasern etc. [...] Da aber in der Zeit, aus der die untersuchten Beispiele stammen, nur ausgesucht gutes Holz verwendet wurde, kann man in der Regel von diesen ungünstigen Einflüssen absehen.“⁸³

Wenn man diese Tatsache, dass bei solchen historischen Holzkonstruktionen nur ausgewähltes, sehr gutes Bauholz verwendet wurde, könnte das Holz auch der Sortierklasse S13 zugewiesen werden. Für die statischen Berechnungen wurde jedoch wie oben angeführt die Sortierklasse S10 zugrunde gelegt, um etwaige aus diesem Titel entstehende negative Einflüsse zu berücksichtigen.

Die Sortierklasse S10 von Nadelhölzern entspricht laut ÖNORM EN 1912 Tabelle 1 (Seite 6)⁸⁴ der Festigkeitsklasse C24.

Die charakteristischen Werte der Festigkeitsklasse C24 für Nadelholz wurden bei der statischen Berechnung mittels der Software R-STAB 7.02 berücksichtigt und entsprechen jenen der ÖNORM EN 338, Tabelle 1 (Seite 7)⁸⁵.

⁸² ÖNORM DIN 4074-1, 2009, S. 7 - 18.

⁸³ Deinhard 1963, S. 14.

⁸⁴ ÖNORM EN 1912, 2010, S. 6, Tabelle 1.

⁸⁵ ÖNORM EN 338, 2009, S. 7, Tabelle 1.

Tabelle 6: Festigkeitsklassen - Charakteristische Werte (Quelle: ÖNORM EN 338, 2009)

	Nadelholz											Laubholz									
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70	
Festigkeitseigenschaften (in N/mm²)																					
Biegung	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70	
Zug in Faserrichtung	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42	
Zug rechtwinklig zur Faserrichtung	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
Druck in Faserrichtung	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34	
Druck rechtwinklig zur Faserrichtung	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5	
Schub	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0	
StEIFigkeitseigenschaften (in kN/mm²)																					
Mittelwert des Elastizitätsmoduls in Faserrichtung	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20	
5 %-Quantil des Elastizitätsmoduls in Faserrichtung	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8	
Mittelwert des Elastizitätsmoduls rechtwinklig zur Faserrichtung	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33	
Mittelwert des Schubmoduls	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25	
Rohdichte (in kg/m³)																					
Rohdichte	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900	
Mittelwert der Rohdichte	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1 080	
<p>ANMERKUNG 1 Die oben angegebenen Werte für die Zug-, Druck- und Schubfestigkeit, das 5 %-Quantil des Elastizitätsmoduls, der Mittelwert des Elastizitätsmoduls rechtwinklig zur Faserrichtung und der Mittelwert des Schubmoduls wurden mit den in Anhang A angegebenen Gleichungen berechnet.</p> <p>ANMERKUNG 2 Die tabellierten Eigenschaften gelten für Holz mit einem bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.</p> <p>ANMERKUNG 3 Es kann sein, dass Bauholz der Klasse C45 und C50 nicht immer zur Verfügung steht.</p> <p>ANMERKUNG 4 Die charakteristischen Werte für die Schubfestigkeit werden entsprechend EN 408 für Holz ohne Risse angegeben. Die Auswirkung von Rissen sollte in Bemessungsnormen behandelt werden.</p>																					

3.7.3. Statische Analyse im Kaltzustand

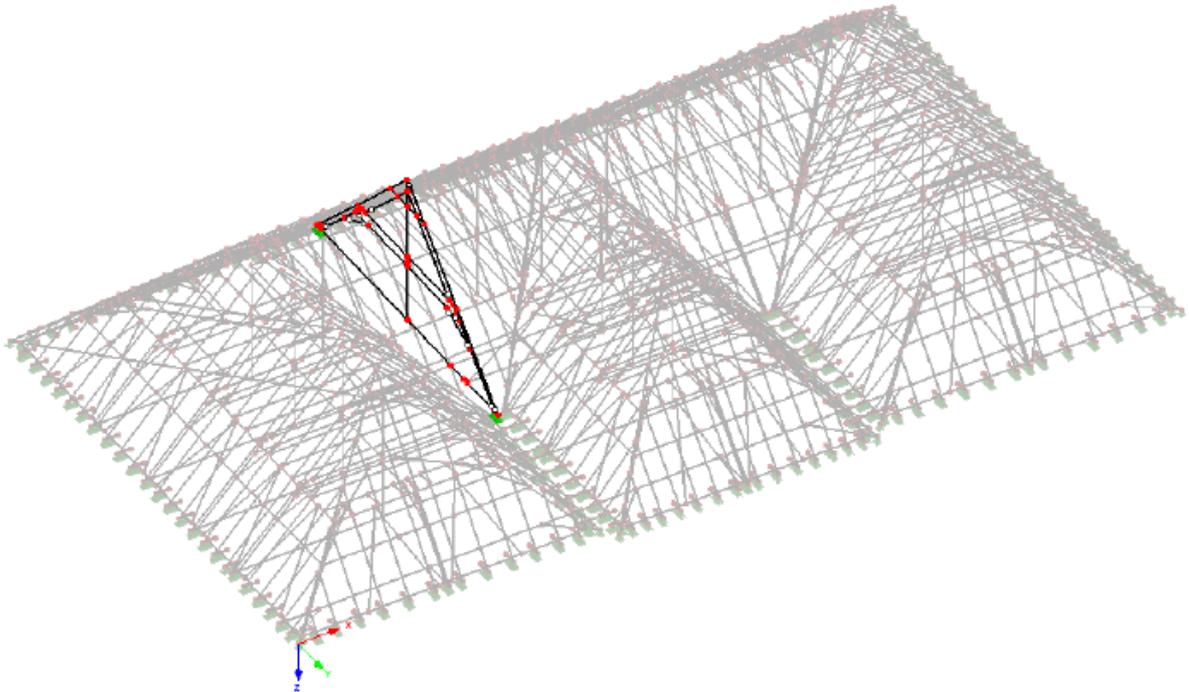


Abbildung 45: Hauptgespärre als Beispiel für die statische Berechnung (Quelle: R-Stab Version 7.02)

Für die statische Analyse im Kaltzustand wurde jenes in Abb. 45 färbig dargestellte Hauptgespärre als Beispiel herangezogen. Dieses vollständige Hauptgespärre liegt im Hauptdach, welches sich längs des Museumsplatzes erstreckt.

Für dieses Hauptgespärre werden im Folgenden die Belastungsannahmen sowie die Verläufe der Schnitt- und Verschiebungsgrößen dargestellt und erläutert.

3.7.3.1. Belastungsannahmen

Folgende Lastkombination liegt der statischen Analyse im Kaltzustand als Belastungsannahme zu Grunde:

- Ständige Lasten
 - Eigengewicht des Tragwerks g_0 mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,35
 - Eigengewicht der Dachhaut g_1 mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,35

- Veränderliche Lasten
 - Schneelasten s_1 (im Regelbereich - straßenseitig) und s_2 (im doppelten Bereich – hofseitig) mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,50 (ungünstige veränderliche Last)
 - Windlasten w_D (Winddruck) und w_S (Windsog) mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 0,90 (günstige veränderliche Last)

Diese Lastkombination hat sich als wesentlich herausgestellt und daher wurden die Berechnungen basierend auf dieser Lastkombination durchgeführt. Bei dieser Lastkombination wurden die Eigenlasten der Konstruktion, die Eigenlasten der Dachhaut, die Schneelasten und die Windlasten überlagert (siehe Abb. 46).

Aufgrund der zusätzlichen Regelungen für Hochbauten lt. ÖNORM EN 1991-1-1⁸⁶ brauchen Nutzlasten auf Dächern nicht als gleichzeitig wirkend mit Schneelasten und Windeinwirkungen angenommen werden. Daher wurden die Nutzlasten in der oben angeführten Lastkombination vernachlässigt.

⁸⁶ Vgl. ÖNORM EN 1991-1-1, 2003, S. 11.

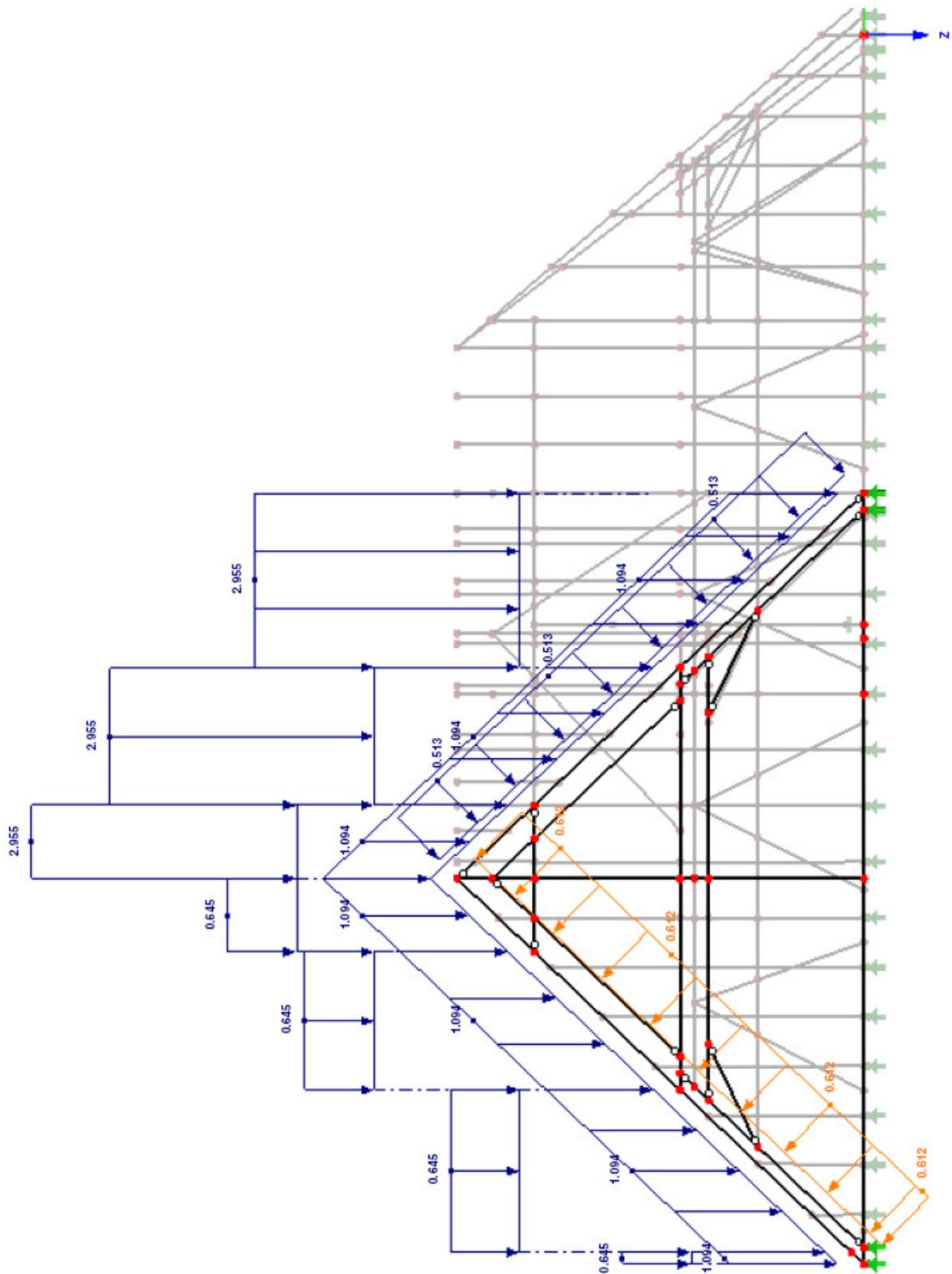


Abbildung 46: Darstellung der angreifenden Kräfte [kN/m] der maßgebenden Lastkombination für die statische Berechnung (Quelle: R-Stab Version 7.02)

3.7.3.2. Querkraftverlauf V_z

Der in Abb. 47 dargestellte Querkraftverlauf V_z weist im Vergleich zu den restlichen Knoten in 4 Punkten erhöhte Werte auf.

Der maximale Wert von 23,59 kN tritt am Fußpunkt der oberen Strebe auf, wo die obere Strebe an den Kehlbalken angeschlossen ist. Dieser Wert resultiert aus der Einleitung hoher Druckkräfte an diesem Knotenpunkt.

Der zweithöchste Wert der Querkraft von 16,11 kN wird im Bereich des Anschlusses vom Kopfband an den Spannriegel ausgewiesen. Dies ist ebenfalls auf die Einleitung von Druckkräften in diesem Punkt zu erklären.

Im Bereich der Schnittpunkte der Hängesäule mit dem Kehlbalken und dem Spannriegel kommt es ebenfalls zu erhöhten Werten der Querkraft von 12,66 kN. Diese sind jedoch aufgrund der vorgenommenen Modellbildung (biegesteifen Knoten in diesem Bereich) zu hinterfragen.

Der Wert von 10,72 kN wird am oberen Ende der oberen Strebe am Anschlusspunkt zur Hängesäule ausgewiesen. Dieser Wert ist ebenfalls auf die vorhandenen Druckkräfte in diesem Knoten zurückzuführen.

3.7.3.3. Normalkraftverlauf N

Die Normalkräfte N werden in Abb. 48 dargestellt. Im Bundtram wird der maximale Wert von 105,97 kN ausgewiesen. Diese Zugkräfte entstehen aus dem Konstruktionsprinzip des Dachstuhls, wobei der Bundtram die Sparren am seitlichen Wegrutschen hindert (siehe 2.2.3.1 Das Sparrendach).

Die größten Druckkräfte treten in der Stuhlsäule auf und weisen einen Wert von 81,80 kN auf. Die Stuhlsäule und der Sparren sind für die Übertragung der Druckkräfte vorgesehen. (siehe 2.2.3.1 Das Sparrendach).

3.7.3.4. Momentenverlauf M_y

Die in Abb. 49 dargestellte Momentenlinie M_y zeigt hohe Werte im Bereich der Hängesäule, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Modellbildung zurückzuführen sind und in der Realität in diesem Ausmaß nicht vorhanden sind.

Im Bereich des Anschlusspunktes vom Kehl balken an den Sparren sind im Vergleich zur restlichen Konstruktion erhöhte Stütz momente von 5,83 kNm ersichtlich.

Weiters sind im unteren Feldbereich der Sparren maximale Werte von 5,11 kNm ausgewiesen, welche ebenfalls auf die hier vorgenommene Modellbildung zurückgeführt werden können, da die Sparren in der Realität plan auf den Stuhlsäulen aufliegen.

3.7.3.5. Spannungsausnutzung

Abb. 50 zeigt die resultierende Spannungsausnutzung in den einzelnen Konstruktionshölzern des dargestellten Hauptgespärres.

Der maximale Wert von 61 % tritt hier im Anschlusspunkt der oberen Strebe an den Kehl balken auf. Dies ist auf den erhöhten Querkrafteintrag an dieser Stelle zurückzuführen (siehe dazu auch Abb. 47 Querkraftverlauf)

Die ausgewiesenen Spannungswerte im unteren Feldbereich der Sparren sind, wie schon beim Momentenverlauf erläutert, auf die Modellbildung zurückzuführen und werden in diesem Ausmaß im realen Tragwerk mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auftreten (siehe dazu auch Abb. 49 Momentenverlauf).

3.7.3.6. Verformungen

Die in Abb. 51 dargestellten Verformungen sind mit dem Faktor 97 überzeichnet und können nur als grobe Darstellung (qualitativ) der Verformungen betrachtet werden.

Der hier ausgewiesene maximale Wert von 19,4 mm im Bereich des unteren Feldes der Sparren ist ebenfalls, wie schon bei der Erläuterung der Momentenlinie (Abb. 49) und der Spannungsausnutzung (Abb. 50) beschrieben, auf die Modellbildung zurückzuführen. Diese Durchbiegung des Sparrens wird im realen Tragwerk in dieser Form und in diesem Ausmaß nicht vorhanden sein.

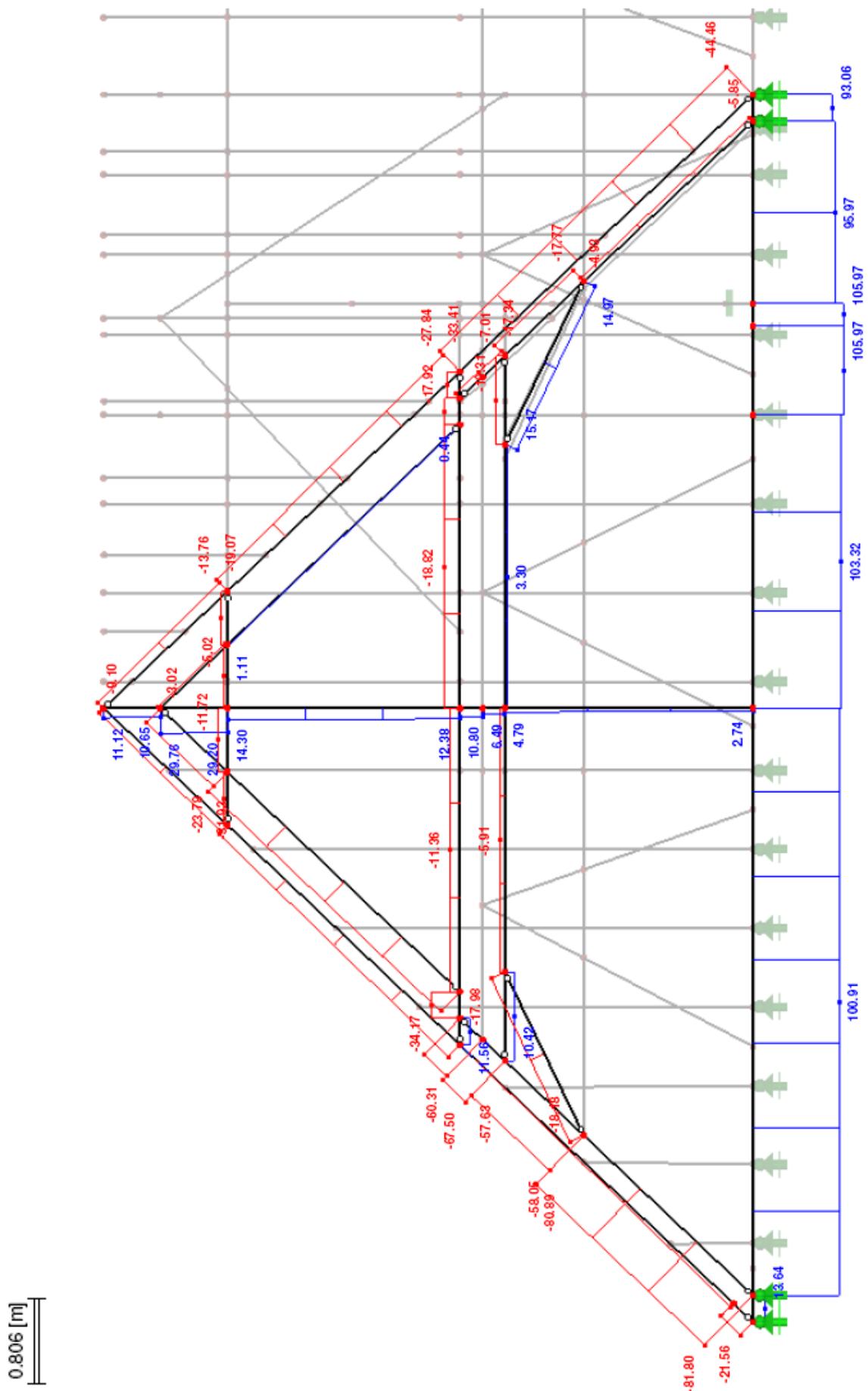


Abbildung 48: Darstellung der Normalkraftverläufe N [kN] der Konstruktion (Quelle: R-Stab Version 7.02)

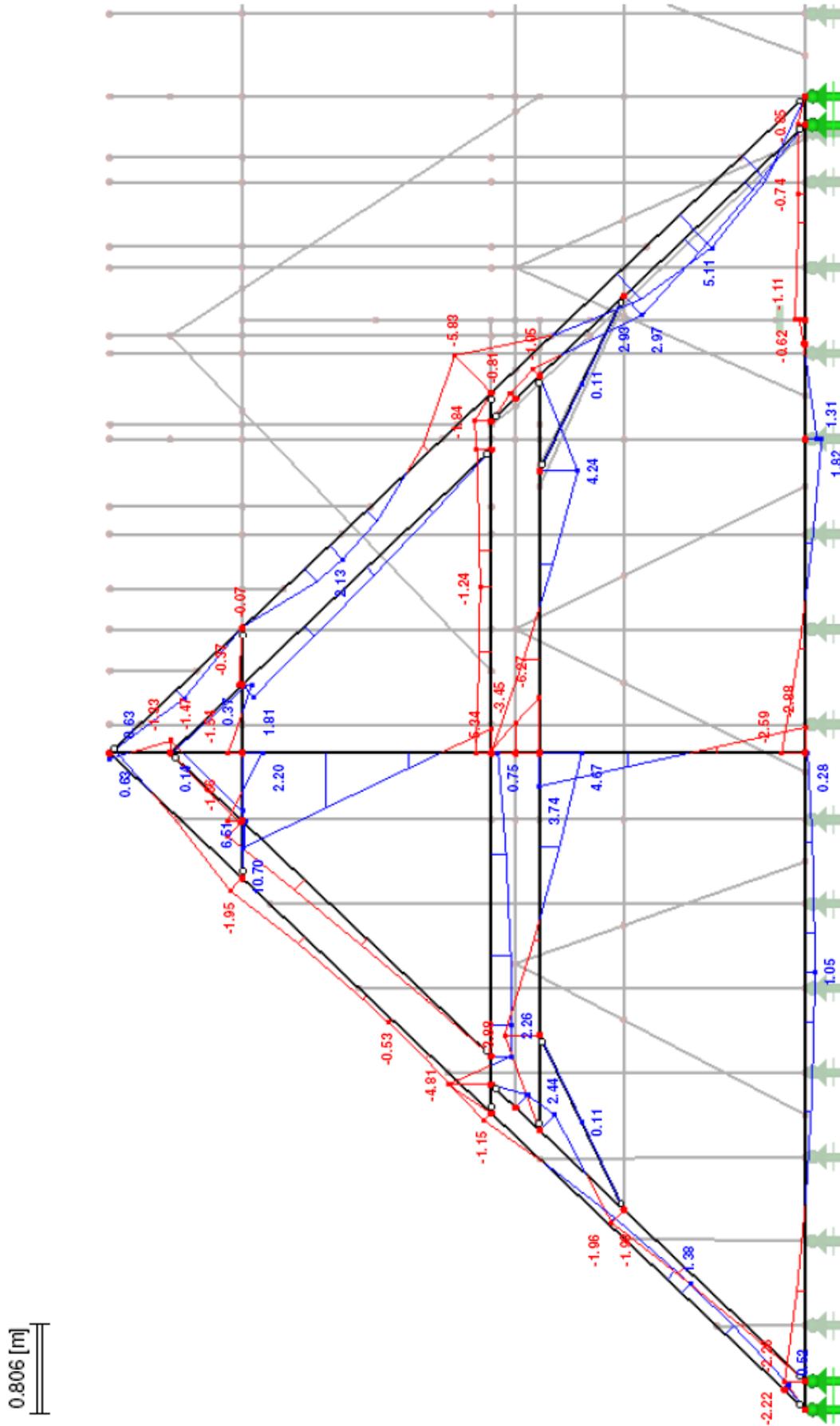


Abbildung 49: Darstellung der Momentenverläufe M_y [kNm] der Konstruktion (Quelle: R-Stab Version 7.02)

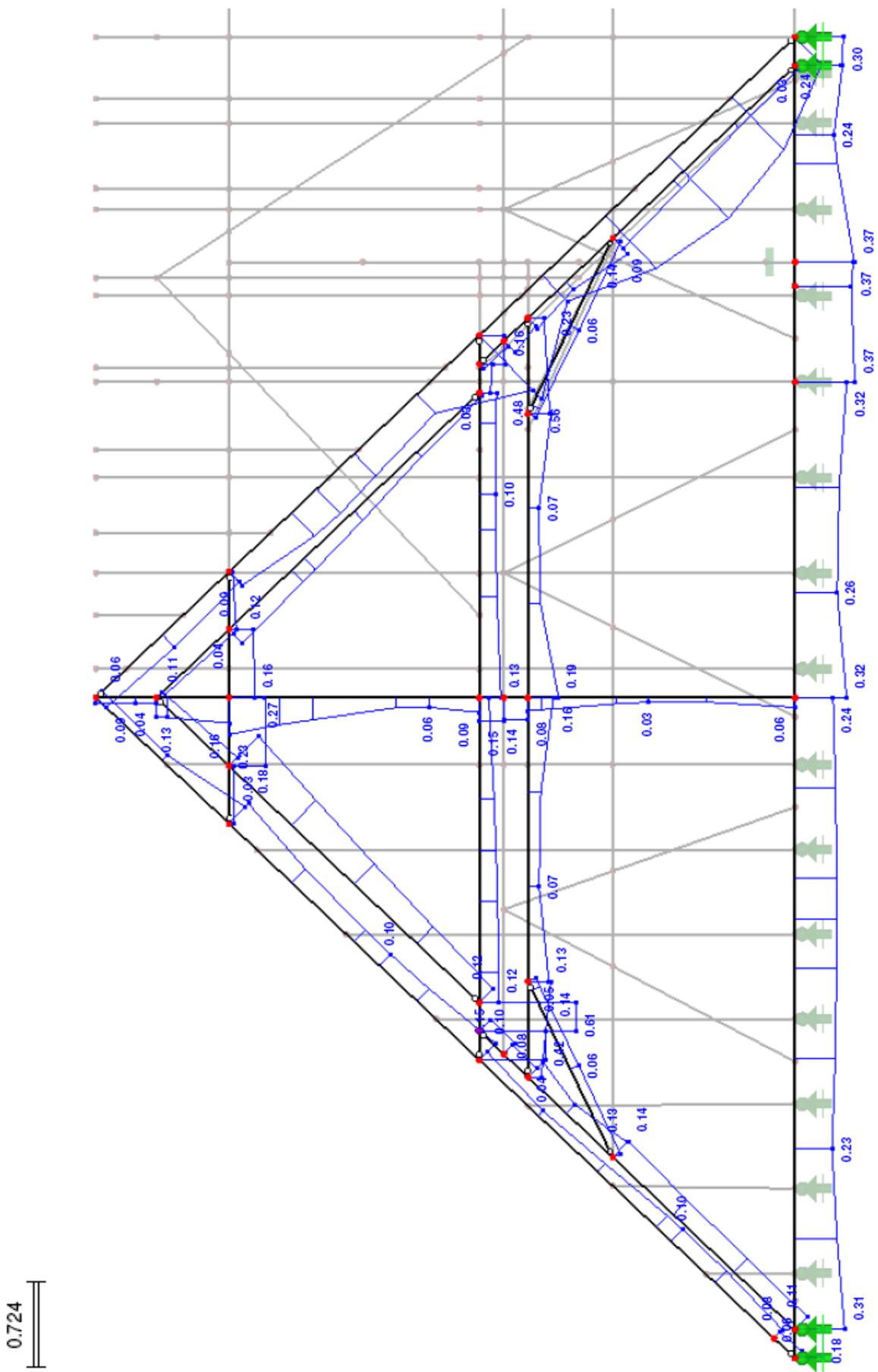


Abbildung 50: Darstellung der Spannungsausnutzung [%] der Konstruktion (Quelle: R-Stab Version 7.02)

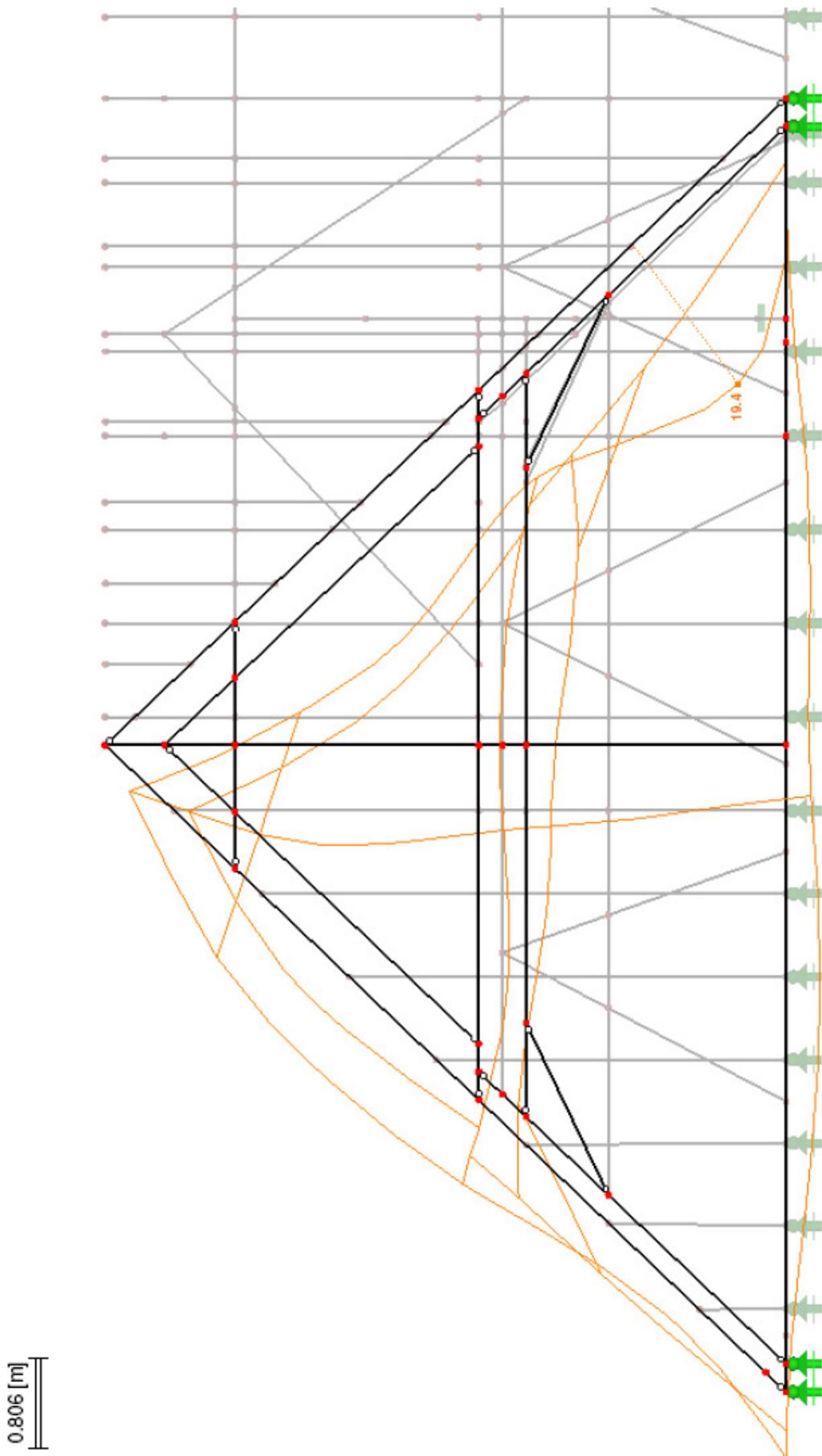


Abbildung 51: Darstellung der Verformungen [mm] der Konstruktion (Quelle: R-Stab Version 7.02)

3.7.4. Interpretation der statischen Analyse

Die ausgewiesenen Ergebnisse der Schnittgrößen, Verschiebungsgrößen und Spannungsverläufe sind hinsichtlich ihrer Aussagekraft als „grob“ einzustufen.

Das zugrunde gelegte statische System repräsentiert ein idealisiertes Tragwerk, welches in dieser Form bautechnisch nicht in voller Konsequenz umgesetzt wurde. Etwaige auftretende Spannungsspitzen sind daher nicht über zu bewerten und in gesonderten Detailstatiken genauer zu betrachten.

Die im Zuge dieser Diplomarbeit durchgeführte statische Berechnung bzw. Modellbildung ist als Beginn einer statischen Analyse ohne Erfassung weiterer Spezifika (Verbindungsmittelcharakteristika, Nachgiebigkeiten, etc.) zu verstehen. Die daraus resultierenden Schnittgrößen und Spannungsverläufe sind daher für eine Ableitung von statisch relevanten Sanierungsmaßnahmen noch nicht geeignet.

3.8. Ergebnis und Interpretation der Bestandsanalyse

Aus den im Kapitel 3.1. durchgeführten Recherchen zur Geschichte des MuseumsQuartiers geht hervor, dass die Errichtung bzw. Fertigstellung des Haupttraktes und zugehöriger Dachkonstruktion in das Jahr 1725 zu datieren ist. Diese Datierung wird durch die konstruktive Ausführung des Daches in Form eines liegenden Stuhls, welche eine typische Konstruktionsform der Barockzeit darstellt (siehe Kapitel 3.2.), bestätigt. Daher ist die untersuchte Dachkonstruktion eindeutig dem Barock zuzuordnen.

Aufgrund der durchgeführten Bestandsaufnahme (siehe Kapitel 3.4.) konnte festgestellt werden, dass die Funktionsfähigkeit der einzelnen Konstruktionshölzer zum Großteil vorhanden ist. Es sind nur vereinzelt untergeordnete Bauteile anzutreffen, deren Funktionsfähigkeit beeinträchtigt und deren Tragfähigkeit vermindert ist. Dies zeigte sich in Form von örtlich begrenzter Fäule oder längeren, nicht durchgehenden Schwindrissen sowie teilweise gelockerten Verbindungsmitteln. Die Tragfähigkeit der Hauptgespärre und somit die der Gesamtkonstruktion ist augenscheinlich vollständig gegeben. Dies wird durch die statische Analyse (siehe Kapitel 3.7.), bestätigt. Daraus geht hervor, dass die Spannungsausnutzung der Konstruktion bei ca. 61 % liegt und somit die volle Tragfähigkeit gegeben ist.

Basierend auf den o. a. Ergebnissen, kann die untersuchte Barocke Dachstuhlkonstruktion der Bauzustandsstufe 2 mit „geringen Schäden“ (siehe Tab. 5) zugeordnet werden. Damit kann der Verschleißgrad der Konstruktion auf ca. 6 % - 25 % festgelegt werden.

Unter Berücksichtigung, dass einige der angetroffenen Schäden eine Tendenz zur Ausbreitung aufweisen (siehe Kapitel 2.2. und Kapitel 3.4.3.), empfiehlt es sich als nächsten Schritt einen Maßnahmenkatalog für etwaige Sanierungsarbeiten zu erstellen. Dabei sollte meiner Meinung nach die Sanierung der teilweise undichten Dachhaut, vor allem die Bereiche mit historischer Ziegeldeckung, als vorrangig betrachtet werden. Diese Arbeiten an der Dachhaut sollten so schnell als möglich durchgeführt werden. Eventuelle Reparaturen bzw. der Austausch einzelner untergeordneter Konstruktionshölzer, deren Funktions- und Tragfähigkeit beeinträchtigt ist, sind zu empfehlen. Die Tatsache, dass die Holzkonstruktion den klimatischbedingten Wechselwirkungen (feucht-trocken und kalt-warm) ausgesetzt ist, sollte ebenfalls bei weiterführenden Überlegungen hinsichtlich einer eventuellen Sanierung bzw. Nutzung des Dachbodens berücksichtigt werden.

4. Zusammenfassung

In vorliegender Arbeit wurde am Barocken Dachstuhl im MuseumsQuartier Wien eine Bestandsanalyse durchgeführt. Das daraus resultierende Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen bestätigt vorhergegangene Arbeiten, welche sich mit dem Thema der Beurteilung alter Holzbauwerke auseinandersetzten, dahingehend, dass das Alter der Konstruktion alleine keine Aussage über den Zustand der Konstruktion zulässt sondern vielmehr die Tatsache ausschlaggebend ist, ob bestimmte Rahmenbedingungen über den zeitlichen Verlauf des Bestehens der Konstruktion hindurch eingehalten wurden.

Trotz des Alters von fast 300 Jahren, das diese hölzerne Dachstuhlkonstruktion aufweist, konnte ihr ein Bauzustand mit „geringen Schäden“ attestiert werden. Bezogen auf die Gesamtkonstruktion beläuft sich der Umfang der festgestellten Schäden in geringem Ausmaß. Die Funktionsfähigkeit ist vorhanden und nur an einzelnen Konstruktionshölzern beeinträchtigt. Die Tragfähigkeit der Gesamtkonstruktion ist vollständig gegeben, von einzelnen untergeordneten Bauteilen ist sie jedoch vermindert. Über die Jahre ist es auch zu geringen Setzungen von einigen Knotenpunkten gekommen und vereinzelt waren auch Lockerungen, vor allem an den eisernen Verbindungsmitteln, festzustellen.

Ein Großteil der vorgefundenen Schadensbilder an der untersuchten Holzkonstruktion steht in direktem Zusammenhang mit dem Eintritt von Feuchtigkeit. Die Dachhaut, in Form einer Ziegeldeckung, ist der einzige Schutz der Holzkonstruktion gegenüber wetterbedingten Einflüssen. Doch gerade an der Dachhaut wurde eine gewisse Anzahl an kleinen undichten Stellen festgestellt, an denen es temporär zu einem konzentrierten Eintritt an Feuchtigkeit kommt. Die undichten Stellen in der Dachhaut wurden hauptsächlich in jenen Dachflächen angetroffen, welche mit historischem Ziegelmaterial eingedeckt sind. Eine weitere Ursache der Schäden ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die hölzerne Dachstuhlkonstruktion den klimatischen Wechselwirkungen (feucht-trocken und kalt-warm) ausgesetzt ist.

Einige aus oben genannten Ursachen resultierende Schäden an der hölzernen Konstruktion sind „Schäden mit Tendenz zur Ausbreitung“. Der mit diesen Schäden verbundene Reparaturaufwand steigt im zeitlichen Verlauf nach einer exponentiellen Funktion an. Damit ist an dieser Stelle auch der Übergang zu wirtschaftlichen Aspekten gelegt, denn der steigende Reparaturaufwand birgt auch steigende Kosten für die Sanierung in sich. Hinsichtlich der wirtschaftlichen Aspekte sollte meiner Meinung nach der zeitliche Horizont für die Durchführung etwaiger erforderlicher Sanierungsmaßnahmen (vor allem der undichten Dachhaut) nicht mehr als einige Monate betragen. Dies wird auch durch die denkmalpflegerische Sichtweise unterstrichen. Denn aus dem Blickwinkel der Denkmalpflege

ist bei der Bestandserhaltung größter Wert darauf zu legen, soviel alte Substanz wie möglich zu erhalten und die Eingriffe auf ein Minimum zu reduzieren sowie gleichzeitig ein Maximum an Rückführbarkeit der vorgenommenen Eingriffe zu gewährleisten, um solche historische Konstruktionen bzw. Bauwerke möglichst originalgetreu für nachkommende Generationen zu erhalten. Daher kann es meiner Meinung nach auch nicht im Interesse der Denkmalpflege sein, diese aus bautechnischer Sicht erhaltenswerte Holzkonstruktion, welche von „Meistern“ ihrer handwerklichen Zunft aus längst vergangener Zeit errichtet wurde, ohne jegliche Nutzung „vor sich hinrostet zu lassen“. Denn:

„Tempus edax rerum.“

Ovid

(dt. Übers.: Die Zeit nagt an den Dingen.)

„Aetas volat.“

Cicero

(dt. Übers.: Die Zeit entflieht schnell.)

5. Quellenverzeichnis

BÄCHLE, F.; JUNGHANS, K.: *Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung im Bauwesen – Skript zur Vorlesung*, Institut für Baustoffe, ETH Zürich, Sep. 2007

BOECKLE, Matthias: *MuseumsQuartier Wien - Die Architektur*, Wien: Springer, 2001

CONLAST Schnee- & Windlasten; CONCRET Statikprogramme; PFENNIG, Elmar; Stand April 2010

DEINHARD, Martin: *Die Tragfähigkeit historischer Holzkonstruktionen* - Karlsruhe: Bruderverlag, 1963

DLUBAL Ingenieur-Software GmbH, R-STAB 7.02; DLUBAL, Georg, 2009

ERLER, Klaus: *Alte Holzbauwerke – Beurteilen und Sanieren*, 1.Auflage - Berlin: Verlag für Bauwesen, 1993

ERLER, Klaus: *Alte Holzbauwerke – Beurteilen und Sanieren*, 3.Auflage, Neufassung - Berlin: Huss-Medien, Verlag für Bauwesen, 2004

GEBURTIG, Gerd: *Baulicher Brandschutz im Bestand – Brandschutztechnische Beurteilung vorhandener Bausubstanz*, 1. Auflage - Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2008

GOTTFRIED, Margaret: *Das Wiener Kaiserforum* - Wien: Böhlau, 2001

HOLZER, Stefan; KÖCK, Bernd: *Meisterwerke barocker Bautechnik*, 1.Auflage - Regensburg: Schnell & Steiner, 2008

HOLZER, Stefan M.; KÖCK, Bernd: *Barocke Dachwerke: Konstruktion und Analyse des Tragverhaltens*. Bautechnik 86 - Berlin, 2009, Heft 1, S. 36 – 47

HOLZER, Stefan M.: *Der Bogen im Dach - Zur Entwicklung des weitgespannten Daches 1770-1840 unter Einfluss des frühen Bauingenieurwesens*. Bautechnik 84 - Berlin, 2007, Heft 2, S. 130 – 146

KOLBITSCH, Andreas: *Statisch-konstruktive Instandsetzung von geschädigten Holzbauteilen*, 12. Wiener Sanierungstage - Sanierung von Feuchtigkeitsschäden an Bauteilen - Wien, 2004

KOLBITSCH, Andreas: *Besonders betroffene Bauteile – Sanierungstechniken*, 15. Wohnwirtschaftliche Tagung – Wohnhäuser erhalten und verbessern - Wien, 2004

KOLBITSCH, Andreas: *Altbausanierung – Aktuelle Fragen der Bautechnik*, TU Institut für Hochbau und Industrie, Zement und Beton Handels- und Werbe-Ges. m .b .H. - Wien, 1991

KRAFT, Udo; PRIBBERNOW, Doreen: *Handbuch der Holzprüfung* - Düsseldorf: Verlag Bau & Technik, 2006

LISSNER, Karin; RUG, Wolfgang: *Holzbausanierung – Grundlagen und Praxis der sicheren Ausführung* - Berlin: Springer, 2000

MEISEL, Andreas; MOOSBRUGGER, Thomas; SCHICKHOFER, Gerhard: *Der Anteil des Tragvermögens der Dachlattung an der globalen Lastabtragung von Dachtragwerken*. Bautechnik 87 - Berlin, 2010, Heft 6, S.331 – 338

MOSCHNITSCHKA, Gabriele: *Das Verhalten von Holzkonstruktionen unter Brandeinwirkung*, Diplomarbeit, Technische Universität Wien - Wien, 2001

MÖNCK, Willi; ERLER, Klaus: *Schäden an Holzkonstruktionen – Analyse und Behebung*, 4.Auflage - Berlin: Verlag für Bauwesen, 2004

MuseumsQuartier Wien: *Über das MQ*. <http://www.mqw.at/de/das+mq/ueber+das+mq/>; 15.08.2010

MuseumsQuartier Wien: *Das MuseumsQuartier im Zeitraffer. Eine Chronologie*. <http://www.mqw.at/de/das+mq/chronologie/>; 15.08.2010

MuseumsQuartier Wien: *Ein Kulturviertel neuen Maßstabs: Das Mission Statement*. <http://www.mqw.at/de/das+mq/die+vision/>; 15.08.2010

PECH, Anton; HOLLINSKY, Karlheinz: *Dachstühle , Baukonstruktionen- Band 7*, 1.Auflage - Wien: Springer, 2005

ÖNORM B 3801, *Holzschutz im Hochbau – Benennungen und Definitionen sowie Grundlagen* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2009-01-01

ÖNORM B 3802-1, *Holzschutz im Hochbau – Baulicher Schutz des Holz* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe:1995-12-01

ÖNORM B 3802-2, *Holzschutz im Hochbau – Chemischer Schutz des Holzes* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 1988-04-01

ÖNORM B 3802-3, *Holzschutz im Hochbau – Bekämpfungsmaßnahmen gegen Pilz- und Insektenbefall* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2003-10-01

ÖNORM B 3800-4, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Bauteile: Einreihung in Brandwiderstandsklassen* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2000-05-01

ÖNORM B 1995-1-1, *Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2010-08-15

ÖNORM B 1991-1-1, *Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewichte, Nutzlasten im Hochbau* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2006-01-01

ÖNORM B 1991-1-4, *Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4 Allgemeine Einwirkungen, Windlasten* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2009-04-15

ÖNORM DIN 4074-1, *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit, Teil 1: Nadelschnittholz* – Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2009-06-15

ÖNORM EN 1991-1-1, *Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewichte, Nutzlasten im Hochbau* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2003-03-01

ÖNORM EN 1991-1-3, *Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-3 Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2005-08-01

ÖNORM EN 338, *Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2009-12-01

ÖNORM EN 350-2, *Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz*, Teil 2 - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 1994

ÖNORM EN 1912, *Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen – Zuordnung von visuellen Sortierklassen und Holzarten* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2010-05-01

ÖNORM EN 14081-1, *Holzbauwerke – Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt, Teil 1: Allgemeine Anforderungen* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2006-02-01

ÖNÖRM EN 13501-1, *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten, Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten* - Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 2009-12-01