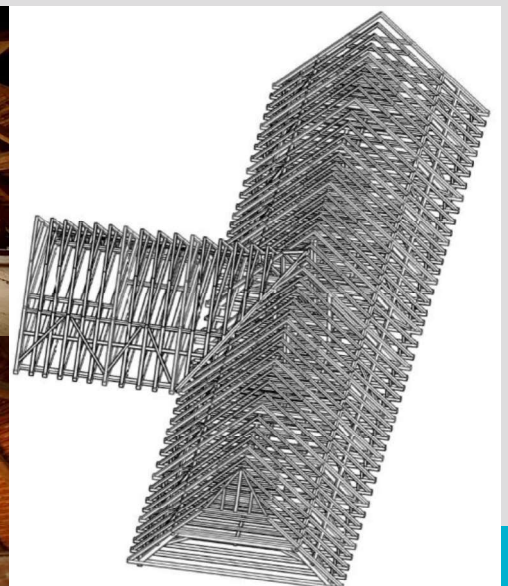
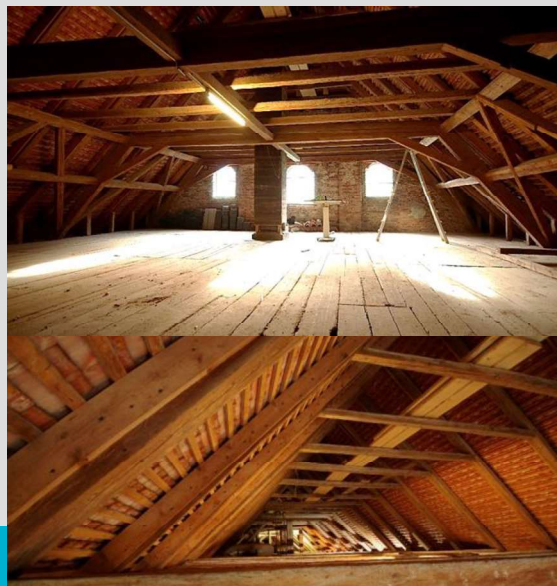


# Bestandserfassung und -analyse historischer Dachwerke am Beispiel der LFS Grottenhof



M-4-06/2019

**Anna-Sophie Seebeck**  
Institut für Holzbau und Holztechnologie  
Technische Universität Graz



Anna-Sophie Seebeck, B.Eng

# **Bestandserfassung und -analyse historischer Dachwerke am Beispiel der LFS Grottenhof**

## **MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplom-Ingenieur  
Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

Eingereicht an der  
**Technischen Universität Graz**

Betreuer  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Schickhofer  
Institut für Holzbau und Holztechnologie  
DDI Dr. techn. Andreas Meisel  
DI Raimund Sieder  
Institut für Holzbau und Holztechnologie

Graz, Oktober 2019



# EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

*I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.*

23.Oktober 2019

---

Datum / Date

---

Unterschrift / Signature



## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Für das Begutachten der Arbeit und die zur Verfügung gestellte Unterstützung bei der Bestandsaufnahme möchte ich Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Schickhofer meinen Dank aussprechen. Bei Herrn DI Raimund Sieder bedanke ich mich für die umfassenden Korrekturen und Ratschläge. Weiters möchte ich mich bei Philipp Huter für die Mithilfe bei der Bestandsaufnahme bedanken.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie und besonders bei meinen Eltern bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht haben.



## **Kurzfassung**

Die Hauptursachen für den Verlust erhaltenswerter Baudenkmäler ist der Abriss und unsachgemäße Sanierungen. Mit bis zu 800 Jahren alten Konstruktionen haben historische Dachtragwerke ihre enorme Dauerhaftigkeit längst bewiesen. Die wichtigsten Voraussetzungen für den Erhalt sind Inspektion, Wartung und Instandhaltung. Im Rahmen dieser Arbeit wird das historische Dachtragwerk der LFS Grottenhof mit dem Ziel untersucht, eine umfassende Bestandserfassung und -analyse durchzuführen. Diese umfasst die vollständige Erfassung der Geometrie und Querschnitte der Holzbauteile. Zusammen mit einer Schadenserfassung und -analyse wird die Grundlage für eine Bauzustandsbewertung gebildet. Anschließend wird für das Tragwerk eine statische Analyse erstellt, dabei wird auch der Einfluss von Ichen auf das globale Tragverhalten untersucht. Mit den Erkenntnissen aus der Bestandserfassung und der statischen Analyse werden abschließend Vorschläge für mögliche Instandsetzungsmaßnahmen gemacht.

## **Abstract**

The main reasons for the loss of historic buildings worthy of preservation are demolition and inadequate renovation. With constructions up to 800 years old, historical roof structures have long proved their enormous durability. The most important prerequisites for preservation are inspection, maintenance and repair. Within the scope of this work, the historical roof structure of the LFS Grottenhof is examined with the aim of carrying out a comprehensive evaluation and analysis. This includes the complete recording of the geometry and cross-sections of all timber components. Together with a damage assessment and analysis, this forms the basis for an assessment of the condition of the building. A static analysis is carried out afterwards for the load-bearing structure, which also examines the influence of Valley rafter on the global load-bearing behaviour. Based on the results of the evaluation and the static analysis, suggestions for possible repair measures will be made.





# Inhaltsverzeichnis

<b>KAPITEL 1: EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>KAPITEL 2: HISTORISCHE DACHTRAGWERKE</b> .....	<b>3</b>
2-1 KONSTRUKTIONSPRINZIPIEN .....	3
2-2 KLASSIFIZIERUNG UND ENTWICKLUNG .....	4
2-3 BESCHREIBUNG DES DACHTRAGWERKES NR. 108 .....	6
2-3.1.1 Tragsystem: Der liegende Stuhl .....	6
2-3.1.2 Der liegende Stuhl in der Literatur .....	9
<b>KAPITEL 3: METHODIK BESTANDSERFASSUNG UND - BEURTEILUNG</b> .....	<b>10</b>
3-1 ZIELANALYSE .....	11
3-2 BESTANDSERFASSUNG .....	11
3-3 SCHADENSANALYSE .....	14
3-4 BAUZUSTANDSANALYSE .....	17
3-4.1 Bauzustandsbewertung .....	17
3-4.2 Überprüfung der Funktionsfähigkeit .....	19
3-5 PLANUNG BAULICHER MAßNAHMEN UND AUSFÜHRUNG .....	20
3-6 INSTANDHALTUNG .....	22
3-6.1 Begriffsdefinitionen .....	22
3-6.2 Inspektion und Wartung .....	22
3-6.3 Instandsetzung und Verbesserung .....	23
<b>KAPITEL 4: BESTANDSERFASSUNG DES DACHTRAGWERKES NR. 108</b> .....	<b>25</b>
4-1 EINLEITUNG: LFS ALT - GROTTENHOF .....	25
4-2 GESCHICHTE DER LFS GROTTENHOF .....	27
4-2.1 Geschichte von Alt-Grottenhof .....	27
4-2.2 Baugeschichte des Wirtschaftsgebäudes Nr. 108 .....	28
4-3 ZIELSETZUNG .....	29
4-3.1 Ziel der Bestandserfassung .....	29
4-3.2 Detaillierungsgrad und Einschränkungen der Bestandsaufnahme .....	29
4-4 BESTANDSERFASSUNG .....	30
4-4.1 Eckdaten .....	30
4-4.2 Materialien .....	31
4-4.2.1 Mauerwerk .....	31
4-4.2.2 Dacheindeckung .....	31
4-4.2.3 Deckenkonstruktion über dem Erdgeschoss .....	32
4-4.2.4 Schmiedeeiserne Verbindungsmittel .....	32
4-4.2.5 Holz der Dachkonstruktion .....	33
4-4.3 Vorhandene Bestandspläne .....	38
4-4.4 Systemabmessungen und Querschnittsgeometrie .....	39

4-4.4.1	Bauteilbezeichnungen .....	42
4-4.4.2	Systemgeometrie .....	44
4-4.4.3	Achsabstände und Verlauf der Firstlinie.....	45
4-4.4.4	Schiefstellungen und Verformungen .....	46
4-4.4.5	Fotografische Eindrücke des Dachstuhls .....	47
4-4.5	Tragsystem und Tragwirkung des Dachtragwerkes Nr. 108.....	49
4-4.5.1	Tragsystem.....	49
4-4.5.2	Tragwirkung.....	51
4-4.6	Zimmermannsmäßige Verbindungen.....	52
4-4.6.1	Überblick zimmermannsmäßige Verbindungen .....	52
4-4.6.2	Anschlussdetails Dachtragwerk .....	55
4-4.7	Durchgeführte Messungen im Dachtragwerk .....	74
4-4.7.1	Holzfeuchtemessungen .....	74
4-4.7.2	Bohrwiderstandsmessungen.....	75
4-5	SCHADENSERFASSUNG UND -ANALYSE.....	77
4-5.1	Schadenschwerpunkte .....	77
4-5.2	Schadenserfassung und-analyse.....	78
4-5.3	Bauzustandsanalyse .....	103
<b>KAPITEL 5: STATISCHE ANALYSE DES DACHTRAGWERKES.....</b>		<b>106</b>
5-1	EINLEITUNG .....	106
5-2	ZIEL DER MODELLIERUNG .....	108
5-3	LASTAUFSTELLUNG UND LASTKOMBINATIONEN .....	109
5-3.1	Lastaufstellung.....	109
5-3.1.1	Eigengewicht .....	109
5-3.1.2	Nutzlasten .....	109
5-3.1.3	Windlasten .....	110
5-3.1.4	Schneelast .....	113
5-3.2	Lastfälle und Lastkombinationen.....	114
5-3.3	Einwirkungskombinationen .....	115
5-4	MODELLBILDUNG .....	116
5-4.1	Allgemeine Annahmen .....	116
5-4.1.1	Vereinfachungen .....	116
5-4.1.2	Theorie I. Ordnung und Nichtlinearitäten.....	116
5-4.1.3	Lastfall- und Ergebniskombinationen.....	116
5-4.2	Systemgeometrie.....	117
5-4.3	Querschnitte .....	119
5-4.4	Mechanische Materialeigenschaften .....	120
5-4.5	Auflager .....	120
5-4.5.1	Bundtramauflager .....	120

5-4.5.2	Zwischenaufleger Bundtram.....	121
5-4.6	Verbindungen .....	122
5-4.6.1	Nachgiebigkeiten .....	122
5-4.6.2	Analyse der Verbindungen im Dachtragwerk .....	123
5-4.6.3	Zusammenfassung der Anschlusssteifigkeiten .....	132
5-4.6.4	Exzentrizitäten.....	133
5-5	<b>ERGEBNISSE UND INTERPRETATION .....</b>	<b>135</b>
5-5.1	Globales Tragverhalten der Regelbereiche.....	136
5-5.2	Tragverhalten der Ichen .....	138
5-5.3	Einfluss des Ichsengespärres auf das globale Tragverhalten.....	140
5-5.4	Bauteilnachweise .....	144
5-5.4.1	Bauteilnachweise Regelgespärre .....	144
5-5.4.2	Bauteilnachweise Dachverschneidung .....	145
5-5.5	Ausfallszenario Fußpunkt Ichsengespärre.....	147
5-5.6	Plausibilität und Resümee .....	149
5-5.6.1	Überprüfung der Berechnungsergebnisse.....	149
5-5.6.2	Resümee .....	149
	<b>KAPITEL 6: INSTANDSETZUNG .....</b>	<b>151</b>
6-1	INSTANDSETZUNGSKONZEPTE UND VORGEHENSWEISE.....	151
6-2	VORSCHLÄGE FÜR EIN INSTANDSETZUNGSKONZEPT .....	153
6-2.1	Erhaltung des historischen Dachtragwerkes .....	153
6-2.2	Umnutzung und Ausbau des Dachstuhles .....	155
	<b>KAPITEL 7: SCHLUSSBETRACHTUNG .....</b>	<b>158</b>
	<b>ANHANG A LITERATURVERZEICHNIS</b>	
	<b>ANHANG B BESTANDSPLÄNE</b>	
	<b>ANHANG C GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME</b>	
	<b>ANHANG D STABTRAGWERKSBERECHNUNG</b>	
	<b>ANHANG E SYSTEMABMESSUNGEN BESTANDSERFASSUNG</b>	



# KAPITEL 1: EINLEITUNG

*„Weil uns die alten Mauern ein Gefühl der Kontinuität vermitteln. Sie waren vor uns da, sie werden uns wahrscheinlich überdauern. Das mag auch ein Grund dafür sein, dass Menschen von alten Denkmälern und prähistorischen Gebäuden beeindruckt sind. Die Spuren aus vergangenen Zeiten versichern uns: Es löst sich nicht alles in Rauch auf.“*

Süddeutsche Zeitung, 26. SEPTEMBER 2019 AUS HEFT 39/2019 LEBEN UND GESELLSCHAFT [1].

Bei historischen Bauwerken gibt es auf der einen Seite den Massivbau und auf der anderen Seite den Holzbau. Aber auch ein Gebäude aus Stein kommt nicht ohne Holz aus – vor allem bei den Dachwerken, auch wenn diese von außen nicht sichtbar sind.

Historische Gebäude erzählen Geschichten, welche die typischen Eigenheiten und vielfältigen Entwicklungen einer Region widerspiegeln. Denkmäler sind ein wesentlicher Teil der kulturellen Identität und sind ein Zeugnis der Geschichte. Historische Gebäude prägen maßgeblich den öffentlichen Raum und sind unersetzbar und deshalb auch besonders schützenswert.

Die Sanierungsquote liegt in Österreich mit 1 % jedoch unter den notwendigen 3 % für die Erhaltung historischer Bausubstanz, der Schwund von erhaltenswerten Objekten ist damit unumgänglich. Eine Auswertung von 600 Datensätze der letzten 20 Jahren des Bundesdenkmalamtes (BDA) Vorarlberg hat ergeben, dass 20 % der Gebäude durch Abriss und unsachgemäße Sanierungen verschwunden sind. Durch Leerstände sind weitere 15 % gefährdet (vgl. [2]). Ebenso wurde bereits 1988 in den westdeutschen Bundesländern beobachtet, dass der Verlustanteil durch unsachgemäße Sanierungen für Holzkonstruktionen bei 40-70 % liegt (vgl. [3]). Auch MEISEL u.a. [4] haben festgestellt, dass ein Instandsetzungsbedarf für viele historische Dachtragwerke in Österreich besteht. Als historische Dachtragwerke werden hierbei Dachtragwerke definiert, welche vor 1900 errichtet worden sind. Im Gegensatz dazu beweisen bis zu 850 Jahre alte Dachtragwerke, unter der Voraussetzung von regelmäßiger Inspektion, Wartung, und Instandsetzung, die enorme Dauerhaftigkeit von Holzkonstruktionen. Abbildung 1-1 zeigt die Werterhaltung und Wertvermehrung durch entsprechende Maßnahmen.

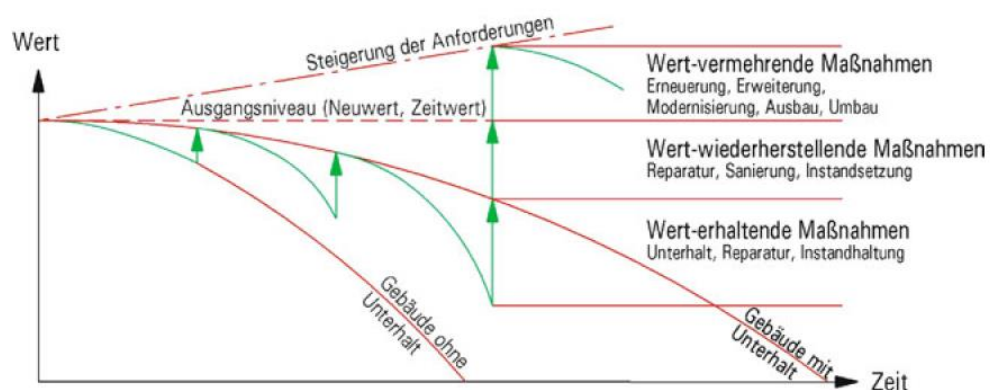


Abbildung 1-1: Werterhaltung bzw.-vermehrung [3].

Im Rahmen struktureller Maßnahmen sind für die Fachschule für Land- und Forstwirtschaft (LFS) Grottenhof umfangreiche bauliche Sanierungen und Umbauten geplant. Dabei handelt es sich um Zu- und Neubauten und ebenso um Bestandsgebäude, welche vorwiegend unter Denkmalschutz stehen. „Bauen im Bestand“ unterscheidet sich dabei grundlegend von Neubauten. Die Erhaltung historischer Konstruktionen erfordert spezielle Kenntnisse und stellt hohe Anforderungen an den Tragwerksplaner.

Das Bestandsbauwerk muss zuerst erfasst und der Zustand bewertet werden. Eine umfassende Analyse des Ist-Zustandes ist unbedingt erforderlich für eine erfolgreiche Projektplanung (vgl. [5]). Im Rahmen dieser Masterarbeit erfolgte die Bestandserfassung und -analyse für das Dachtragwerk des Wirtschaftsgebäudes der LFS Grottenhof. Dabei handelt es sich um eines der Gebäude, welches unter Denkmalschutz steht, und eine Sanierung bzw. Ausbau angedacht ist. Das Kernthema der vorliegenden Arbeit ist die Bestandserfassung mit anschließender Schadens- und Bauzustandsanalyse (Kapitel 4). Diese bildet auch die Grundlage für die statische Analyse, bei welcher die globale Lastabtragung und das Tragvermögen der Dachstruktur mithilfe eines dreidimensionalen Stabwerksmodells untersucht wird (Kapitel 5). Anschließend werden Vorschläge für ein mögliches Vorgehen für die Bauwerksinstandsetzung erörtert (Kapitel 7). Eingeleitet wird in die Thematik mit zwei theoretischen Kapiteln zu den Themen „Historische Dachtragwerke“ und der „Methodik zur Zustandsbeurteilung von Dachtragwerken“ (Kapitel 2 und 3).



*Abbildung 1-2: Wirtschaftsgebäude der LFS Grottenhof [Google Earth]*

# KAPITEL 2: HISTORISCHE DACHTRAGWERKE

In diesem Kapitel wird ein kurzer Überblick über die Typologien bei historischen Dachtragwerken gegeben. Die Hauptaufgabe eines Daches ist der Schutz des Gebäudes und des Nutzers. Dabei besteht das Dach aus der Dachhaut (Dacheindeckung, Dachlatten, Dachschalungen, ...) und dem Dachtragwerk. Neben der technischen Funktion spielt auch das Erscheinungsbild eine wichtige Rolle. Im Laufe der Geschichte hat sich eine Vielzahl verschiedener Dachformen entwickelt, das Satteldach war dabei eine der gebräuchlichsten Formen.

## 2-1 KONSTRUKTIONSPRINZIPIEN

Historische Dachtragwerke lassen sich annähernd alle zwei grundlegenden Konstruktionsprinzipien zuordnen, dem Sparren- oder dem Pfettendach.

### Sparrendach

Das Grundprinzip des Sparrendachs beruht auf hintereinander angeordneten Dreigelenksrahmen, siehe Abbildung 2-1. Diese bestehen aus den beiden Sparren, diese nehmen Normalkräfte, Biegemomente und Querkräfte auf, und dem Bundtram, welcher den Horizontalschub aus den Sparren aufnimmt und die Wirkung eines Zugbandes hat. Diese Konstruktion eignet sich besonders für große Dachneigungen. Bei größeren Spannweiten werden zusätzliche Konstruktionsglieder wie Kehlbalken benötigt, da ansonsten die Verformung der Sparren zu stark wird.

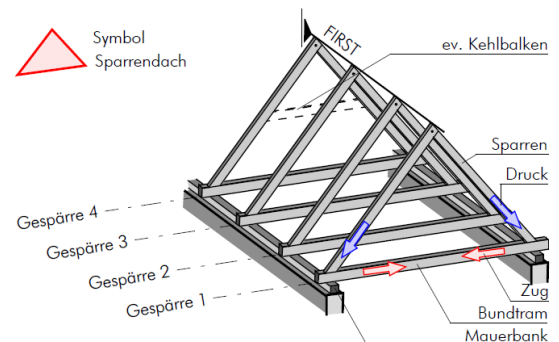


Abbildung 2-1: Statisches System Sparrendach (aus [6]).

### Pfettendach

Beim Pfettendach sind die Sparren geneigte Biegeträger, welche Biegemomente und Querkräfte aber nur geringe Normalkräfte aufnehmen. Die Sparren lagern auf Pfetten auf, diese lagern auf Wänden oder Stühlen auf und tragen die Lasten über Biegung ab. Während die Sparren beim Sparrendach ein konstruktiv wesentliches Bauteil des Tragwerks darstellen, gehören sie beim Pfettendach zur Dachhaut. Diese Konstruktion eignet sich eher für geringe Dachneigungen. Das statische System für ein Pfettendach ist in Abbildung 2-2 dargestellt.

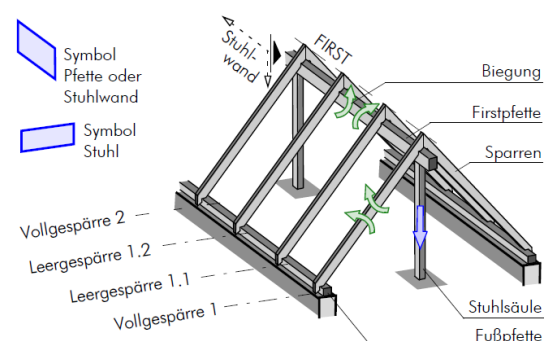


Abbildung 2-2: Statisches System Pfettendach (aus [6]).

Moderne Dachtragwerke lassen sich meist eindeutig einem der beiden Grundtypen zuordnen. Die Beschreibung und Zuordnung der globalen Tragwirkung von historischen Dachtragwerken ist meist schwer vollständig beschreibbar.



## 2-2 KLASSIFIZIERUNG UND ENTWICKLUNG

In vielen historischen Dachtragwerken sind sowohl firstnormale als auch firstparallele Konstruktionsglieder an der globalen Lastabtragung beteiligt. Es entsteht ein Tragwerk, welches sich aus den beschriebenen Systemen zusammensetzt. Die Lastabtragung erfolgt in einem solchen Tragwerk auf zwei Arten. Bei der sparrendachartigen Lastabtragung erfolgt die globale Lastabtragung normal zum First über die unverschieblichen Sparrendreiecke. Bei der pfettendachartigen Lastabtragung erfolgt die globale Lastabtragung über firstparallele Tragwerksglieder. Bei historischen Tragwerken kann die Art der globalen Lastabtragung auch abhängig von der Belastung sein. Je nach Belastungsart, symmetrisch oder asymmetrisch, überwiegt der sparrendachartige Anteil oder der pfettendachartige Anteil. Bei der Klassifizierung wird deshalb abhängig von der Art der Sparrenunterstützung unterschieden:

- Sparren- bzw. Kehlbalkendach: Sparren lagert zuerst auf den Kehlbalken auf und dann erst auf dem firstparallel verlaufenden Bauteil (Rähm).
- Pfettendach: Sparren lagern auf den firstparallel verlaufenden Pfetten direkt auf.

Abbildung 2-3 zeigt eine Übersicht über die Klassifizierung historischer Dachtragwerke nach MEISEL [6]:

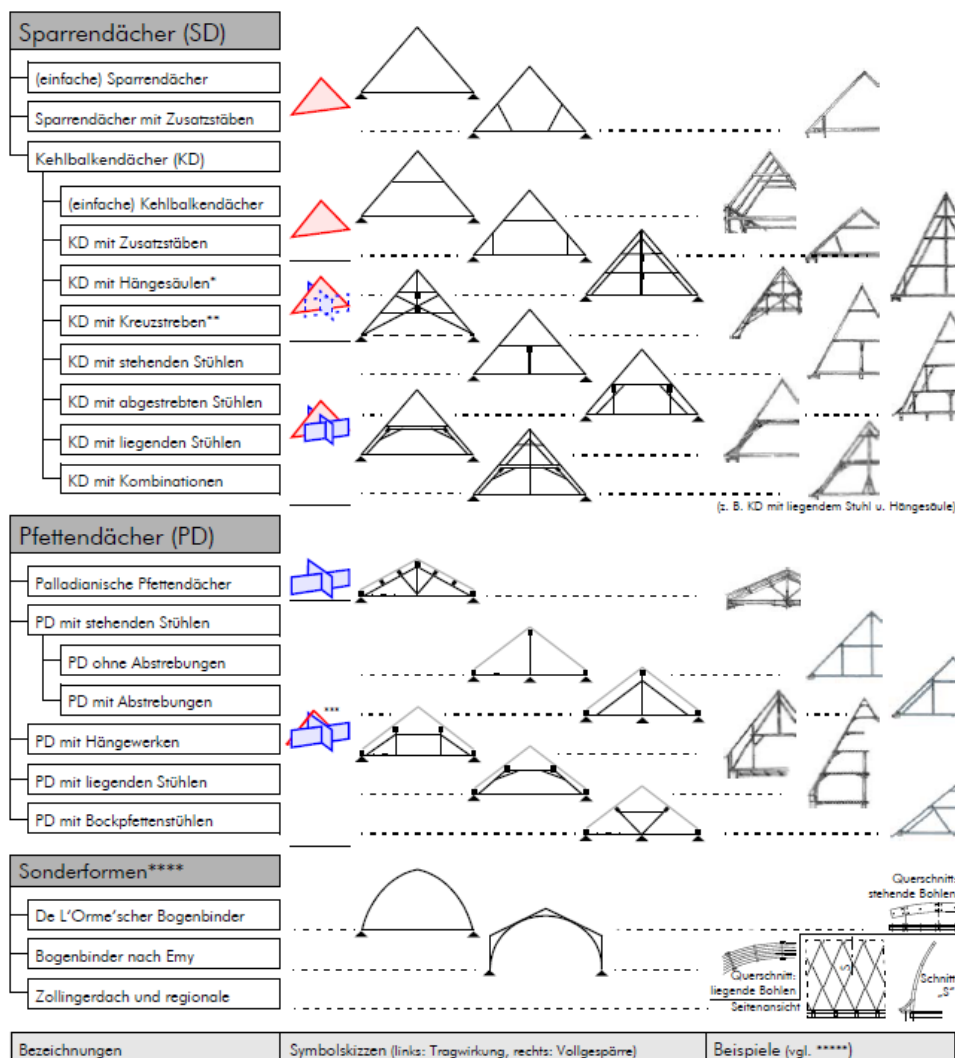


Abbildung 2-3: Klassifizierung historischer Dachtragwerke nach MEISEL ( [6],S. 28)

Die Entwicklung der verschiedenen Tragsysteme war keine stetige Entwicklung, sondern regional sehr verschieden. Beispielsweise werden im Süden über Jahrhunderte hinweg flachgeneigte Pfettendächer eingesetzt und für größerer Spannweiten einfach die Dimensionen erhöht. Es galt das Gesetz des „relativen Maßstabs“, nicht die Konstruktion variierte, sondern die Bauteildimensionen. Beispielsweise weist in der Kathedrale von Messina der Bundtrarm einen Querschnitt von 45 x 80 cm auf (vgl. [7]).

Währenddessen entwickelte sich im mitteleuropäischen Bereich eine Vielfalt an unterschiedlichen Tragsystemen. Einen Überblick über die Entwicklung wird in Abbildung 2-4 gegeben, weiterführende Beschreibungen zu den jeweiligen Tragsystemen sind in MEISEL [6]) zusammengefasst.

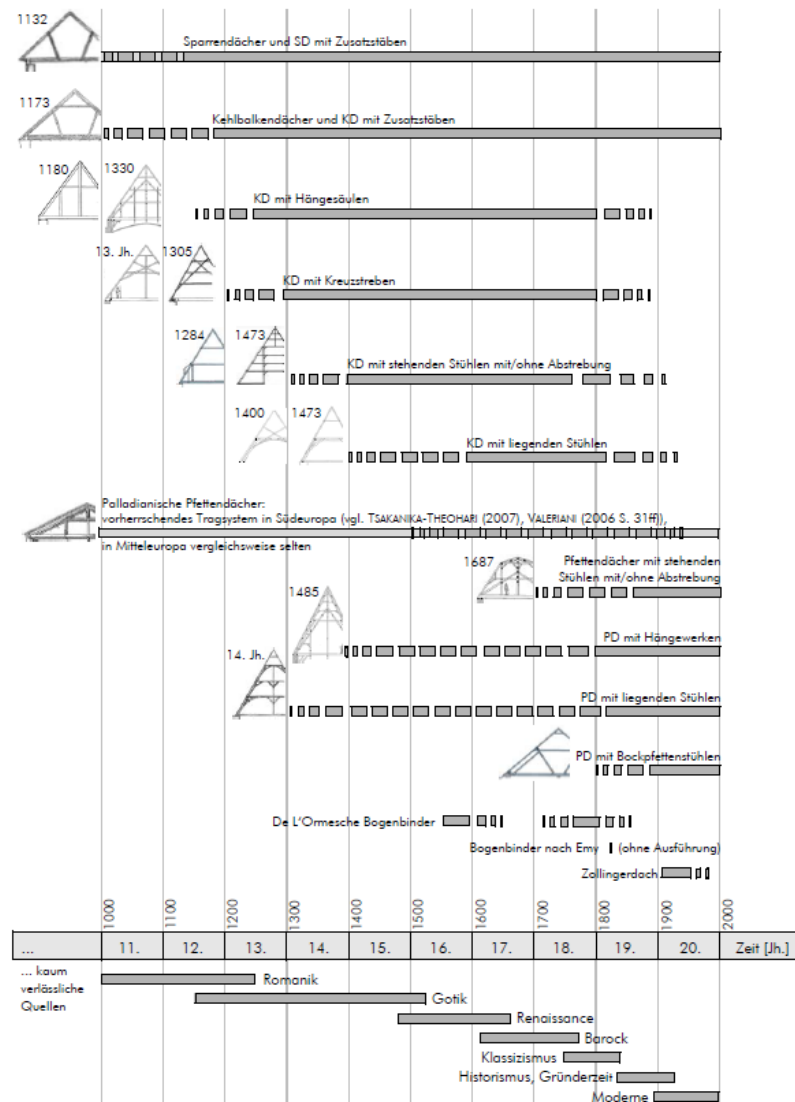


Abbildung 2-4: Zeittafel Entwicklung historischer Dachtragwerke [6].

Nachfolgend wird das Tragsystem des vorliegenden Dachstuhles genauer beschrieben. Eine detailliertere Beschreibung historischer Dachtragwerke und regionaler Sonderformen kann beispielsweise den Werken von OSTENDORF [8], HOLZER/KÖCK [9], MEISEL [6], MÖNCK [10] oder DEINHARD [11] entnommen werden.

## 2-3 BESCHREIBUNG DES DACHTRAGWERKES NR. 108

Das Tragwerk der Dachkonstruktion kann als ein Kehlbalckendach mit zweifach liegendem Stuhl und Hahnenbalken beschrieben werden. Der liegende Stuhl war kennzeichnend für die Dachtragwerke aus der Barockzeit, der Errichtungszeitraum von 1780/86 liegt am Ende dieser Epoche. Ab 1650 lässt sich eine einheitlichere Form dieses Systems beschreiben. Nachfolgend wird dieses Erscheinungsbild kurz beschrieben. Anschließend folgt ein kurzer Exkurs zum liegenden Stuhl in der zeitgenössischen Literatur.

### 2-3.1.1 Tragsystem: Der liegende Stuhl

[12], [13], [6]

Diesem Konstruktionsprinzip liegt das Sparrendach zugrunde, dabei ist das Primärtragwerk quer zur Firstrichtung. Aus statischer Sicht entsteht so ein Dreigelenkrahn, während die Sparren mit Druckkräften belastet werden, bekommt der Bundtram aus dem Horizontalschub der Sparren Zugkräfte. Da ab einer gewissen Spannweite ein Gespärre nicht mehr komplett aufgerichtet werden konnte, ist eine Stuhlkonstruktion als Arbeitsplattform eingeführt worden, die anschließend im Tragwerk geblieben ist. Aus firstparallelen Stuhlsäulen, Fußschwelle und Rähm entsteht somit ein stehender Stuhl. In Längsrichtung wird mithilfe von Kopfbändern eine fachwerkartige Stuhlwand ausgebildet. In Abbildung 2-5 ist das Konstruktionsprinzip für den stehenden Stuhl schematisch dargestellt.

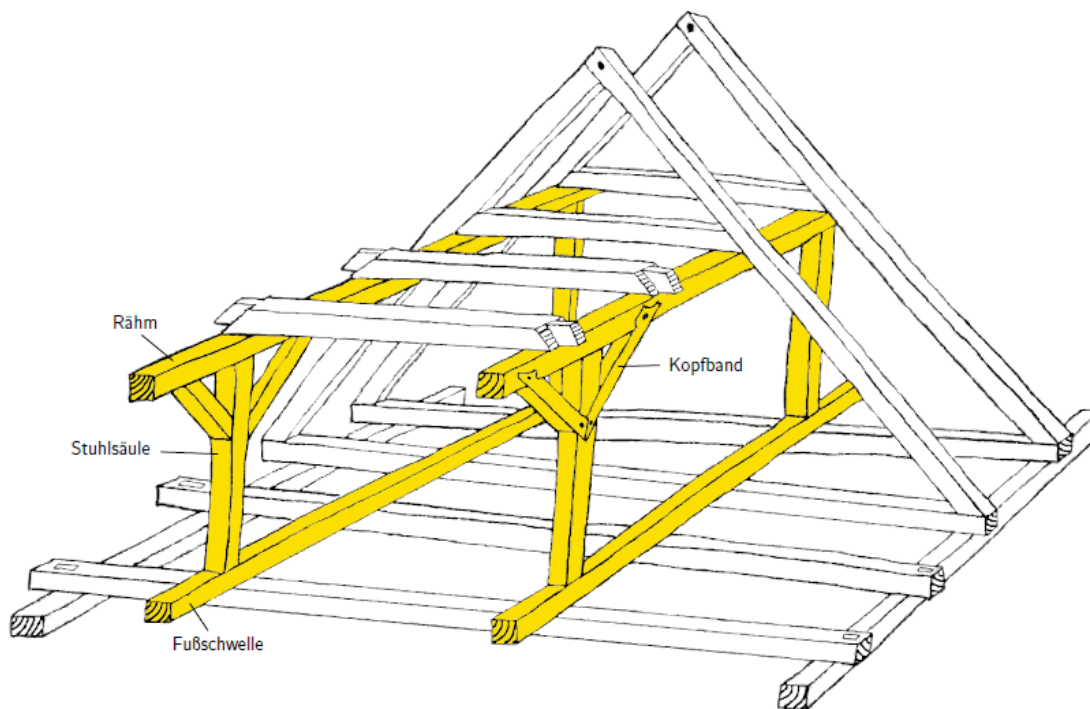
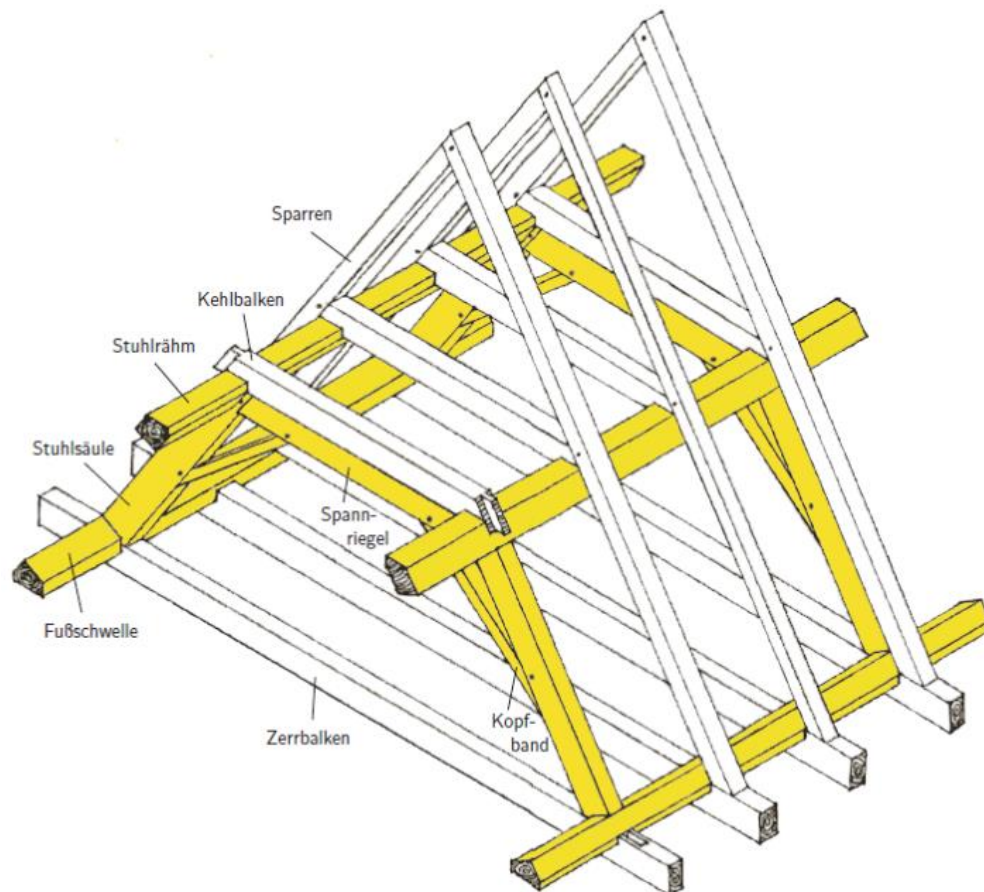


Abbildung 2-5: Schematische Darstellung des stehenden Stuhles [13]

Durch die Stuhlsäulen kam es jedoch schnell zu einer hohen Biegebelastung für den Bundtram, um diese Durchbiegung zu vermeiden, werden die Stuhlsäulen schräg zu den Auflagern nach außen geführt.

Dieses Konstruktionsprinzip wird als liegender Stuhl bezeichnet und entwickelte sich im 15. Jahrhundert. Durch die schrägen Stuhlsäulen wurde nicht nur der Bundtram entlastet, es entstand auch ein stützenfreier Dachraum. Die schematische Darstellung für das Prinzip des liegenden Stuhles mit den entsprechenden Bezeichnungen (in dieser Arbeit wird die Bezeichnung Bundtram anstatt Zerrbalken verwendet) ist in Abbildung 2-6 zu sehen. Damit die Stuhlsäulen sich gegenseitig abstützen konnten wurde ein neues Bauteil, der Spannriegel, eingeführt. Es entsteht ein trapezförmiger Rahmen. Auch dieser wird als Arbeitsplattform verwendet und ist bei größeren Bauwerken auch übereinander stapelbar. Wie schon beim stehenden Stuhl, verbleibt diese Konstruktion als zusätzliches aussteifendes Element in dem Dachwerk.



*Abbildung 2-6: Schematische Darstellung des liegenden Stuhles [13]*

Für den liegenden Stuhl gibt es viele verschiedene Ausführungsformen. Nachfolgend wird das Erscheinungsbild für die idealisierte Ausführungsform kurz beschrieben, beginnend mit dem Fußpunkt. Nach KOLLER ([14], S. 339) werden bei liegenden Stühlen immer zwei nebeneinander liegende Mauerbänke in Längsrichtung als Auflager verwendet. Auf der Mauerbank liegt der Bundtram, mittels einer Verkämmung verbunden. Ebenfalls ist die fünfeckige Fußschwelle mit dem Bundtram verkämmt. Die Stuhlsäule ist mit einem Zapfen an die Fußschwelle und der Sparren mit einem Zapfen mit der Mauerbank verbunden. Diese Zapfen sind nicht mit Holznägeln gesichert. Noch komplizierter ist der Kopfpunkt der Stuhlsäule. Die Stuhlsäule ist mithilfe eines Zapfens mit dem Rähm verbunden. Der Spannriegel schließt mit einem Zapfen mit Versatz an die Stuhlsäule an, wodurch ein durchgehender Schlitz in der Stuhlsäule entsteht. Der Kopfpunkt der Stuhlsäule wird mit diesen Verbindungen erheblich ausgehöhlt. Zuletzt wird der Kehlbalken mit dem Rähm verkämmt und mit einem Zapfen mit dem Sparren verbunden. Die fünfeckige Querschnittsform von Fußschwelle und Rähm dient zur leichteren Realisierung der Anschlussdetails. In Abbildung 2-7 sind Explosionszeichnungen vom Fußpunkt und Kopfpunkt der liegenden Stuhlsäule dargestellt. In der Rahmenecke schließt dann noch das Kopfband jeweils mit einem Versatz mit Zapfen an die Stuhlsäule und den Spannriegel an. Die Kopfbänder werden auch „Jagdbüge“ oder „Jagdbänder“ genannt.

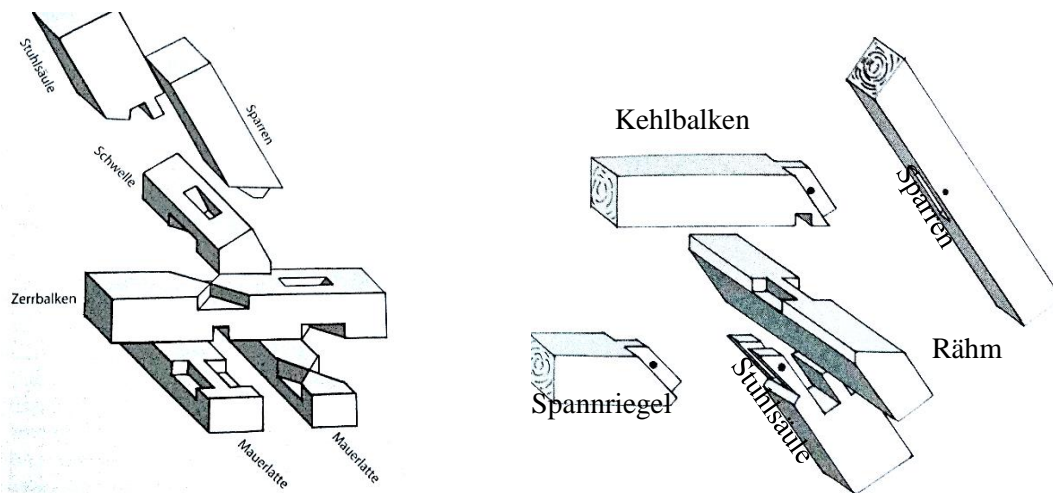


Abbildung 2-7: Explosionsdarstellung liegender Stuhl (links: Fußpunkt, rechts: Kopfpunkt) [12]

Die Längsaussteifung erfolgt über fachwerkartige Stuhlwände, die eine scheibenähnliche Wirkung erzielen. Durch Fußschwelle, Rähm und eine Auskreuzung zwischen zwei Vollgespärren entsteht eine Stuhlwand. Für den Windverband gibt es viele unterschiedliche Ausführungsmöglichkeiten (V-förmig, Andreaskreuz, doppelt ausgekreuzt, u.a.). Meistens ist auch ein sogenannter Brustriegel auf halber Höhe in die Stuhlsäule eingezapft. Durch die Stuhlwände wird ebenfalls der Grad der statischen Unbestimmtheit erhöht und Lastumlagerungen ermöglicht. Je nach Ausführung der Stuhlwand ergibt sich eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Längstragwirkung für die Dachkonstruktion. Zwischen zwei Vollgespärren sind üblicherweise drei Leergespärre angeordnet. Mindestens sind jedoch zwei und höchstens vier Leergespärre angeordnet. Die Beschreibung des Tragsystems des untersuchten Dachtragwerkes befindet sich in Kapitel 4-4.5.

### 2-3.1.2 Der liegende Stuhl in der Literatur

Der liegende Stuhl war eine der am häufigsten verwendete Bauform in der Barockzeit. So galten als die wesentlichen Vorteile des liegenden Stuhles die Entlastung des Bundtrams und der stützenfreie Dachraum, vor allem wenn der Dachraum zu Lagerzwecken benutzt werden sollte. Diese Vorteile werden auch in zeitgenössischer Literatur, wie zum Beispiel NAUMANN ([15], S. 79) und VOCH (vgl. [16], S. 121) genannt. VOCH ([17], S. 6 Zugabe) empfiehlt sogar, den stehenden Stuhl nur zu verwenden, wenn entsprechende Zwischenmauern als Auflage für die stehenden Stuhlsäulen zur Verfügung stehen.

Jedoch änderte sich die Meinung zum liegenden Stuhl mit Beginn des 19. Jahrhunderts langsam. Der Hauptkritikpunkt war dabei der hohe Materialverbrauch für den liegenden Stuhl:

*„Nicht allein dadurch, daß man bei diesem (in hiesiger Gegend leider noch allgemein üblichen) gewöhnlichen liegenden Dachverbände mehr Verbandstücke braucht, sondern auch, weil diese, des ganzen, ungeeigneten Verbandes willen, viel stärker sein müssen, wird derselbe sehr holzverschwendend und durch mehr Arbeitslohn viel theurer, als der stehende.“* ([18], S. 303).

Außerdem wird angeführt, dass der Holzbedarf viermal so hoch für einen liegenden Stuhl ist, wie für einen stehenden Stuhl. Des Weiteren werden Vorschläge gegeben, um Holz einzusparen, konkret das Weglassen von Fußschwelle und Spannriegel. Ohne Fußschwelle kann die Stuhlsäule nicht mehr direkt am Sparren anliegen, sondern braucht einen gewissen Abstand. (vgl. [18]) Ebenso hat man festgestellt, dass bei einer flachen Dachneigung der Kopf der Stuhlsäule besonders gefährdet für Überlastung ist, die Stuhlsäule könnte aufgrund von Biegung versagen und brechen (vgl. [12]).

# KAPITEL 3: METHODIK BESTANDSERFASSUNG UND - BEURTEILUNG

Im nachfolgenden Kapitel wird eine Methodik zur Zustandsbeurteilung historischer Dachtragwerke vorgestellt, welche aus MEISEL [6] entnommen wurde. Der Projektablauf für eine Instandsetzung ist in Abbildung 3-1 zusammengefasst:

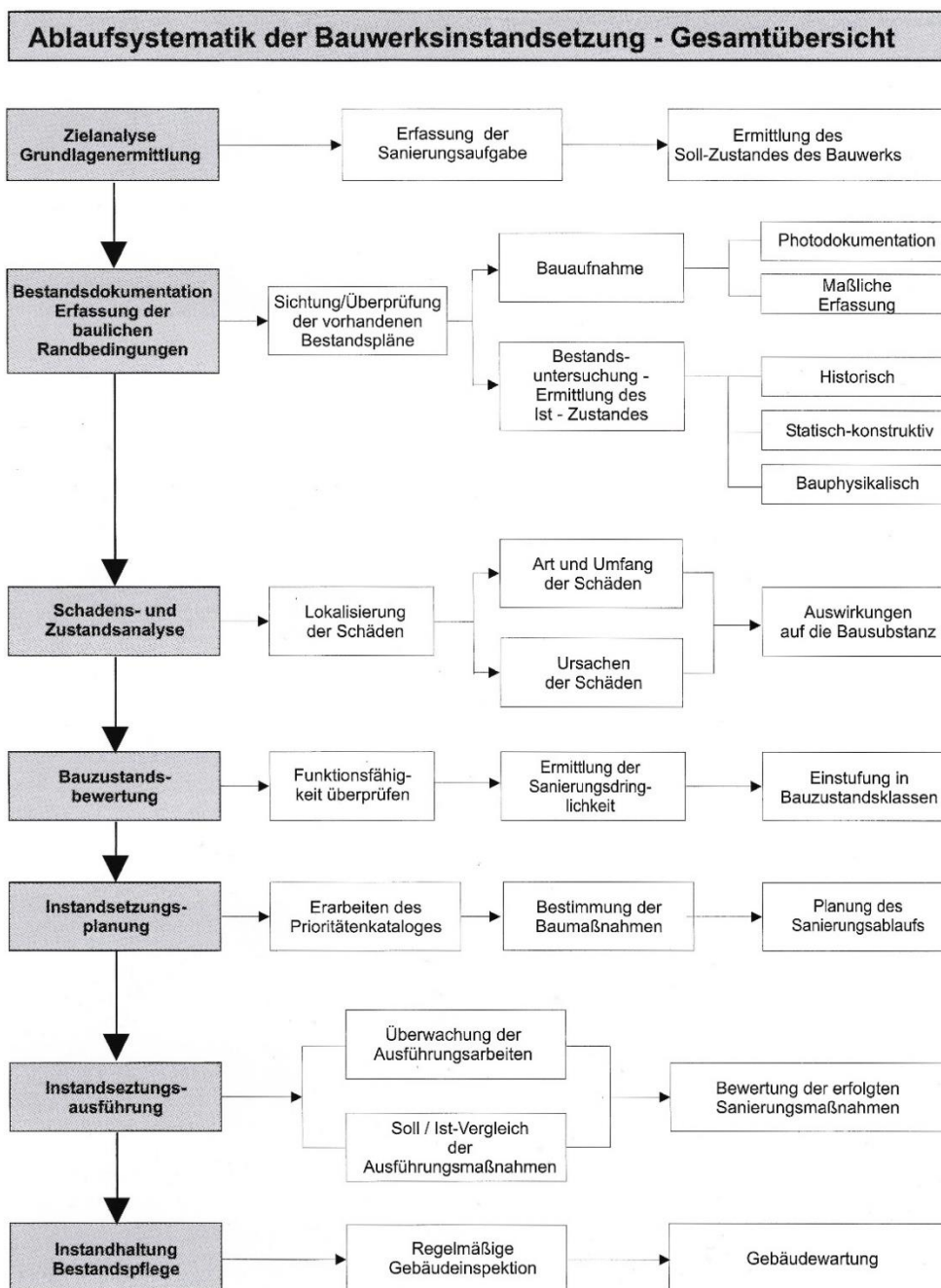


Abbildung 3-1: Projektablauf für eine Instandsetzung [19]

## 3-1 ZIELANALYSE

Als erster Schritt sollte eine Zielanalyse erfolgen und mit allen am Projekt beteiligten Personen abgestimmt werden. Bei der Zielanalyse soll die Aufgabenstellung definiert werden und der gewünschte Sollzustand festgelegt werden. Die wesentlichen Inhalte einer Zielanalyse sind folgende:

- Festlegung der Aufgabenstellung
- Definition von Nutzungsziel und Sollzustand
- Technische Anforderungen
- Termin und Kostenplanung
- Forderungen von Behörden (Denkmalschutz)

## 3-2 BESTANDSERFASSUNG

Die Bestandsaufnahme umfasst zwei Kernaufgaben:

- Bestandsuntersuchung
  - Allgemeine Eckdaten wie Bauweise, Baujahr und Lage
  - Historie des Gebäudes wie Umnutzungen, Umbauten, Schädigungen
  - Kenntnis über das vorhandene statische System
  - Materialeigenschaften
- Bestandsaufnahme
  - Fotodokumentation
  - Systemgeometrie
  - Anschlussgeometrie
  - Querschnittsgeometrie

Die umfassende Ermittlung des IST-Zustandes ist die Voraussetzung für weiterführende Instandsetzungsplanungen in entsprechender Qualität (vgl. [20]).

Im Rahmen einer ersten Begehung erfolgt die visuelle Beurteilung des Tragwerks. Dabei soll eine allgemeine Erfassung über das Gebäude und dessen Zustand durchgeführt werden. Außerdem wird die weitere Vorgehensweise festgelegt. Sollte die erforderliche Tragsicherheit nicht gegeben sein, sind Sofortmaßnahmen (Evakuierung, Sperrung, ...) zu treffen. „Gefahr im Verzug“ bedeutet, dass von einer baulichen Anlage mit hinreichender Wahrscheinlichkeit eine Gefährdung von Menschen in absehbarer Zeit zu erwarten ist. Ein Ablaufschema für eine Bestandserfassung ist nach MEISEL [21] in Abbildung 3-2 dargestellt.

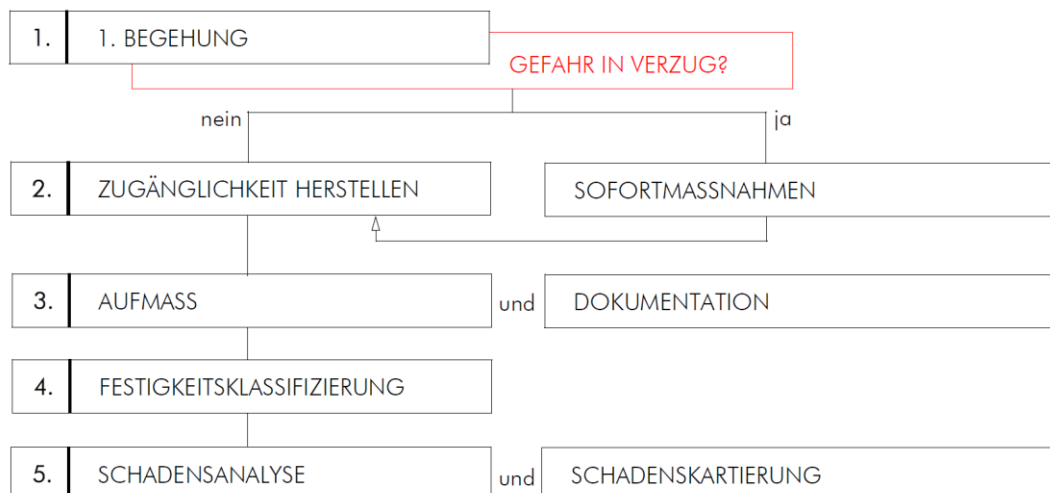


Abbildung 3-2: Ablauf einer Bestandserfassung nach MEISEL [21]



Nach der Überprüfung ob „Gefahr im Verzug“ besteht, sollte die Zugänglichkeit zu allen Bauteilen hergestellt werden, dazu gehören Laufstege, das Entfernen von Bekleidungen, Schüttungen, Bauschutt und die Reinigung der Konstruktionsglieder.

Anschließend erfolgen das Aufmaß und die Dokumentation. Vor Beginn der eigentlichen Bestandserfassung sollte der Detaillierungsgrad festgelegt werden. Nachfolgend eine kurze Definition der anerkannten Genauigkeitsstufen nach [22]:

- Genauigkeitsstufe I: schematische Darstellung ohne Schäden oder Verformungen mit einem Zielmaßstab 1:100
- Genauigkeitsstufe II: nahezu wirklichkeitsgetreues Aufmaß, Zielmaßstab 1:100 oder 1:50. Vollständige Erfassung als Grundlage für einfache Restaurationskartierung oder Sanierungsmaßnahmen.
- Genauigkeitsstufe III: verformungsgetreues Aufmaß mit Zielmaßstab 1:50. Exakte und verformungsgetreue Erfassung des Objektes als Grundlage für die historische Bauforschung oder als Grundlage für die Bauforschung.
- Genauigkeitsstufe IV: sehr detaillierte Darstellung aller relevanten Details, Zielmaßstab 1:25 oder größer. Grundlage für sehr komplexe Restaurierungs- und Sanierungsarbeiten.

Die erforderliche Genauigkeitsstufe der Bestandserfassung eines historischen Holztragwerks für die statische Analyse liegt zwischen diesen Ansprüchen. Zum einen ist eine umfassende Dokumentation des Tragwerks, inklusive aller Konstruktionsglieder und Querschnittsabmessungen, notwendig für den Tragwerksplaner. Des Weiteren ist die Aufnahme aller Anschlussgeometrien unverzichtbar. Auffällig große Verformungen sollten erfasst werden, dagegen ist es nicht notwendig „normale“ Verformungen unter Last zu berücksichtigen (vgl. [12]).

Abschließend noch ein Überblick zu den benötigten Arbeitsmittel für eine Bestandsaufnahme und Schadensanalyse (aus [21],S. 59) und Abbildung 3-3:

- Person:
  - Persönliche Schutzausrüstung (festes Schuhwerk und Handschuhe, evtl. Helm, Sicherheitsgurt, etc.)
  - Steigeinrichtung je nach Bedarf (zum Beispiel Leiter, Hubsteiger, etc.)
  - Taschenlampe oder Stirnlampe
- Dokumentation:
  - Schreibplatte, leere Protokollseiten, Kreide, Klebezettel.
  - Kamera, Blitz, Stativ und Weitwinkelobjektiv
  - Gefäße für Proben, Lupe (Holzartenbestimmung, Holzschädlingsbestimmung)
  - Besen oder Handfeger zum Reinigen der Holzoberflächen
  - Starke Taschenlampe und/oder Halogenstrahler
- Messen:
  - Rollmeter, Meterstab, Messlatte
  - Elektronisches Distanzmessgerät
  - Hammer, Nägel, Schnur
  - Fühlerlehre (Rissbreitenbestimmung), Draht (um beispielsweise die Tiefe von Zapfenlöchern messen zu können).
  - Brechstange (Zugänglichkeit zu Bauteilen und/oder Verbindungen herstellen).
  - Lot (für Schiefstellungen)
  - Holzfeuchtemessgerät
  - Bohrwiderstandsmessgerät
  - Weitere Messgeräte wie: Theodolit, Totalstation (ideal für verformungsgerechte Aufmaße), Endoskop



*Abbildung 3-3: Arbeitsmittel für die Bestandsaufnahme*

### 3-3 SCHADENSANALYSE

Nach der Bestandserfassung folgt die Schadensanalyse. Das Ziel der Schadensanalyse ist die Schadensaufnahme und die Feststellung des Schadensausmaßes. Ebenso wie die Ermittlung der Schadensursache. Die Erfassung der Schäden erfolgt durch visuelle Untersuchungen mithilfe von weiteren Diagnosemethoden, wie Klangproben, Bohrwidstandsmessungen, In-situ-Prüfungen und Probeentnahmen für Laboruntersuchungen. Generell sind zerstörungsfreie und -arme Prüfmethode zu bevorzugen. Für eine methodische Schadensanalyse sind vier Schritte auszuführen:

- Bauzustandserfassung
- Schadenserfassung und Ermittlung der Ursachen
- Bewertung des Bauzustands
- Festlegung geeigneter Maßnahmen

Die Wirkungskette Ursache – Wirkung – Schaden ist aber nicht immer eindeutig feststellbar. Dabei hat nicht unbedingt ein Schaden nur eine Ursache, ein Schaden kann auch eine Kombination aus verschiedenen Ursachen haben bzw. kann eine Ursachen auch mehrere verschiedenen Schäden als Folge haben. Die Ermittlung der Schadensursache ist ein wichtiger Bestandteil, damit die Tragsicherheit des gesamten Tragwerks zuverlässig beurteilt werden kann. (vgl. [3])

Eine Klassifizierung der auftretenden Schäden und die möglichen Schadensursachen sind in LISSNER/RUG [3] zusammengestellt, siehe Abbildung 3-4:

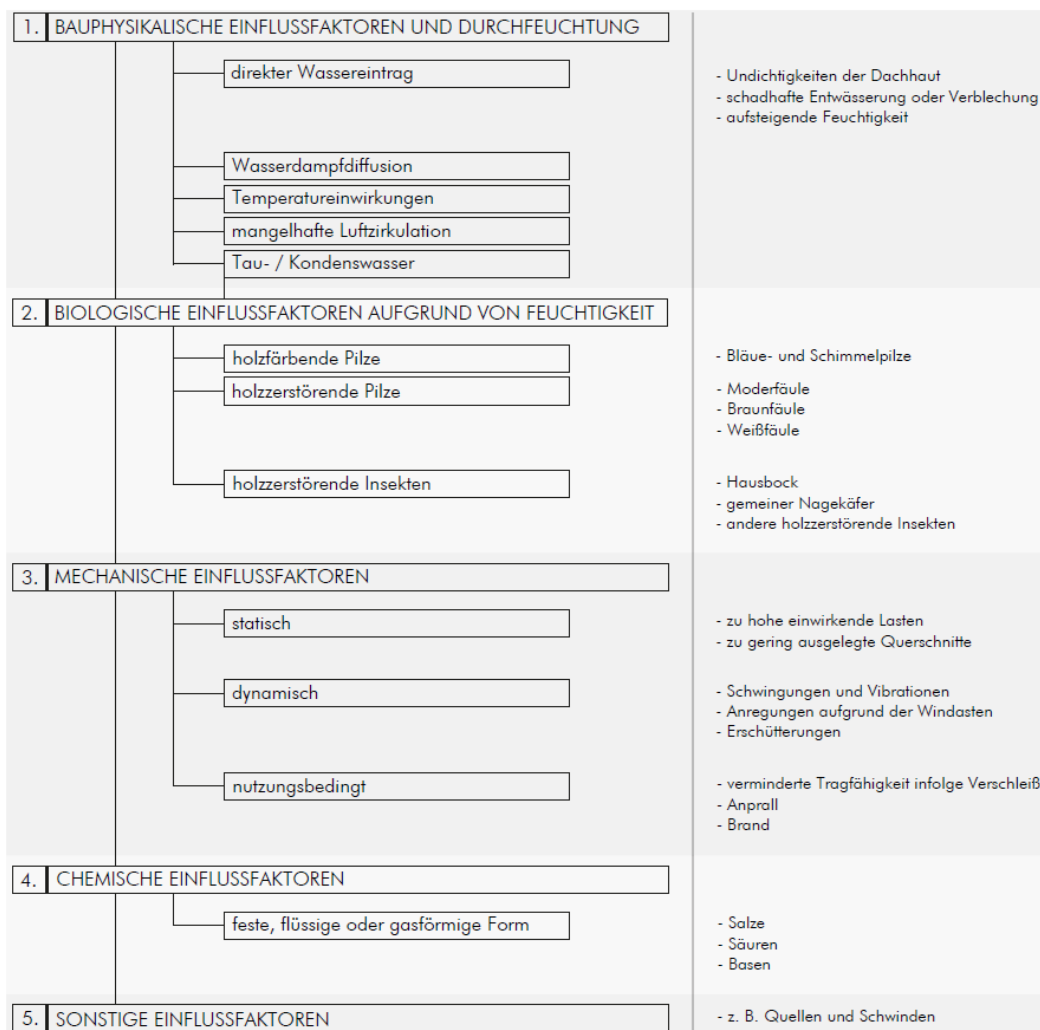


Abbildung 3-4: Klassifizierung von Schäden an Holzkonstruktionen [23].

Diese Klassifizierung erfolgte nach Schadensarten und deren Einflussfaktoren. Eine andere Möglichkeit ist die Klassifizierung der Schadensarten nach deren Erscheinungsbild, siehe diesbezüglich z.B. MÖNCK ([10], S. 51). Für genaue Beschreibungen der Schadensmechanismen kann auf MÖNCK [10] und LIBNER/RUG [3] verwiesen werden.

Welche Untersuchungen für die Bauzustandserfassung durchgeführt werden, sollte für jedes Tragwerk individuell festgelegt werden. Die wichtigste Prüfmethode ist die visuelle Untersuchung des Tragwerks, hierbei werden die Schäden in Art und Umfang erfasst. Ebenfalls sind erste Rückschlüsse auf die Ursachen möglich. Durch Abklopfen kann auch bereits ein erster Überblick über verdeckte Schäden gewonnen werden. Über die Klanghöhe (hell oder dumpf) kann der Zustand des Bauteils eruiert werden. Über weitere Prüfmethode für Holzkonstruktionen gibt Tabelle 3-1 in Anlehnung an Erler [24] einen Überblick:

**Tabelle 3-1: Prüfmethode an Holzkonstruktionen:**

Prüfgegenstand	Verfahren	Hinweis
<b>Geometrische Messung</b> - Aufmaß - verformungsgetreues Aufmaß	- Bandmaß	zf
	- elektronischer Entfernungsmesser	zf
	- Wasserwaage	zf
	- Photogrammetrie	zf
	- Nivellier, Theodolit	zf
<b>Holzfehler</b> - Risse - Löcher	- visuell	zf
	- Risstiefen-Messstab	zf
	- Rissbreiten-Lupe	zf
<b>Befall durch Schadorganismen</b>	- visuell	zf
	- Ultraschall	zf
	- Spitzhammer	za
	- Bohrkerne	za
	- Endoskop - Bohrwiderstandsmessung	za za
<b>Holzfeuchte</b>	- elektrische Messung	zf
	- Thermografie (bedingt)	zf
	- Darr-Wägung von Proben bei 103 °C	za
<b>Biegefestigkeit, E-Modul</b>	- Ultraschall (bedingt)	zf
	- Probelastung	zf
<b>Druckfestigkeit, Rohdichte</b>	- Bohrkerne	za
	- Bohrwiderstandsmessung	za
<b>Nachweis chem. Agenzien</b>	- Salz-Nachweis durch Leitfähigkeit	zf
	- Bohrspäne	za
	- Bohrkerne	za
	- Reagenz-Lösungen	za
	- Speziallabors	za
<b>Eindringtiefe chem. Agenzien</b>	- Bohrkerne und Reagenz-Lösung	Za
<b>Ortung Metall</b>	- Metalldetektor	Zf

zf: zerstörungsfrei, za: zerstörungsarm

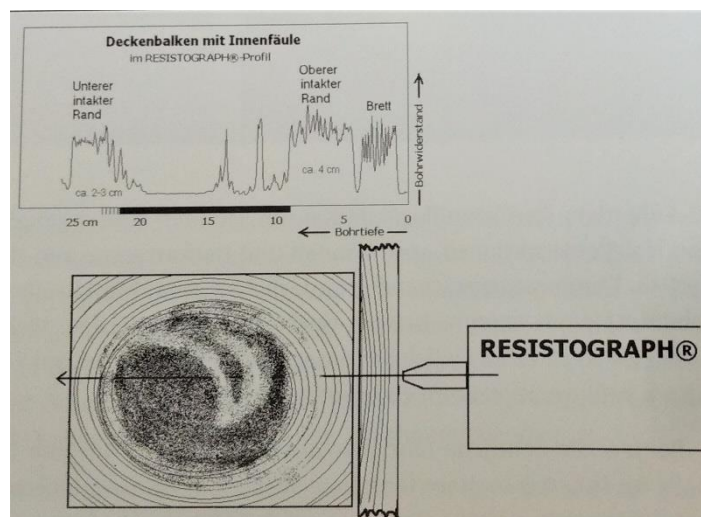
Bei der erfolgten Bestandsaufnahme kamen zwei dieser Prüfmethode, die Holzfeuchtemessung und die Bohrwiderstandsmessung zum Einsatz. Nachfolgend werden diese Prüfmethode kurz erläutert.

### Holzfeuchtemessung

Die Messung der Holzfeuchte ist eine wichtige Prüfmethode, da die vorhandene Holzfeuchte einen großen Einfluss auf die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften des Holzes hat. Auch Hinweise auf mögliche Schäden kann eine Holzfeuchtemessung liefern. Die Holzfeuchte wurde mithilfe einer elektrischen Widerstandsmessung ermittelt. Diese Methode beruht auf der Messung des Ohm'schen Widerstandes zwischen zwei Elektroden. Es handelt sich dabei um eine oberflächennahe Messung, wobei die reale Feuchteverteilung über den gesamten Querschnitt nicht feststellbar ist und von den Messwerten abweichen kann. Die Genauigkeit der Messung liegt bei  $\pm 0,5 \div 1 \%$  bei einer Holzfeuchte  $u < 30 \%$ . Bei höheren Holzfeuchten werden die Messungen ungenauer. Weiters ist zu beachten, dass die Holzfeuchtemessung abhängig von der zu messenden Holzart und der Temperatur ist. Dies sollte bei der Geräteeingabe berücksichtigt werden. (vgl. [24], [3])

### Bohrwiderstandsmessung

Mithilfe der Bohrwiderstandsmessung lässt sich die relative Festigkeit von Holzbauteilen zerstörungsarm ermitteln. Dabei wird eine Bohrnadel (Bohrnadelspitze ca. 3 mm) mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit in das Holzbauteil eingetrieben. Je nach Holzdicke wird vom Motor unterschiedlich viel Leistung benötigt, diese Unterschiede werden als eine Dichtekurve aufgenommen. Die Bohrwiderstandsmessung eignet sich für die Lokalisierung von Schäden (z.B. Innenfäule) und der Ermittlung des tragfähigen Restquerschnittes. Auch für die Bestimmung der Geometrie versteckter Holzverbindungen ist das Gerät geeignet. Direkte Rückschlüsse auf die Rohdicke sind jedoch nicht möglich (vgl. [24], [3]).



**Abbildung 3-5: Bohrwiderstandsmessung bei einem Deckenbalken mit Innenfäule [79]**

Für die anschließende Bewertung der historischen Bausubstanz ist die Dokumentation der Schadensanalyse die Grundlage. Dazu gehört sowohl die Schadenskartierung sowie ein Bericht mit Schadensart, Schadensumfang, Schadensursache und einer fotografischen Dokumentation.

Anmerkung: Auf typischen Schadensschwerpunkte für Holzkonstruktionen wird in Kapitel 4-5.1 eingegangen.

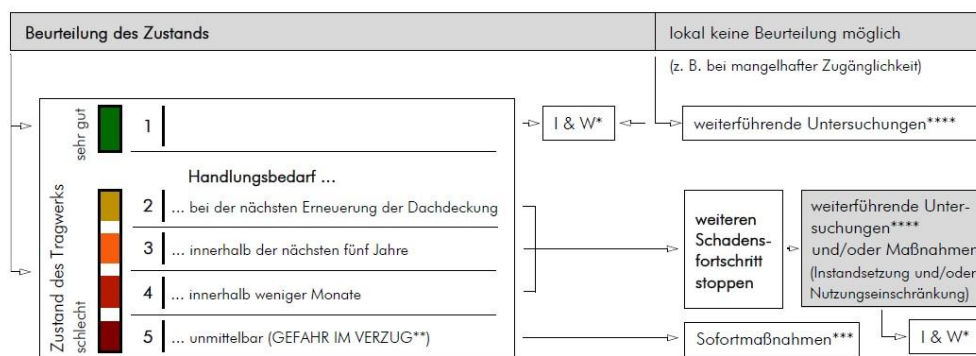
## 3-4 BAUZUSTANDSANALYSE

### 3-4.1 BAUZUSTANDSBEWERTUNG

Auf Grundlage der Bestandserfassung, der Schadensaufnahme und -analyse erfolgt eine erste Beurteilung des Gebäudes. Dabei sollte die Beurteilung für jeden Bereich mit einer statisch-konstruktiv unterschiedlichen Ausbildung separat erfolgen. Die Bauzustandsanalyse erfolgte nach dem von MEISEL [6] entwickelten Schema. Diesem Schema liegt ein Notensystem zugrunde, welches in Anlehnung an die RVS Arbeitspapier Nr. 12 (2009) [25] entwickelt wurde. Der Bauzustand wird dabei nach den folgenden Kriterien beurteilt:

- Schadensfolgeklasse (nach EC 0, Tabelle B.1)
- Tragsicherheit
- Evtl. erfolgte Probelastungen (Funktionsprüfungen)

Das Notensystem ist dabei folgendermaßen definiert:



#### Anmerkungen

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

**Abbildung 3-6: Notensystem zur Bauzustandsbeurteilung [6]**

Für die Beurteilung des Bauzustandes wird das folgende Konzept nach MEISEL [6] empfohlen:

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

*Abbildung 3-7: Zustandsbeurteilung für hölzerne, historische Dachtragwerke in Graz [6].*

Detailliertere Erläuterungen zu dem Beurteilungsschema können der Dissertation von Meisel [6] entnommen werden.

### 3-4.2 ÜBERPRÜFUNG DER FUNKTIONSFÄHIGKEIT

Nach der Bewertung des Bauzustandes des Tragwerkes erfolgt die Überprüfung der Funktionsfähigkeit. Diese beinhaltet die Überprüfung der Standsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit. Also die Modellierung eines zutreffenden statischen Systems, die Berechnung und die Nachweisführung. Abbildung 3-8 zeigt das Ablaufschema für eine Funktionsfähigkeitsüberprüfung nach [19]:

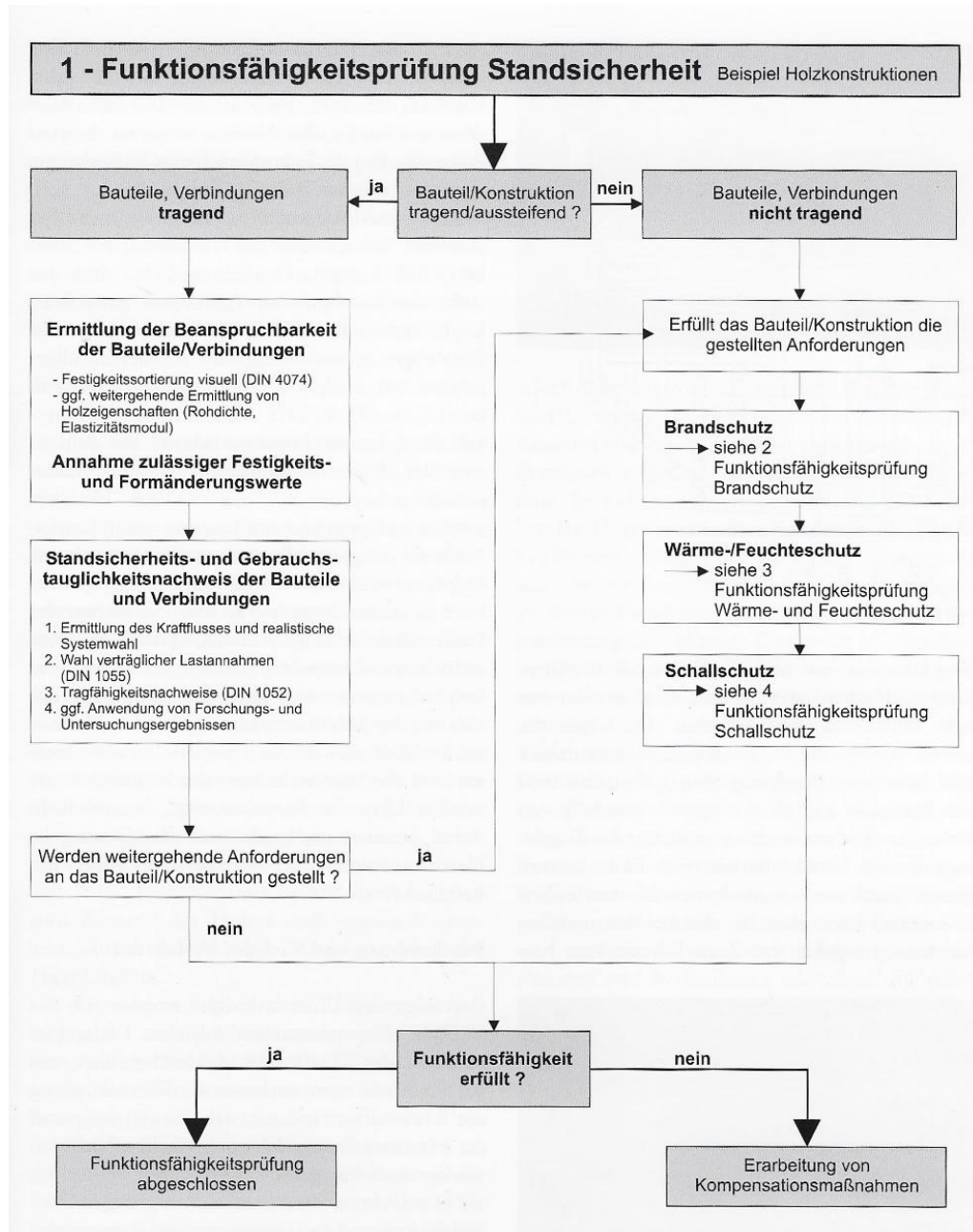


Abbildung 3-8: Ablauf der Funktionsfähigkeitsprüfung [19]



## 3-5 PLANUNG BAULICHER MAßNAHMEN UND AUSFÜHRUNG

Nach der Bewertung des Bauzustandes und in Abhängigkeit von den definierten Zielen, erfolgt die Planung für den Erhalt der historischen Bausubstanz. Hierfür müssen geeignete Konzepte entwickelt werden, die zum einen den historischen Bestand und zum anderen die modernen Nutzungsansprüche berücksichtigen. Dabei ist die Erhaltung historischer Konstruktionen oftmals eine fordernde Aufgabe und stellt besondere Anforderungen an die beteiligten Tragwerksplaner bzw. Architekten. Aber auch die Forderungen der Bauherren für die Nutzungsbedingungen nach heutigen Ansprüchen, muss genüge getan werden.

Abbildung 3-9 zeigt die Komplexität bei der Gebäudeplanung im Bestand:

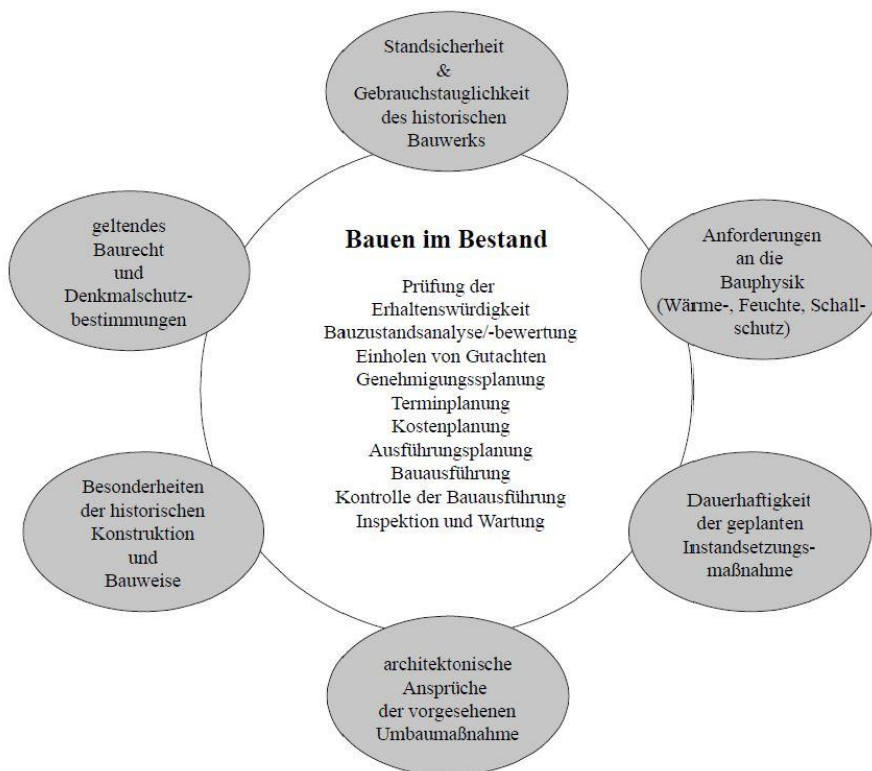


Abbildung 3-9: Komplexität der Gebäudeplanung im Bestand [3]

Das Bauvolumen für Baumaßnahmen im Bestand ist inzwischen bereits größer als für Neubauten. In Österreich stehen (Stand Januar 2019) insgesamt 38.367 Denkmale gemäß § 3 oder § 2a DMSG (Denkmalschutzgesetz) unter Schutz. Die Denkmalpflege ist dabei als eigene Fachdisziplin anzusehen. Bereits in der Charta von Venedig [26], eine international anerkannte Richtlinie für die Denkmalpflege, wird darauf hingewiesen, dass eine nützliche Funktion durchaus wünschenswert ist. Dabei darf jedoch nicht die Struktur oder die Gestalt von dem Denkmal verändert werden (vgl. [26], Artikel 5). Neben den Bauvorschriften für den Neubau ist der Tragwerksplaner auch mit einer Reihe zusätzlicher Gesetze und Verordnungen konfrontiert. Im nachfolgenden Abschnitt werden kurz wichtige Gesetze und Normen zum Thema Denkmalschutz (ohne Gewähr auf Vollständigkeit) aufgezählt und die wichtigsten Begriffe erläutert. (vgl. [20], [27])

### Gesetze:

- Steiermärkische Bauordnung (Stmk. BauG, Landesgesetz) [28]
- Ortsbildgesetz (Landesgesetz) [29]
- Denkmalschutzgesetz (DMSG, Bundesgesetz) [30]
- Grazer Altstadterhaltungsgesetz (GAEG, Landesgesetz) [31]

Anmerkung: Die Gebäude der LFS Grottenhof liegen in keiner der Schutzzonen des GAEG

Normen:

- ÖNORM EN 13306: 2010 - Begriffe der Instandhaltung [32]
- DIN 31051: 2012 - Grundlagen der Instandhaltung [33]
- ÖNORM A 6250-2:2015 – Bestands- und Bauaufnahme von denkmalgeschützten Objekten [34]
- SIA 462: 1994 - Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke (ausgelaufen) [35]
- SIA 469:1997- Erhaltung von Bauwerken [36]
- SIA 269: 2011 - Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken [37]
- Merkblatt SIA 2017: 2000 - Erhaltungswert von Bauwerken [38]

Für die relevanten inhaltlichen Passagen kann auf SCHICKHOFER in [39] hingewiesen werden.

Wichtige Begriffe zum Thema Denkmalschutz

**Denkmal:** nach § 1. (1) DMSG, „sind Denkmale als von Menschen geschaffene unbewegliche und bewegliche Gegenstände von geschichtlicher, künstlerischer oder sonstiger kultureller Bedeutung definiert. [30]

**Denkmalpflege:** künstlerische, geistige, technische Maßnahmen zur Erhaltung und Unterhaltung von Denkmälern; also Beratung, Vorsorge, Bau und Nutzung zum Denkmalerhalt.

**Denkmalschutz:** Richtlinien, Gesetze, Auflagen, Genehmigungen und Anordnungen die notwendig sind für die Sicherstellung der Denkmalpflege.

**Instandhaltung und -setzung:** Inspektion, Wartung und Pflege zur Vermeidung von Schäden des Denkmals. Alle nötigen Reparaturen, Sicherungen, etc.

**Konservierung:** Erhaltung des vorgefundenen Zustandes, also die materielle Sicherung und weitere Substanzverluste vermeiden.

**Restaurierung:** Wiederherstellung des ursprünglichen Zustands, das geschichtliche und künstlerische Zeugnis soll dabei erhalten bleiben.

**Renovierung, Modernisierung und Sanierung:** Diese eingreifenden Maßnahmen führen zu Zerstörungen der historischen Substanz, aus Gründen der Bauordnung oder der Nutzungsanforderungen.

**Rekonstruktion:** Nachbildung des ursprünglichen Zustandes, dabei handelt es sich um einen Neubau.

**Wiederaufbau:** heißt nicht unbedingt, dass der ursprüngliche Zustand hergestellt wird.

Anmerkung: Für die Grundsätze bei der Planung baulicher Maßnahmen für historische Holztragwerke und spezifischen Instandsetzungsmethoden wird auf Kapitel 6-1 verwiesen.

## 3-6 INSTANDHALTUNG

---

Bei der Instandhaltung von Baudenkmalern muss auf den denkmalpflegerischen Bestand und die Eigenschaften des Denkmals geachtet werden. Eine gewissenhafte Instandhaltung, welche mögliche Schäden vorbeugt, kann Denkmäler für Jahrhunderte unbeschädigt erhalten und ist somit die bestandsschonendste Art der Denkmalpflege (vgl. [40]).

### 3-6.1 BEGRIFFSDEFINITIONEN

Die folgenden Begriffsdefinitionen erfolgen in Anlehnung an die DIN 31051 [33], ÖNORM EN 13306 [32] und dem Forschungsbericht „D(N)achhaltigkeit Graz“ [4]:

#### Instandhaltung

Darunter werden alle Maßnahmen verstanden, um eine Betrachtungseinheit (z. B. Anlage) in jenem Zustand zu halten, oder zurückzuführen, in dem sie die geforderte Funktion erfüllen kann.

Die Instandhaltung beinhaltet vier Grundmaßnahmen:

- Inspektion: Maßnahmen zur Feststellung des Ist-Zustandes der Betrachtungseinheit (inkl. Ursachen für Abnutzung und deren Konsequenzen).
- Wartung: Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaues des vorhandenen Abnutzungsvorrates.
- Instandsetzung: Maßnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand.
- Verbesserung: Maßnahmen zur Steigerung der Funktionssicherheit einer Betrachtungseinheit. Die geforderte Funktion bleibt jedoch unverändert.

#### Modifikation

Im Gegensatz dazu wird bei der Modifikation die Funktion (Nutzen) verändert, beispielsweise gelten alle Dachbodenausbauten als Modifikation.

### 3-6.2 INSPEKTION UND WARTUNG

Durch eine regelmäßige Inspektion und Wartung entstehen zwar geringe Mehrkosten, jedoch können in den meisten Fällen dadurch schwerwiegende Schäden verhindert werden. Die Instandsetzung schwerer Schäden und deren Folgeschäden ist aber meist wesentlich kostenintensiver als die durchgeführten Inspektionen und Wartungsmaßnahmen. Passend hierzu ein Zitat von FRITZEN [41]:

*„Die Bau-Denkmalpflege hat sich zur Aufgabe gemacht, Folgen von Fehlverhalten aus der Vergangenheit, für das niemand mehr haftet, soweit zu beseitigen, dass als erhaltenswert Erkanntes erhalten werden kann. Erstaunlich ist, wie lange gewartet wird, bis Maßnahmen zur Vermeidung von Schlimmerem getroffen werden. Es scheint grundsätzlich gebräuchlich, Wasser an der Traufe von hölzernen Dachkonstruktionen so lange eindringen zu lassen, bis die Fußpunkte der Gespärre ziemlich vollkommen erneuert werden müssen. Das liegt nicht am Holz, und das Wasser ist auch nicht Schuld. Wider bekanntes Wissen wird zugewartet, bis die Denkmäler so mangelhaft werden, dass die Wiederherstellung eines ordentlichen Zustandes richtig teuer wird.“*

#### Voraussetzungen

Während für den Straßen- und Eisenbahnbrückenbau Inspektionen in Deutschland und Österreich schon seit Jahren Stand der Technik sind (vgl. [25]), gibt es für den Hochbau keine vergleichbaren Richtlinien. Im Rahmen des Projekts „D(N)achhaltigkeit Graz“ wurden vom Institut für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz Inspektions- und Wartungspläne (vgl. [4]) entwickelt. Diese werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

Für die dauerhafte Erhaltung von historischen Holzkonstruktionen gelten folgende wesentliche Voraussetzungen:

- Zugänglichkeit und Reinigung der Konstruktion
- Regelmäßige Inspektionen und Wartungsmaßnahmen sind durchzuführen
- Festgestellte Mängel und Schäden sind fachgerecht instand zu setzen

Das Objektbuch, welches zur Dokumentation des Tragwerks dient, sollte auch die Inspektions- und Wartungseinträge enthalten. Ebenso sollten auch Intervalle für die Inspektionen festgelegt werden. Ein vollständiges Objektbuch für ein Tragwerk sollte also folgendes beinhalten:

- Deckblatt
- Erste Bestandserfassung und Beurteilung
- Anfallende Instandsetzungen
- Inspektions- und Wartungseinträge

### **Durchführung der Inspektion**

Der Umfang erforderlicher Tätigkeiten bei der Inspektion ist abhängig von dem Bauwerkswert und der Sensibilität bezüglich Schäden. Es ist zu empfehlen bei der Inspektion in „kleine“ Inspektion und „große“ Inspektion zu unterscheiden.

#### **„Kleine“ Inspektion**

Bei der kleinen Inspektion sollten visuelle, handnahe Prüfungen durchgeführt werden. Besonders sollten dabei Schwachstellen (Traufbereiche, Ichen, Kehlen, ...) beachtet werden. Jede Inspektion sollte dabei dokumentiert werden. Die kleine Inspektion sollte jährlich erfolgen und kann auch von ausgewiesenen Personen erfolgen. Der Liegenschaftseigentümer sollte die Dokumentation überprüfen.

#### **„Große“ Inspektion**

Die große Inspektion sollte nach dem Schema der Bauzustandsanalyse erfolgen und von fachlich geeigneten Personen durchgeführt werden. Die große Inspektion sollte alle 5 bis 10 Jahre erfolgen und durch einen fachlich geeigneten Ingenieur erfolgen.

Wird bei einer Inspektion eine Abweichung vom Sollzustand festgestellt, sollte entweder eine große Inspektion beauftragt oder entsprechende Wartungsarbeiten durchgeführt werden. Zur Wartung gehören beispielsweise Sofortmaßnahmen wie der Austausch geschädigter Dachziegel oder die Säuberung der Dachrinne.

## **3-6.3 INSTANDSETZUNG UND VERBESSERUNG**

[40], [42], [43]

Zur Instandsetzung gehören alle Maßnahmen, die zur Wiederherstellung des Soll-Zustandes eines Objektes notwendig sind. Diese Maßnahmen umfassen Konservierung und Sicherung, Restaurierung, Renovierung und Ergänzung. Für Instandsetzungsmaßnahmen sollten folgende Grundforderungen gelten:

- Beschränkung auf das Notwendige:  
„Jede Maßnahme ist nach gründlicher Prüfung wirklich auf das Notwendige zu beschränken!“  
( [40], S. 42)  
Aus diesem Grundsatz ergibt sich in weiterer Folge, dass die Reparatur immer der Erneuerung vorzuziehen ist (soweit möglich). Ebenso sollte die Reparatur mit entsprechenden historischen Materialien und Techniken erfolgen. Diese Grundsätze bedeuten aber nicht, dass moderne Technik ausgeschlossen werden muss, wenn durch diese ein größerer Erfolg bei der Erhaltung der Substanz zu erwarten ist oder herkömmliche Methoden der Reparatur den Schaden nicht beheben können.
- Reversibilität: Ein weiterer wichtiger Grundsatz ist die Reversibilität. Alle durchgeführten Maßnahmen im Rahmen einer Instandsetzung sollten reversibel, also wieder rückgängig zu machen sein.

Nachfolgend werden die verschiedenen Methoden zur Instandsetzung kurz beschrieben. Für ausführliche Erläuterungen und Beschreibungen wird auf PETZTET/MADER [40] verwiesen.

### Konservierung und Sicherung

*conservare = etwas in unversehrtem Zustand erhalten und bewahren*

Konservierungsmaßnahmen dienen zur Erhaltung des materiellen Bestandes und sollen weiteren Substanzverlust vorbeugen. Dazu gehören auch statische Sicherung und Ersatzkonstruktionen bei Baudenkmalern. Das Ziel solcher Sicherungsmaßnahmen ist, den Austausch von Konstruktionsteilen oder Material möglichst zu vermeiden. Dabei soll die vorhandene Substanz erhalten und Fehlstellen nicht ergänzt werden.

### Restaurierung

*restaurare = wiederherstellen*

Hierzu zählen Maßnahmen zur Wiederherstellung des Gesamterscheinungsbildes des Denkmals. Es werden, im Anschluss an die Konservierung und Sicherung, Teile hinzugefügt, jedoch ohne den historischen Bestand zu verringern.

### Renovierung

*renovare = zu erneuern*

Die Renovierung ist die dritte Methode für Instandsetzungsmaßnahmen. Bei der Renovierung geht es besonders um das äußere Erscheinungsbild des Denkmals und dabei wird vorhandene Substanz erneuert. Eine solche Erneuerung ist jedoch oftmals mit dem vollständigen Verlust der historischen Substanz verbunden und somit mit den denkmalpflegerischen Grundsätzen meist nicht vereinbar.

### Ergänzung

Ist die Instandsetzung durch Reparatur allein nicht mehr möglich, sind Ergänzungen notwendig. Dabei sollen solche Ergänzungen von der originalen Substanz klar unterscheidbar bleiben.

### Verbesserung

Die Verbesserung umfasst Maßnahmen zur Steigerung der Funktionssicherheit eines Objektes. Dazu gehören beispielsweise die Ertüchtigung und Verstärkung von Anschlüssen oder der Einbau eines Unterdaches.

Für die Grundsätze bei historischen Holztragwerken und der Methodik für Instandsetzungen wird auf Kapitel 6-1 verwiesen.

## KAPITEL 4: BESTANDSERFASSUNG DES DACHTRAGWERKES NR. 108

Im nachfolgenden Kapitel erfolgt die Bestandserfassung für das Dachtragwerk des Wirtschaftsgebäudes. Die Bestandsanalyse kann unterteilt werden in die Bestandsuntersuchung (Baugeschichte, Materialien, statisches System, etc.), die Bestandserfassung (Systemabmessungen, Querschnitte, Verbindungsknoten, etc.) und die Schadensanalyse (Schadensaufnahme, Ermittlung der Schadensursache).

### 4-1 EINLEITUNG: LFS ALT - GROTTENHOF

Der Betriebsteil Graz der Fachschule für Land- und Forstwirtschaft Grottenhof besteht aus mehreren Gebäuden. Der Großteil dieser Gebäude stehen unter den Bestimmungen nach § 2a des Denkmalschutzgesetzes, BGBl. I Nr. 170/1999, und BGBl. I Nr. 2/2008 unter Denkmalschutz. Dies kann man der Verordnung des Bundesdenkmalamtes für die Stadt Graz entnehmen [44]. Die verschiedenen Gebäude sind in Abbildung 4-1 zu sehen, dazu gehört die Krottendorfer Straße 104, 108, 110 und 112. Die Gebäudebezeichnungen sind dabei Kellerstöckl (Nr. 112), Land- und forstwirtschaftliche Fachschule (LFS) Alt-Grottenhof (Nr. 110) und der ehemalige Ansitz Krottenstein mit den Wirtschaftsgebäuden (Nr. 104, 108). Die LFS Grottenhof liegt im XV. Grazer Stadtbezirk Wetzelsdorf. Dabei handelt es sich um einen wichtigen Verkehrsknotenpunkt am Kollerberg, hier treffen die frühmittelalterliche Straße von Graz und die alte Römerstraße zusammen und setzen sich nach Westen über den Steinberg fort. Dieser Knotenpunkt ist eine uralte Siedlung, die ehemals „Einöd“ genannt wurde. Die Krottendorfer Straße war eine wichtige Nord-Süd-Handelsverbindungsachse (vgl. [45]).

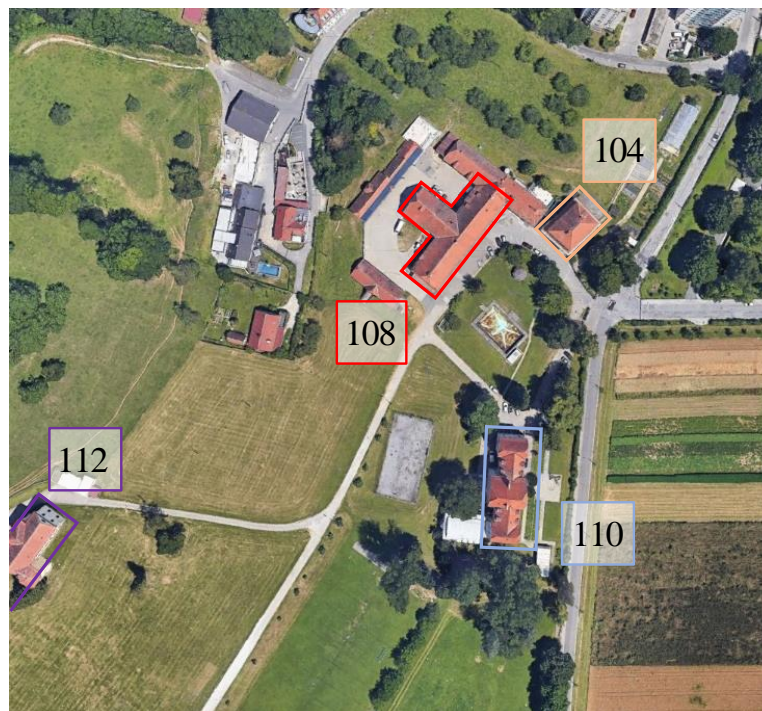
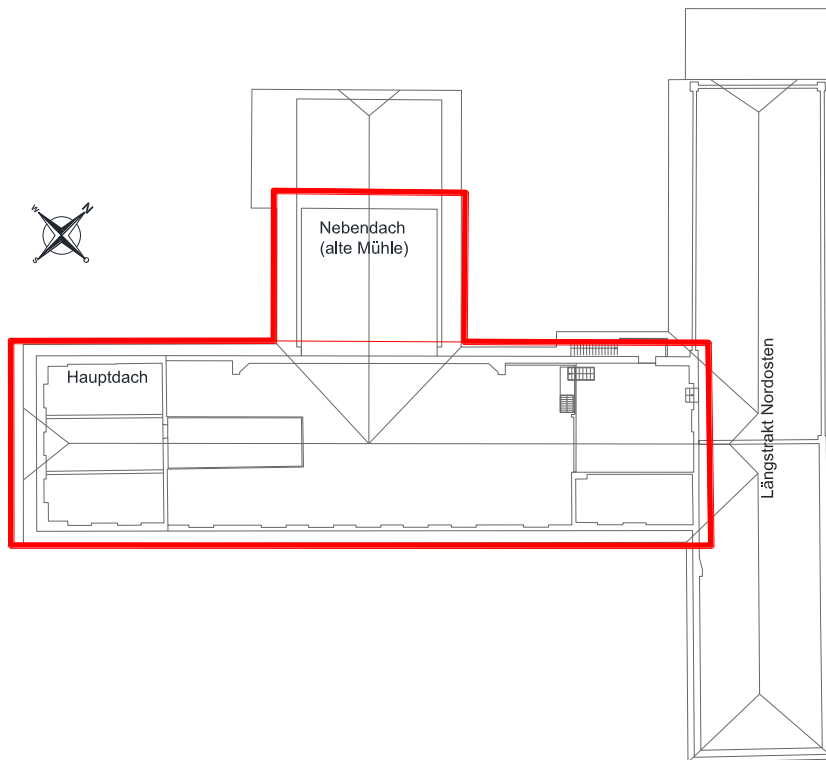


Abbildung 4-1: LFS Alt-Grottenhof (Quelle: Google Earth)

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Wirtschaftsgebäude (Nr. 108) des ehemaligen Ansitz Krottenstein. In Abbildung 4-2 ist das Wirtschaftsgebäude Nr. 108 dargestellt, die rote Markierung kennzeichnet den untersuchten Bereich des Dachtragwerkes.



*Abbildung 4-2: Wirtschaftsgebäude Nr. 108*

Im Weiteren folgt eine kurze Zusammenstellung der Geschichte der LFS Grottenhof sowie der Baugeschichte von dem Wirtschaftsgebäude. Von der Baugeschichte sind nicht viele Dokumente erhalten geblieben bzw. nicht verfügbar. So sind beispielsweise von der originalen Dachkonstruktion keine Pläne vorhanden.

## 4-2 GESCHICHTE DER LFS GROTTENHOF

---

[45], [46]

Bei der LFS Grottenhof handelt es sich um ein Ensemble aus mehreren Gebäuden (Krottendorfer Straße 104-112), die Bestandsaufnahme erfolgt für das Wirtschaftsgebäude Nr. 108. Nachfolgend wird die Geschichte der LFS Grottenhof in chronologischer Reihenfolge geschildert. Dabei fließen ebenfalls die Erkenntnisse aus der Akteneinsicht beim Bundesdenkmalamt (BDA) und Stadtarchiv ein.

### 4-2.1 GESCHICHTE VON ALT-GROTTENHOF

**1360**

Erste urkundliche Erwähnung im Urbar des Stiftes Admont; erwähnt wird ein kleinerer und größerer Hof, genannt Plattlhof. Beide Höfe waren der Herrschaft St. Martin untertänig.

**1490**

Johann von Paar kauft den Plattlhof und es erfolgt der Ausbau zum Edelmannssitz „Krottenstein“. Dabei handelt es sich um das Gebäude der Krottendorfer Straße 104. In Abbildung 4-3 ist das Gebäude abgebildet, bei dem es sich heute um ein Internat der LFS Grottenhof handelt. Der Gebäudekern ist aus dem 16. Jahrhundert mit einem abgewalmten Mansarddach und Ochsenaugenfenstern im Attikageschoss.



*Abbildung 4-3: Krottenstein 2011  
[Quelle: grazwiki.at]*

**1622**

Der Edelmannssitz wird an Fürst Johann Ulrich von Eggenberg verkauft. Der Hof ist wieder in bäuerlichen Besitz und heißt ab 1668 Lainachhof.

**1700**

Erwerb durch Johann Caspar Mejak zu Beginn dieses Jahrhunderts und Wiederherstellung als Edelmannssitz. Bezeichnet wird der Hof als „Hof und Süz Krottenstein“.

**1738**

Verkauf an das Stift Sankt Lambrecht.

**1780/86**

Verkauf des Hofes in bürgerliche Hände. Neugestaltung des Hofes mit Plattenstilfassade (gestaltet von jemand aus dem Umkreis Josef Huebers). Bau des Wirtschaftsgebäudes Nr. 108 als Stallungen.

**1869**

Erwerb durch das Land Steiermark zur Unterbringung einer Landes-Ackerbauschule.



**1896/97**

Neubau der Krottendorfer Straße 110, das heutige Schulgebäude. Abbildung 4-4 zeigt eine Ansichtskarte vom Grottenhof aus dem Jahr 1935, links im Bild ist Nr. 110 und rechts Nr. 104 zu sehen.



*Abbildung 4-4: Grottenhof 1930 [Steiermärkisches Landesarchiv]*

## 4-2.2 BAUGESCHICHTE DES WIRTSCHAFTSGEBÄUDES NR. 108

Insgesamt gibt es zu dem Gebäude nur sehr wenig Informationen bezüglich der Baugeschichte und keine Dokumente zu den Veränderungen in der Dachkonstruktion. Die dokumentierten Zeitpunkte sind nachfolgend aufgezählt, ebenso der rechtliche Status des Gebäudes.

**1780/86**

Neubau des Wirtschaftsgebäudes Nr. 108 als Stallgebäude mit einer Plattenstilfassade, Fußwalmdach und Torbogendurchfahrt. Die Halle im Erdgeschoss ist dreischiffig mit einem Platzgewölbe und gusseisernen Stützen. Das Wirtschaftsgebäude mit dem Gebäude Nr. 104 ist in einer Lithographie von 1830, Abbildung 4-5, dargestellt.



*Abbildung 4-5: Grottenhof 1830 [Lith. Anstalt J.F. Kaiser, Graz]*

**1825/50**

Im Zeitraum zwischen 1825 – 1850 erfolgte ein Anbau an das Wirtschaftsgebäude. Welcher Gebäudeteil erweitert wurde, ist nicht genauer bekannt. Bei einem Vergleich mit einer Ansichtskarte von 1912 (Abbildung 4-6) kann vermutet werden, dass der Längstrakt, der in dieser Masterarbeit behandelt wird, bereits von 1780/86 stammt. Die Ansichtskarte zeigt das Gebäude, so wie es auch heute noch der Bestand ist, mit Blickrichtung Nordosten.



*Abbildung 4-6: Grottenhof 1912 [Steiermärkisches Landesarchiv]*

**1980/1986**

Im Erdgeschoss erfolgte der Umbau des bestehenden Stallgebäudes in eine Lehrwerkstätte. Die gusseisernen Stützen wurden dabei erhalten. Des Weiteren wurde ein südwestseitig an das Stallgebäude angebaute Teil abgebrochen. Der Baubeschreibung kann man entnehmen, dass der bestehende Dachstuhl repariert und eine Neueindeckung mit Biberschwanzziegeln erfolgt ist. Genauere Angaben zu den durchgeführten Instandsetzungsarbeiten und Veränderungen der Dachkonstruktion sind nicht vorhanden. [47]

## 4-3 ZIELSETZUNG

---

### 4-3.1 ZIEL DER BESTANDSERFASSUNG

Ziel der Bestandsaufnahme ist ein umfassender Bestandsbericht, um Aussagen über den Zustand des Objektes treffen zu können, da für dieses Dachtragwerk eine Sanierung bzw. ein Ausbau angedacht ist. Diese enthält die vollständige Erfassung aller Abmessungen in Grund- und Aufriss sowie die Querschnitte sämtlicher Holzbauteile. Originale Planunterlagen sind von dem Gebäude keine erhalten geblieben. Später angefertigte Pläne (beispielsweise für den Einbau der Lehrwerkstätten im Erdgeschoss 1989) erfassen nur die groben Systemgeometrie und Querschnitte des Dachtragwerkes und sind nicht ausreichend für eine genaue Bestandsdokumentation des Dachtragwerkes. Ebenso sollen die Knotenpunkte der zimmermannsmäßigen Holz-Holz-Verbindungen detailgetreu erfasst. Des Weiteren wird eine Schadensanalyse für das Dachtragwerk durchgeführt und die aufgefundenen Schäden mithilfe einer Schadenskartierung dokumentiert. Die daraus gewonnenen Kenntnisse bieten die Grundlage für erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen und einer statischen Berechnung.

In der vorliegenden Arbeit wird keine umfassende Bestandserfassung für das gesamte Wirtschaftsgebäude Nr. 108 durchgeführt. Der Längstrakt im Nordosten des Gebäudes, dieser hat ein Kehlbalkendach mit zweifach stehendem Stuhl als Tragsystem, wird nicht genauer betrachtet. Der Fokus der Bestandserfassung liegt auf dem Gebäudeteil mit liegendem Stuhl als Tragsystem (siehe Abbildung 4-2). Die beiden Dachtragwerke sind durch Ziegelmauerwerk voneinander entkoppelt und können somit als unabhängige Dachkonstruktionen angesehen werden.

### 4-3.2 DETAILLIERUNGSGRAD UND EINSCHRÄNKUNGEN DER BESTANDSAUFNAHME

Das Aufmaß der Dachstruktur erfolgte zentimetergenau. Aufgrund sichtbarer Höhenunterschiede des Bretterbodens wurde als Referenzwert für die Höhenkoten der Konstruktion der Bundtram des Vollgespärre 2 (siehe Abbildung 4-27) im Südosten definiert und eine Referenzebene mithilfe eines Kreuzlasers (2 Achsen) festgelegt. Im Zuge dessen konnten ebenfalls große Verformungen der Tragstruktur aufgenommen werden. Unterschiedliche Sparrenabstände wurden berücksichtigt und der genaue Verlauf der Firstlinie wurde ebenfalls mithilfe des Kreuzlasers ermittelt. Die zimmermannsmäßigen Anschlussdetails sind stichprobenartig aufgenommen worden, da diese sich zahlreich in der Konstruktion wiederholen.

Der Dachraum wurde über die letzten Jahre vor allem als „Abstellkammer“ genutzt, der größte Teil wurde vor der Bestandserfassung freigeräumt. Einige Bereiche der Konstruktion sind aufgrund seitlicher Verschaltungen im Bereich der Stuhlwände und Haustechnik der darunterliegenden Lehrwerkstätten nicht zugänglich (siehe Abbildung 4-17). Die Zugänglichkeit der oberen Ebenen wurde mit Bretterbohlen hergestellt, da diese jedoch nicht gesichert sind, waren auch hier Bereiche der Konstruktion nur eingeschränkt zugänglich. Allgemein ist der Dachraum stark verschmutzt, besonders in den Bereichen des Nebendachs (die alte Mühle). Oben genannte Einschränkungen verhindern in der Summe auch einen sinnvollen Einsatz eines 3D-Scanners oder anderer technischer Erfassungsmöglichkeiten.

## 4-4 BESTANDSERFASSUNG

### 4-4.1 ECKDATEN

#### Allgemeine Eckdaten:

Bauwerk:	Fachschule für Land- und Forstwirtschaft Grottenhof-Betriebsteil Graz
Adresse:	Krottendorfer Straße 110, 8052 Graz, Steiermark
Besitzer:	Landesimmobilien-Gesellschaft Steiermark
Baujahr:	verschiedene Baujahre der Gebäude
Bauweise:	Massivbauweise
Status:	§ 2a des Denkmalschutzgesetzes, BGBl. I Nr. 170/1999, und BGBl. I Nr. 2/ 2008
Nutzung:	Fachschule für Land- und Forstwirtschaft



*Abbildung 4-7: Ansicht Nordosten, rechts im Bild Nr. 104*

#### Objektbezogene Eckdaten:

Objekt:	hölzernes Dachtragwerk über dem Wirtschaftsgebäude Nr. 108
Dachform:	Fußwalmdach mit Krüppelwalm
System:	Kehlbalkendach mit zweifach liegendem Stuhl und Hahnenbalken
Baujahr:	1780/86, Erweiterungen 1825/50
Nutzung:	freier Dachraum, genutzt als Lagerflächen



*Abbildung 4-8: Ansicht Richtung Nordwesten*

Das Gebäude der Krottendorfer Straße 108 steht unter den Bestimmungen nach § 2a des Denkmalschutzgesetzes. Das aktuelle Denkmalverzeichnis ist beim Bundesdenkmalamt frei zugänglich [44]. Es handelt sich hierbei um eine vorläufige Unterschutzstellung durch Verordnung. Nach § 2a Abs. 2 gelten die folgenden Voraussetzungen:

*„(2) Eine Unterschutzstellung auf Grund dieses Paragraphen hat zur Voraussetzung, dass es sich um ein Denkmal handelt, dem Bedeutung in einer Weise zugesprochen werden kann, dass für den Fall der verfahrensmäßigen Prüfung gemäß Abs. 5 oder 6 die Feststellung des tatsächlichen Bestehens des öffentlichen Interesses an der Erhaltung mit Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist. Die Bestimmungen des § 1 über die Bedeutung, Miteinbeziehung, Teilunterschutzstellung und dergleichen gelten in vollem Umfang.“ [30]*

Eigentümer sind befugt einen Antrag zu stellen, ob ein öffentliches Interesse an der Erhaltung zu Unrecht angenommen wurde oder nicht.

## 4-4.2 MATERIALIEN

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der hölzernen Dachkonstruktion, eine Untersuchung der anderen Materialien, die bei diesem Gebäude verwendet wurden, erfolgte nicht im Detail. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die allgemeine Beschaffenheit des Gebäudes gegeben und näher auf das Material Holz eingegangen.

### 4-4.2.1 Mauerwerk

Auf die Eigenschaften und Kennwerte von historischem Mauerwerk wird hier nicht genauer eingegangen, detailliertere Informationen dazu findet man beispielsweise in [48]. Beim aufgehenden Mauerwerk im Dachstuhl handelt es sich um Ziegelmauerwerk, wobei nur das Mauerwerk bei den Giebelseiten sichtbar ist. Beim Vollgespärre 1 wurden zwei „Konsolen“ zusätzlich errichtet, um den Kehlbalken dort aufzulagern, während bei Vollgespärre 12 durchgängig eine größerer Mauerstärke bis zur Kehlbalkenebene (siehe Abbildung 4-9 links) ausgeführt worden ist. Die sonstigen Bereiche sind mit Grobputz versehen. In den Bereichen mit sichtbarem Mauerwerk ist teilweise ein sauber ausgeführter Läuferverband zu erkennen, an anderen Stellen kann jedoch keine eindeutige Verbandsart zugeordnet werden. Das Format der Backsteine beträgt in etwa 29 cm (L) × 14 cm (B) × 6,5 cm (H) und entspricht damit dem Alt-Österreichischen Format nach MAIER [48]. Die Stoßfugen sind satt mit Kalkmörtel ausgemörtelt. Bei der oberflächlichen Begutachtung sind keine größeren Schäden aufgefallen, eine Feuchteuntersuchung des Mauerwerks wurde nicht durchgeführt. Die Stärken der Mauern wurden den Bestandsplänen entnommen. Abbildung 4-9 zeigt das Mauerwerk bei VG 12 in der Kehlbalkenebene und rechts bei den Ochsenaugenfenstern (Ebene 0).



*Abbildung 4-9: Mauerwerk (links: bei VG 12, rechts: Ochsenaugenfenster)*

### 4-4.2.2 Dacheindeckung

Die Dacheindeckung wurde 1981 mit Biberschwanzziegeln erneuert. Ebenso sind sämtliche Dachlatten erneuert worden. Über die ursprüngliche historische Dacheindeckung ist nichts bekannt.

### 4-4.2.3 Deckenkonstruktion über dem Erdgeschoss

Die Erdgeschosshalle ist 3-schiffig und mit einem Platzlgewölbe ausgeführt. Ein genauer Aufbau der historischen Deckenkonstruktion ist nicht bekannt. In Bestandsplänen von 1962 ist eine Kappendecke mit einer Höhe von 25 cm eingezeichnet (siehe Abbildung 4-14). Das Gewölbe ist im Erdgeschoss auf gusseiserne Stützen aufgelagert. Aufgrund der Weiterentwicklungen in der Eisenverhüttung im 18. Jahrhundert wurde dieses Material sehr kostengünstig und kam häufig zum Einsatz, eben auch in Stallgebäuden zur Abstützung der Gewölbedecke. Materialbedingt kann Gusseisen sehr gut Druckkräfte aufnehmen, jedoch keine Zugkräfte (vgl. [49]). Die Stützen haben eine Höhe von 2,45 m bzw. 1,80 m und einen Durchmesser von  $\sim \varnothing 20$  cm. Für Tragsicherheitsnachweise und Ertüchtigung von gusseisernen Stützen kann beispielsweise auf [50] verwiesen werden. Dort werden auch Anhaltswerte für die Materialparameter angegeben.

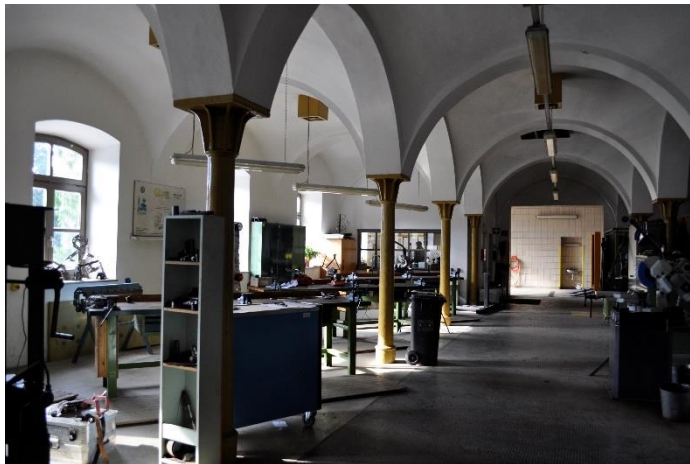


Abbildung 4-10: Erdgeschosshalle mit gusseisernen Stützen

### 4-4.2.4 Schmiedeeiserne Verbindungsmittel

Bei der Dachkonstruktion wurden fast ausschließlich zimmermannsmäßige Holz-Holz-Verbindungen für die Ausbildung von Knotendetails verwendet. Einige schmiedeeiserne Bauteile wie Nägel, Klammern und Bolzen sind ebenfalls zum Einsatz gekommen. Ein Beispiel ist der stumpfe Stoß zwischen Sparrenknecht und Stuhlsäule bei dem die Lagesicherung über einen schmiedeeisernen Nagel erfolgt (siehe Abbildung 4-11 links). Zudem dienen Bolzen der Lagesicherung bei den Hängesäulen (Abbildung 4-11 rechts). Diese haben einen Durchmesser von 2 cm und eine quadratische Mutter mit Unterlagsscheibe.



Abbildung 4-11: Verbindungsmittel aus Schmiedeeisen (links: Nagel, rechts: Bolzen)

Für historische Eisen werden nach Literaturoswertung von MÜLLER in [51] folgende Werte angegeben: Streckgrenze  $f_y = 200$  N/mm<sup>2</sup>, Zugfestigkeit  $f_u = 300$  N/mm<sup>2</sup>, E-Modul = 170.000 N/mm<sup>2</sup>, Bruchdehnung 10 - 15%.

#### 4-4.2.5 Holz der Dachkonstruktion

Holz ist einer der ältesten und vielseitigsten Werkstoffe. Beim vorindustriellen Holzbau war die Auswahl der Holzart abhängig von verschiedenen Faktoren, beispielsweise der lokalen Verfügbarkeit und der Dimensionierung. Holz ist ein organischer, inhomogener und anisotroper Werkstoff. Die Festigkeit des Holzes ist dabei abhängig von Holzart, Ästigkeit, Rohdichte, Faserverlauf, Feuchtegehalt und den Umständen des Wachstums. Diese Einflüsse haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Festigkeitseigenschaften des Holzes. Bei der Holzart kann prinzipiell in abhängig von der Rohdichte in „Weichholz“ und „Hartholz“ unterschieden werden.

Die Biege- und Zugfestigkeit ist vorrangig von der Ästigkeit des Holzbauteiles abhängig. Die Festigkeit steigt einerseits mit zunehmender Rohdichte und sinkt aber andererseits mit zunehmender Holzfeuchtigkeit. Auch der Faserverlauf hat Einfluss auf Zug- (parallel zur Faser) und Biegefestigkeit des Bauteiles. Ursachen für Schrägfaserigkeit sind beispielsweise Äste oder Drehwüchsigkeit. Eine Änderung der Holzfeuchte bewirkt zusätzlich eine Formänderung (Quellen und Schwinden), welche, aufgrund der unterschiedlichen Ausprägung in radialer, längs und tangentialer Richtung, zu Spannungen bzw. zu Rissen führt. (vgl. [5], [52])

#### **Historische Herstellung von Bauholz und Abbund**

[52], [12]

##### Holzeinschlag und Holztransport

Bauholz wurde sowohl im Winter (Winterfällung) als auch im Sommer (Sommerfällung) gefällt. Aufgrund der einfacheren Transportmöglichkeiten wurden aber 70 bis 80 % im Winter gefällt, bei der Qualität sind keine Unterschiede feststellbar. Der Weitertransport des gefällten und entasteten Holzes aus dem gebirgigen Einschlagsgebiet erfolgte meist über den Wasserweg. Die Flöße wurden mithilfe von sogenannten Wieden (hergestellt aus jungen Bäumen) zu Flößen zusammengebunden. Wenn das Bauholz geflößt wurde, befinden sich meist noch die Überreste der Wieden an den Konstruktionshölzern. Die Anordnung ist meistens paarweise, und auf der Längsachse 10 – 20 cm vom Stammende entfernt. Abbildung 4-12 zeigt diese Anordnung der Wieden am Brustriegel bei Vollgespärre 5. Man kann somit davon ausgehen, dass das verwendete Bauholz auf der Mur nach Graz geflößt wurde.



*Abbildung 4-12: Wieden bei Vollgespärre 5*

### Holzbearbeitung

Die Holzbearbeitung erfolgte meist „saftfrisch“, da Holz im feuchten Zustand wesentlich geringere Festigkeit aufweist und folglich der Verschleiß der Werkzeuge geringer war. Die Holzoberfläche wurde in vorindustrieller Zeit meist durch den Beschlag mit dem Beil hergestellt, die Spuren im Holz sind oft gut erkennbar. Weiterführenden Beschreibungen zur Holzbearbeitung befinden sich beispielsweise in [12] und [52].

### Abbund und Aufrichten

Bereits der historische Holzbau weist einen hohen Vorfertigungsgrad auf, dieser wird als Abbinden oder Abbund bezeichnet. Jede Holzverbindung wurde dabei individuell hergestellt und eingepasst, die eindeutige Zuordnung beim Aufrichten erfolgte dabei über Abbundzeichen. Diese Abbundzeichen eignen sich auch für die Zuordnung der Bau- und Reparaturgeschichte eines Dachtragwerkes. Somit kann eine erste Alterseinschätzung über die verwendeten Abbundzeichen erfolgen. In dem vorliegenden Dachtragwerk wurden römische Zahlen als Abbundzeichen verwendet. In Abbildung 4-13 sind zwei Beispiele für verwendete Abbundzeichen im Dachtragwerk dargestellt.



*Abbildung 4-13: Abbundzeichen: links: Spannriegel, rechts: Sparren*

Nach dem Abbund erfolgte dann das Aufrichten. Für den Aufstellvorgang bei einem liegenden Stuhl wird auf die ausführliche Beschreibung von ORTNER ([23], S. 48-54) verwiesen.

### Zuordnung zu einer Festigkeitsklasse

Für die spätere Modellbildung und Berechnung der Dachkonstruktion ist die Ermittlung der Festigkeitskennwerte erforderlich. Für die Einteilung von neuem Bauholz zu den Festigkeitsklassen gilt die ÖNORM DIN 4074-1. Nachdem Untersuchungen der Festigkeit von altem Bauholz (vgl. [53], S. 12) ergeben haben, dass kein Festigkeitsverlust infolge Alterung zu erwarten ist, kann die Norm auch für diesen Fall angewendet werden. Nach der ÖNORM B 4008-1 (Absatz B.5.4.5.1) [54] darf Bestandholz inzwischen im Allgemeinen der Sortierklasse S10 lt. ÖNORM DIN 4071-1 [55] bzw. in weiterer Folge der Festigkeitsklasse C24 nach ÖNORM EN 338 [56] zugeordnet werden, sofern das Holz keinen Insekten- und Pilzbefall hat und trocken ist. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden die Bauteile trotzdem stichprobenartig auf die Sortierkriterien, welche in Tabelle 4-1 zusammengefasst sind, untersucht. Bei dieser Dachkonstruktion war jedoch die visuelle Begutachtung aufgrund der starken Verschmutzungen nur eingeschränkt möglich. Dies betrifft insbesondere den Bereich des Nebendaches mit dickem Mehlstaub auf den Bauteilen. Die Bauhölzer werden in Anlehnung an MEISEL [21] in „geeignetes“ und „ungeeignetes“ Bauholz eingeteilt. Geeignetes Holz weist keine Schäden wie Pilz- oder Insektenbefall auf. Geschädigtes Holz weist statisch relevante Schädigungen aus, welche bei der Beurteilung der Festigkeit nicht berücksichtigt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die betroffenen Bauteile ausgetauscht oder verstärkt werden.

**Tabelle 4-1: Sortierkriterien für Kanthölzer bei visueller Sortierung nach ÖNORM DIN 4074-1 [55]**

Sortiermerkmale	Sortierklasse		
	S 7, S 7K	S 10, S 10K	S 13, S 13K
1. Äste	bis 3/5	bis 2/5	bis 1/5
2. Faserneigung	bis 12 %	bis 12 %	bis 7 %
3. Markröhre	zulässig	zulässig	nicht zulässig <sup>a</sup>
4. Jahrringbreite			
— im Allgemeinen	bis 6 mm	bis 6 mm	bis 4 mm
— bei Douglasie	bis 8 mm	bis 8 mm	bis 6 mm
5. Risse			
— Schwindrisse <sup>b</sup>	bis 1/2	bis 1/2	bis 2/5
— Blitzrisse Ringschäle	nicht zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig
6. Baumkante	bis 1/4	bis 1/4	bis 1/5
7. Krümmung <sup>b</sup>			
— Längskrümmung	bis 8 mm	bis 8 mm	bis 8 mm
— Verdrehung	1 mm / 25 mm Höhe	1 mm / 25 mm Höhe	1 mm / 25 mm Höhe
8. Verfärbungen, Fäule			
— Bläue	zulässig	zulässig	zulässig
— nagelfeste braune und rote Streifen	bis 2/5	bis 2/5	bis 1/5
— Braunfäule, Weißfäule	nicht zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig
9. Druckholz	bis 2/5	bis 2/5	bis 1/5
10. Insektenfraß durch Frischholz-Insekten	Fraßgänge bis 2 mm Durchmesser: zulässig		
11. sonstige Merkmale	sind in Anlehnung an die übrigen Sortiermerkmale sinngemäß zu berücksichtigen		

<sup>a</sup> Bei Kantholz mit einer Breite > 120 mm zulässig.  
<sup>b</sup> Diese Sortiermerkmale bleiben bei nicht trocken sortierten Hölzern unberücksichtigt.

#### **Aufgefundene Merkmale in der Konstruktion:**

- 1. Äste:** Kriterium bis 2/5 wird eingehalten →S10
- 2. Faserneigung:** anhand der Schwindrisse von den Bauteilen überprüft, die 12 % werden eingehalten →S10
- 3. Markröhre:** es handelt sich um historische, gehackte Querschnitte, damit ist die Markröhre immer vorhanden →S10
- 4. Jahrringbreite:** nicht feststellbar in bereits eingebauten Bauteilen, Kriterium wird somit nicht berücksichtigt



- 5. Risse:** Schwindrisse vorhanden und das Kriterium teilweise nicht eingehalten. Deshalb wurde die Rissbeurteilung nach Beanspruchungsart untersucht →S10  
Blitzrisse nicht vorhanden
- 6. Baumkante:** keine Baumkante vorhanden → S13
- 7. Krümmung:** die Krümmung wurde nicht genauer überprüft bzw. nicht beurteilbar aufgrund der Belastung der Bauteile
- 8. Verfärbungen:** keine Verfärbungen an geeignetem Bauholz festgestellt, die geschädigten Bauteile wurden hier nicht berücksichtigt →S13
- 9. Druckholz:** bei Holz im eingebauten Zustand hat sich die Ausgleichsfeuchte bereits eingestellt, somit ist das Quell- und Schwindverhalten bereits abgeschlossen, auf welches Druckholz einen Einfluss hätte (vgl. [53]). Dieses Kriterium wird damit nicht berücksichtigt.
- 10. Insektenfraß:** Insektenfraß durch Frischholzinsekten wurde nicht festgestellt, jedoch Fraßgänge vom gemeinen Nagekäfer. Es wird von einem inaktiven Befall ausgegangen →S10

**Zusammenfassung:** Das Bauholz kann der Sortierklasse S10 zugeordnet werden und entspricht folglich der Festigkeitsklasse C24 nach ÖNORM EN 338 (vgl. [56]). Für die Einordnung in eine höhere Festigkeitsklasse müsste nach ÖNORM B 4008-1 an mindestens 50 % der bereits untersuchten Stellen weitere Proben zur Bestimmung der Festigkeit genommen werden.

Die mechanischen Eigenschaften für Nadelholz der Festigkeitsklasse C24 werden nach ÖNORM EN 338 wie folgt definiert:

$f_{m,k} =$	24 N/mm <sup>2</sup>	...Biegung
$f_{t,0,k} =$	14,5 N/mm <sup>2</sup>	...Zug in Faserrichtung
$f_{t,90,k} =$	0,4 N/mm <sup>2</sup>	...Zug rechtwinklig zur Faserrichtung
$f_{c,0,k} =$	21 N/mm <sup>2</sup>	...Druck in Faserrichtung
$f_{c,90,k} =$	2,5 N/mm <sup>2</sup>	...Druck rechtwinklig zur Faserrichtung
$f_{v,k} =$	2,3 N/mm <sup>2</sup>	...Schub und Torsion
$f_{r,k} =$	1,0	...Rollschub
$E_{0,mean} =$	11 000 N/mm <sup>2</sup>	...Mittelwert des E-Moduls bei Biegung in Faserrichtung
$E_{90,mean} =$	370 N/mm <sup>2</sup>	...Mittelwert des E-Moduls bei Biegung rechtwinklig zur Faserrichtung
$E_{0,05} =$	7 400 N/mm <sup>2</sup>	...5%-Quantil des E-Moduls bei Biegung in Faserrichtung
$G_{0,mean} =$	690 N/mm <sup>2</sup>	...Mittelwert des Schubmoduls bei Biegung in Faserrichtung
$G_{90,mean} =$	69 N/mm <sup>2</sup>	...Mittelwert Schubmodul bei Biegung rechtwinklig zur Faserrichtung
$G_{0,05} =$	460 N/mm <sup>2</sup>	...5%-Quantil des Schubmoduls bei Biegung in Faserrichtung
$\rho_k =$	350 kg/m <sup>3</sup>	...5%-Quantil der Rohdichte
$\rho_{mean} =$	420 kg/m <sup>3</sup>	...Mittelwert der Rohdichte

### **Weitere Einflussfaktoren**

Die mechanischen Eigenschaften von historischen Holzbauteilen können durch weitere Einflussfaktoren wie Rissbildung und Initialsetzung beeinflusst werden.

#### Rissbildung

Aufgrund der Anatomie des Holzes sind Schwindrisse eine materialspezifische Erscheinung. Schwindrisse sind abhängig von der Lage des Stammkerns, der Trocknung und den Bedingungen während der Nutzung. Das Holz wurde „saftfrisch“ oder auch „halbtrocken“ weiterverarbeitet. Dadurch findet die Rissbildung bei historischen Dachtragwerken meist im bereits verbauten Zustand statt. Schwindrisse sind daher sehr häufig anzufinden. Die Schwindvorgänge im eingebauten Zustand können folglich zu klaffenden Verbindungen führen. Richtwerte für einen unbedenklichen Einfluss auf Schwindrisse gibt FRECH [57] mit 60 % der Tiefe bei Biegebeanspruchung und etwa eine Tiefe von 45 % der schubbeanspruchten Bauteilbreite bei Schubbeanspruchung an. Bis zu diesen Risstiefen wurde bei Untersuchungen keine relevante Tragfähigkeitsminderung festgestellt, jedoch ist zu beachten, dass das Tragverhalten bei Torsion erheblich beeinträchtigt wird. [52], [24], [57], [6]

#### Initialsetzung

Die Konstruktionshölzer wurden meist auch mit einer hohen Holzfeuchte verbaut. Mit zunehmender Holzfeuchtigkeit nehmen auch die Kriechverformungen zu. Es ist aber davon auszugehen, dass sich diese Spannungsspitzen in den ersten Bestandsmonaten umgelagert haben, da es sich bei historischen hölzernen Dachkonstruktionen um statisch hochgradig unbestimmte Tragwerke handelt. Durch dieses „Initialsetzen“ und dem Austrocknen der Bauhölzer kann davon ausgegangen werden, dass sich die Tragfähigkeit der Holzbauteile in den ersten Jahren steigert (vgl. [6], [4]).

### 4-4.3 VORHANDENE BESTANDSPLÄNE

Pläne für den ursprünglichen Zustand sind, wie bereits erwähnt, nicht erhalten geblieben. Planunterlagen für Teile des Wirtschaftsgebäudes Nr. 108 sind aus dem Jahr 1962, 1981 und 2002 vorhanden. Wofür die Bestandsaufnahmen aus dem Jahr 1962 gedient haben ist nicht bekannt. Bei dieser Bestandsaufnahme sind die Dimensionen der Dachkonstruktionen ermittelt worden. In Abbildung 4-14 sind Ausschnitte aus diesem Plan dargestellt. Oben ist ein Schnitt durch den Haupttrakt dargestellt, in etwa bei dem Vollgespärre 4 und unten die Ansicht aus Südosten. Die Fassade ist immer noch nahezu unverändert. Bei den Plänen aus dem Jahr 1981 handelt es sich um einen Einreichplan für den Einbau von Lehrwerkstätten im Erdgeschoss. Diese Bestandspläne wurden zum Vergleich mit den eigenen ermittelten Werten herangezogen. Die schematische Darstellung des Dachtragwerkes ist nicht ausreichend detailliert für eine Bestandsanalyse und es wurde auch nur ein Teil des Gebäudes aufgenommen. Die Darstellung in den Plänen entspricht in etwa Genauigkeitsstufe I, eine grobe Erfassung des Bauwerkes mit dem Grundriss, den Höhen und dem Gebäudetyp.

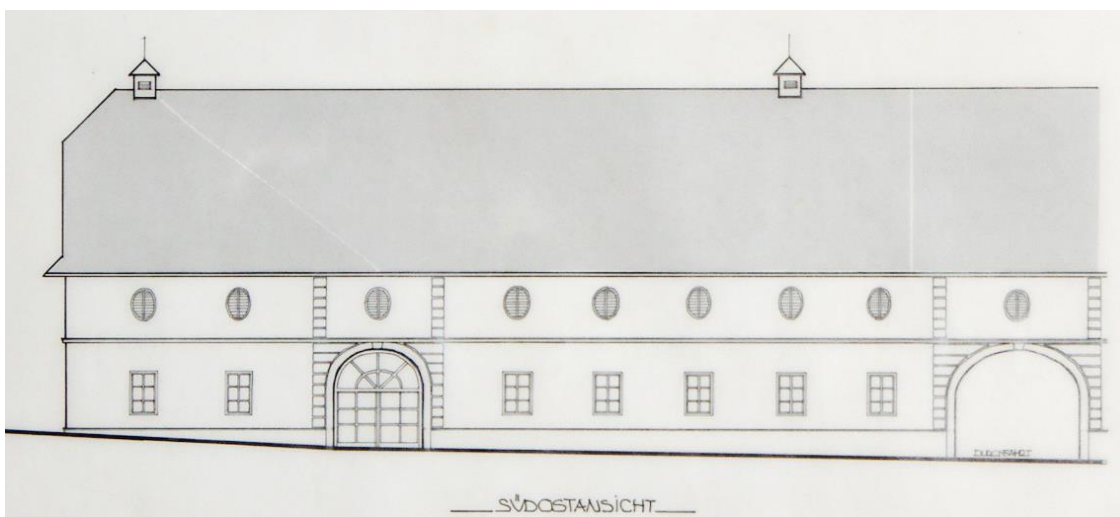
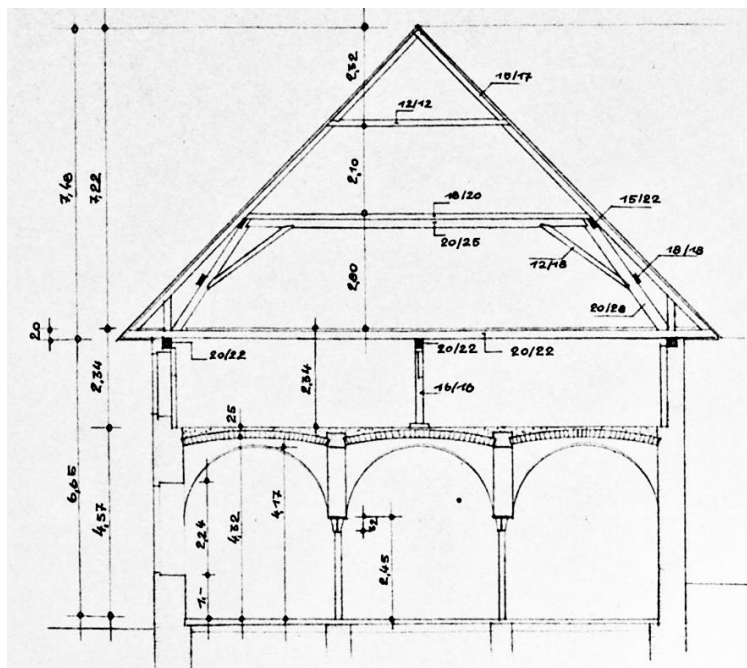


Abbildung 4-14: Ausschnitte aus der Bestandsaufnahme von 1962 [Archiv Grottenhof]

#### 4-4.4 SYSTEMABMESSUNGEN UND QUERSCHNITTSGEOMETRIE

Ein wichtiges Ziel dieser Arbeit ist eine möglichst genaue Aufnahme der Systemabmessungen und Querschnitte des Dachtragwerkes, um diese in Bestandsplänen darzustellen.

Für die Bestandsaufnahme wird für das Dachtragwerk ein Achssystem und Ebenen festgelegt. Dies ermöglicht eine gute Orientierung in der Konstruktion und eine eindeutige Zuordnung der aufgenommenen Daten der Bestandsaufnahme. Nachfolgend sind die reduzierten Planunterlagen dargestellt. Die vollständigen Pläne befinden sich im ANHANG B.

##### Einteilung in Ebenen

In Abbildung 4-15 ist die Einteilung der Dachkonstruktion in die verschiedenen Ebenen dargestellt. Dabei ist Ebene 0 (E0) die Oberkante der Deckenkonstruktion, Ebene 1 (E1) ist die Bundtramlage, Ebene 2 (E2) die Kehlbalckenlage, Ebene 3 (E3) die Hahnenbalkenlage und der First.

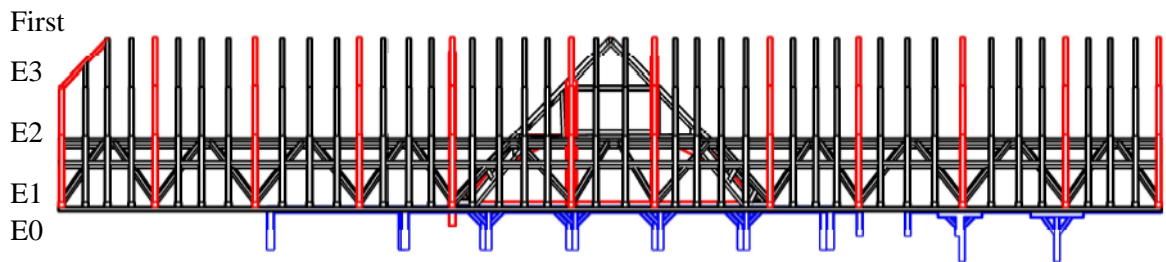


Abbildung 4-15: Einteilung der Ebenen

Abbildung 4-16 zeigt eine räumliche Darstellung der Dachkonstruktion, wobei die Vollgespärre dabei in rot hervorgehoben sind.

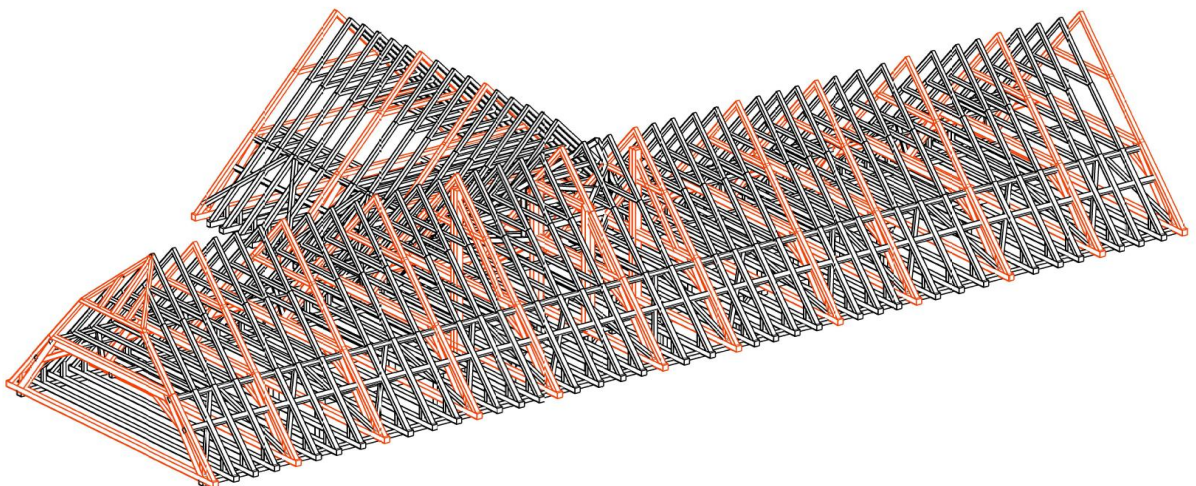


Abbildung 4-16: 3D-Modell der Dachkonstruktion

Der Grundriss mit dem Mauerwerk im Obergeschoss ist in Abbildung 4-17 abgebildet. Es wird ein Überblick über das gewählte Achssystem gegeben. Dabei wurden die Gespärre durchnummeriert und die Querachsen mit Buchstaben benannt. Mit der roten Umrandung wird der Teil vom Gebäude gekennzeichnet, der untersucht worden ist. Die blau gekennzeichneten Bereiche sind in der Ebene 1 bis Ebene 2 wegen einer angebrachten Bretterschalung nicht zugänglich. In dem Bereich der alten Mühle (Achse A bis C) war die Zugänglichkeit in die Ebene 2 und 3 nur punktuell über Leitern möglich. Detailliertere Pläne der Grundrisse befinden sich im Anhang B.

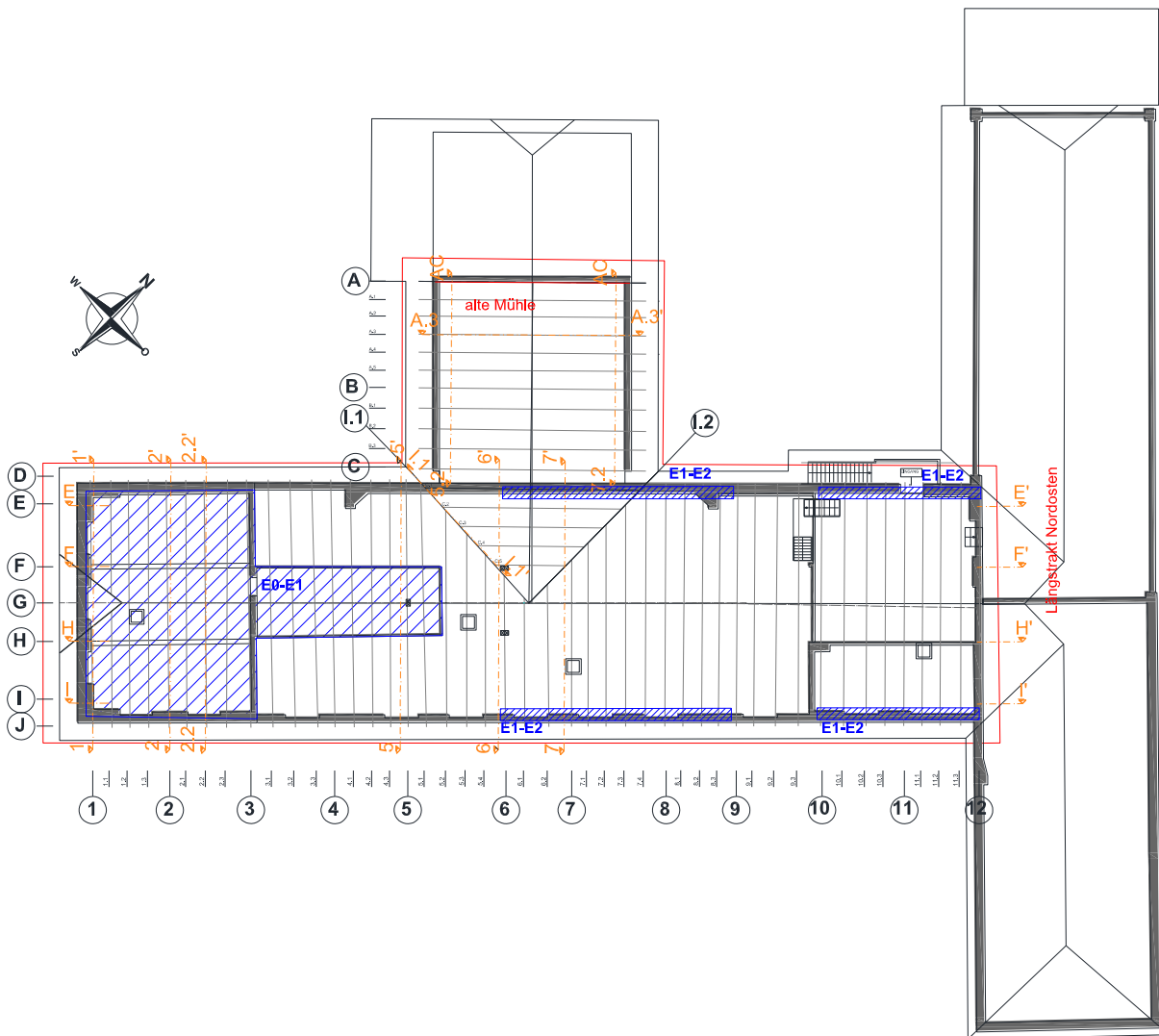
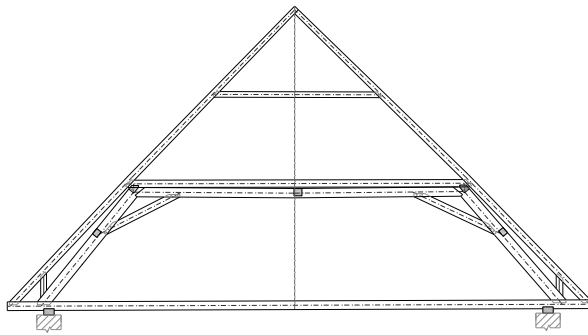


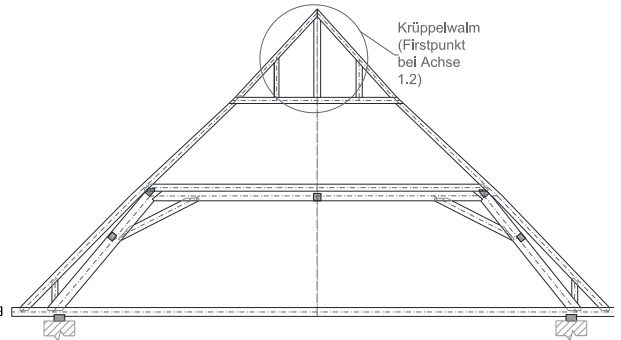
Abbildung 4-17: Grundriss Gebäude Nr. 108

### Regelschnitte der Vollgespärre

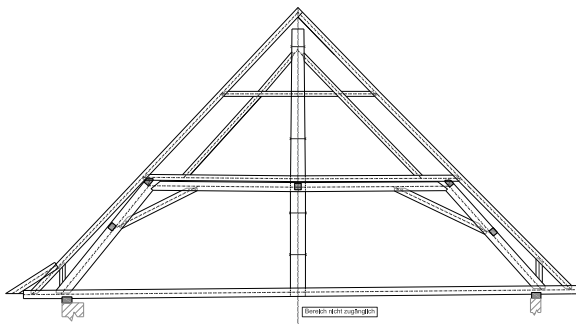
Die in dem Tragwerk vorkommenden Vollgespärre werden hier zur Übersicht zusammengestellt. An den Achsen 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, A, B und C handelt es sich um gleichartige Vollgespärre (Abbildung 4-18), diese werden im Folgenden als Regelgespärre bezeichnet. Vollgespärre 1 (Abbildung 4-19) hat einen Krüppelwalm, Vollgespärre 5 (Abbildung 4-20) mit zusätzlicher Hängesäule, Vollgespärre 6 (Abbildung 4-21) entspricht einem zweifach stehendem Stuhl, Vollgespärre 7 (Abbildung 4-22) mit Hängesäule (quasi nur ein halbes Gespärre) und das Ichsengespärre I.1, I.2 (Abbildung 4-23).



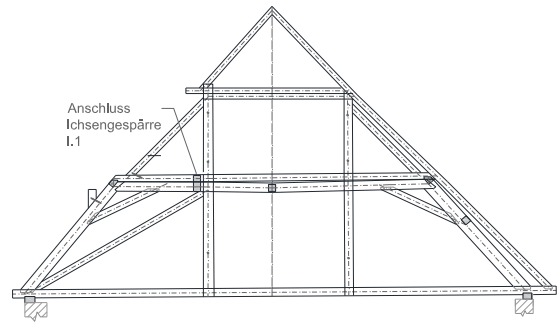
**Abbildung 4-18: Regelvollgespärre**  
(2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, A, B, C)



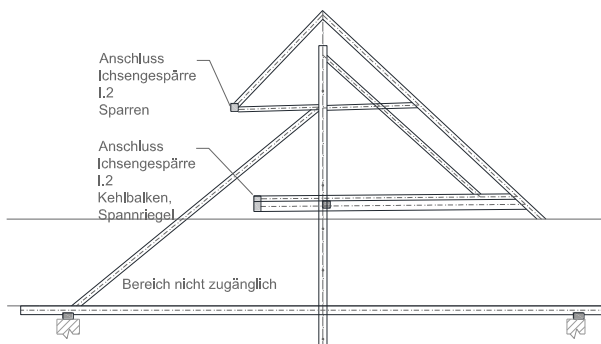
**Abbildung 4-19: VG 1**



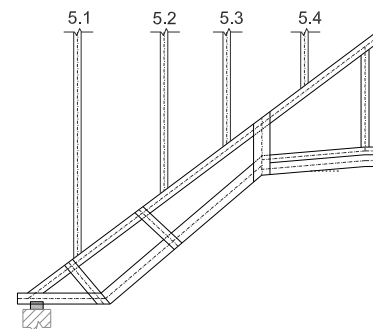
**Abbildung 4-20: VG 5**



**Abbildung 4-21: VG 6**



**Abbildung 4-22: VG 7**



**Abbildung 4-23: Ichsengespärre I.1**

## Leergespärre

Zwischen den Vollgespärren befinden sich im Regelfall jeweils drei Leergespärre. Ausnahmen sind die Bereiche zwischen 5 – 6 und 7 - 8, hier befinden sich jeweils vier. Zwischen 6 -7 nur zwei und zwischen A – B fünf. Die Konstruktion der Leergespärre ist gleichartig (Abbildung 4-24), bis auf der Bereich A – B (Abbildung 4-25). Dort stand die ehemalige Mühle, in der eine höhere Raumhöhe benötigt wurde.

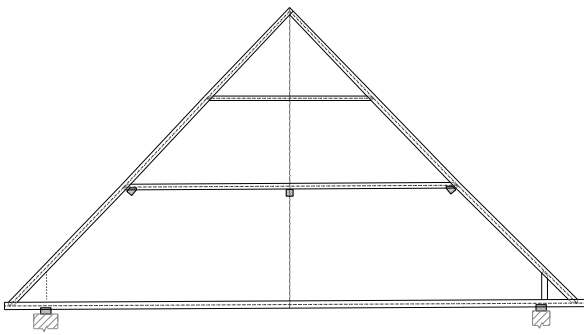


Abbildung 4-24: Leergespärre

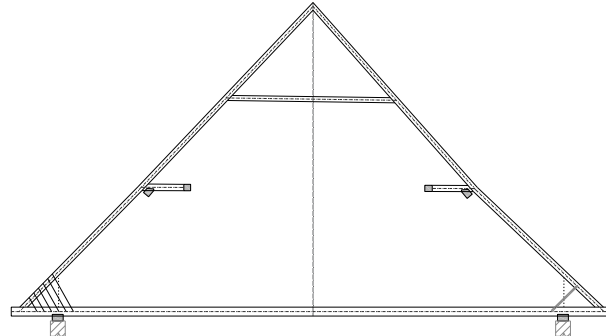


Abbildung 4-25: Leergespärre A-B

Auf die Darstellung der Stuhlwände wurde im Fließtext verzichtet; die detaillierten Pläne dazu befinden ebenfalls im Anhang. B.

### 4-4.4.1 Bauteilbezeichnungen

Die Querschnittsbezeichnungen mit den entsprechenden Ebenen sind beispielhaft anhand des Vollgespärre 2 für die Regelgespärre in Abbildung 4-26 angegeben.

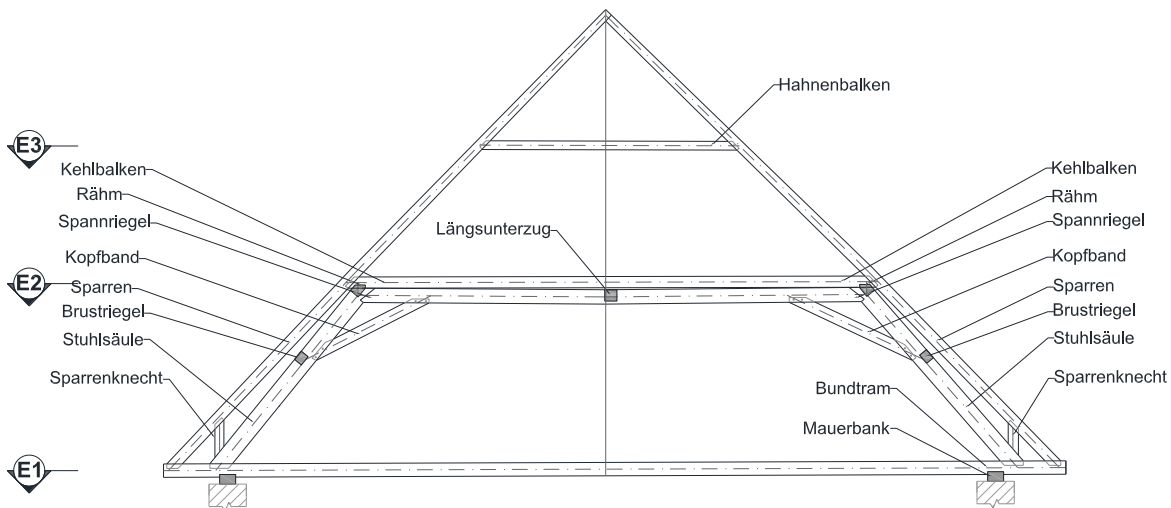


Abbildung 4-26: Bauteilbezeichnung VG 2

Die Abmessungen der Bauteile wurden für jedes Bauteil ermittelt, die ausführlichen Tabellen befinden sich dazu in Anhang E. In Tabelle 4-2 sind die Querschnittsgeometrien der Holzbauteile zusammengefasst. Es handelt sich dabei um gehackte Querschnitte und Bauteile, beispielsweise Sparren mit einem konischen Querschnitt, weshalb die Bauteilabmessungen in jeder Ebene gemessen wurden.

*Tabelle 4-2: Querschnittsgeometrie der Holzbauteile*

Bezeichnung	Breite	Höhe	Querschnittswerte						
			b [cm]	h [cm]	A [cm <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	W <sub>y</sub> [cm <sup>3</sup> ]	i <sub>y</sub> [cm]	I <sub>z</sub> [cm <sup>4</sup> ]
<b>Mauerbank</b>	25,0	18,0	450,0	12150,0	1350,0	5,2	23437,5	1875,0	7,2
<b>Bundtram</b>	21,5	21,0	451,5	16592,6	1580,3	6,1	17392,2	1617,9	6,2
<b>Sparrenknecht</b>	13,5	13,0	175,5	2471,6	380,3	3,8	2665,4	394,9	3,9
<b>Stuhlsäule</b>	18,5	29,0	536,5	37599,7	2593,1	8,4	15301,4	1654,2	5,3
<b>Brustriegel</b>	15,0	17,0	255,0	6141,3	722,5	4,9	4781,3	637,5	4,3
<b>Windstrebe</b>	12,5	14,5	181,3	3175,7	438,0	4,2	2360,0	377,6	3,6
<b>Kopfband</b>	13,0	18,0	234,0	6318,0	702,0	5,2	3295,5	507,0	3,8
<b>Spannriegel</b>	18,0	23,5	423,0	19466,8	1656,8	6,8	11421,0	1269,0	5,2
<b>Rähm</b>	15,0	23,0	345,0	15208,8	1322,5	6,6	6468,8	862,5	4,3
<b>Kehlbalken VG</b>	16,0	15,0	240,0	4500,0	600,0	4,3	5120,0	640,0	4,6
<b>Sparren E1-E2 (VG)</b>	17,0	15,0	255,0	4781,3	637,5	4,3	6141,3	722,5	4,9
<b>Sparren E2-E3 (VG)</b>	16,0	15,0	240,0	4500,0	600,0	4,3	5120,0	640,0	4,6
<b>Sparren E3-First (VG)</b>	15,0	14,0	210,0	3430,0	490,0	4,0	3937,5	525,0	4,3
<b>Sparren E1-E2 (LG)</b>	17,0	14,0	238,0	3887,3	555,3	4,0	5731,8	674,3	4,9
<b>Sparren E2-E3 (LG)</b>	15,5	14,0	217,0	3544,3	506,3	4,0	4344,5	560,6	4,5
<b>Sparren E3-First (LG)</b>	14,0	13,0	182,0	2563,2	394,3	3,8	2972,7	424,7	4,0
<b>Hahnenbalken</b>	15,5	14,0	217,0	3544,3	506,3	4,0	4344,5	560,6	4,5
<b>Längsunterzug</b>	17,5	16,5	288,8	6551,0	794,1	4,8	7369,1	842,2	5,1
<b>Kehlbalken LG</b>	15,5	14,5	224,8	3937,8	543,1	4,2	4499,7	580,6	4,5
<b>Hahnenbalken LG</b>	12,5	12,0	150,0	1800,0	300,0	3,5	1953,1	312,5	3,6

mit:

- A .... Querschnittsfläche
- I<sub>y</sub> .... Trägheitsmoment um die horizontale Achse
- W<sub>y</sub> .... Widerstandsmoment um die horizontale Achse
- i<sub>y</sub> .... Trägheitsradius in x-Richtung
- I<sub>z</sub> .... Trägheitsmoment um die vertikale Achse
- W<sub>z</sub> .... Widerstandsmoment um die vertikale Achse
- i<sub>z</sub> .... Trägheitsradius in y-Richtung



### 4-4.4.2 Systemgeometrie

Nachfolgend ist die Systemgeometrie anhand des Vollgespärre 2 dargestellt.

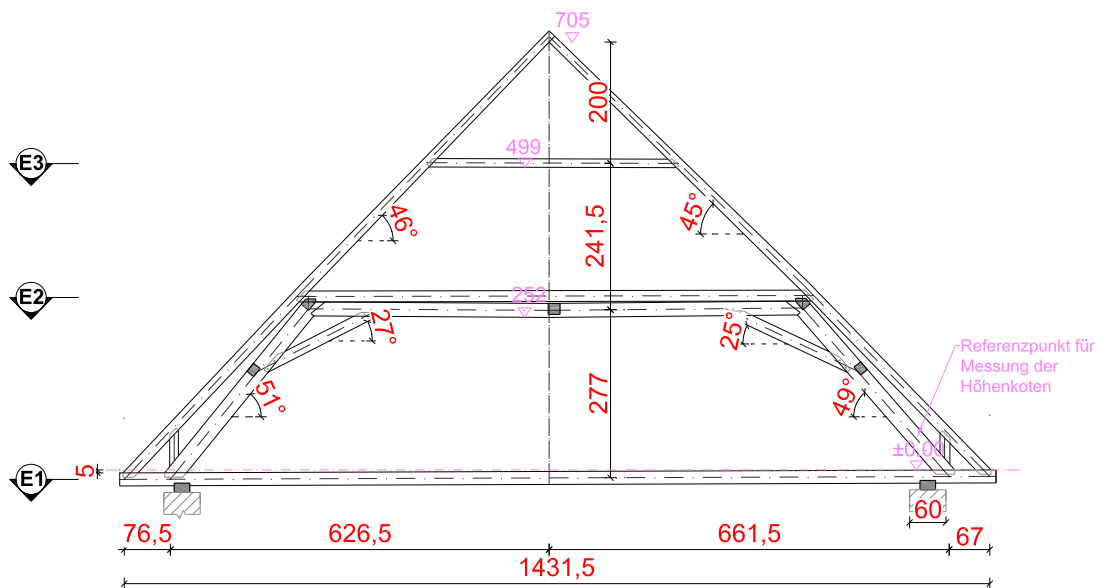


Abbildung 4-27: Systemgeometrie VG 2

Nachdem auf den Bundträmen ein Bretterboden auflag, der große Unebenheiten hatte, wurden die Koten für die Höhermittlung alle auf einen Referenzpunkt beim Vollgespärre 2 bezogen. Dieser ist auch in Abbildung 4-27 eingetragen. Der Vorteil von dieser recht aufwendig ermittelten Höhenangaben ist, dass Systemverformungen gleichzeitig mit aufgenommen werden können. Die in den Plänen verwendeten Höhenkoten beziehen sich jeweils auf diesen Referenzpunkt des Vollgespärres 2 und ist als Nulllinie in den Plänen eingetragen. Die anderen Bemaßungen bezüglich der Höhe, werden wie es normalerweise üblich ist, immer von Bauteilachse zu Bauteilachse angegeben. Die Neigung von Sparren, Stuhlsäule und Kopfband wurde an jedem Vollgespärre und jeweils einem Leergespärre ermittelt. Die Dachneigung ist im Hauptdach an jedem Vollgespärre auf der nordwestlichen und auf der südöstlichen Seite, bzw. im am Nebendach im Südwesten und Nordosten, gemessen worden. Die Tabellen mit den gemessenen Höhen befinden sich im Anhang E.

### 4-4.4.3 Achsabstände und Verlauf der Firstlinie

Die unterschiedlichen Gespärreabstände wurden ebenfalls aufgenommen und sind in den Grundrissen dokumentiert. Aufgrund der unterschiedlichen Dachneigung im Nordwesten und Südosten kann die Firstlinie nicht ganz mittig zwischen den Gespärren liegen. Wie auch in Abbildung 4-28 zu sehen, ist die Firstlinie durch die unterschiedliche Dachneigung nicht ganz mittig. So schließt beispielsweise der Längsunterzug nicht mittig an den Spannriegel an. Mithilfe des Kreuzlasers wurden die Achsabstände der Sparren quer zur Firstlinie ermittelt. Die Tabellen mit sämtlichen Achsabständen längs und quer sind im Anhang E.

Als weiterer Schritt ist der Verlauf der Firstlinie überprüft worden. Im Hauptdach verläuft die Firstlinie nicht exakt horizontal, sondern weist eine Abweichung von  $1^\circ$  in Richtung Nordwesten auf. Die Firstlinie in der Dachverschneidung von Hauptdach und Nebendach hat einen Winkel von  $93^\circ$ , wie in Abbildung 4-28 zu sehen ist.

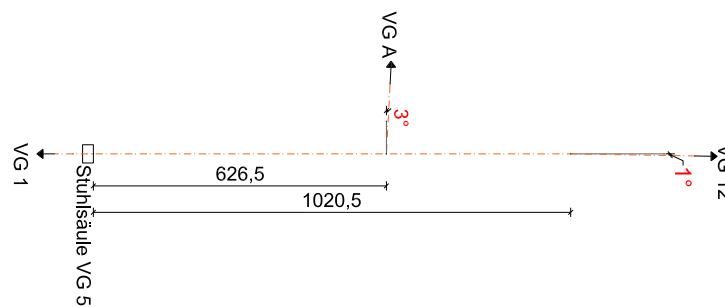


Abbildung 4-28: Verlauf der Firstlinien

#### 4-4.4.4 Schiefstellungen und Verformungen

Bei der Bestandsaufnahme wurden geringe Verformungen im Zentimeterbereich größtenteils vernachlässigt, da eine verformungsgetreue Aufnahme des gesamten Dachtragwerkes zu zeitintensiv wäre und die Zugänglichkeit zu allen Bauteilen gewährleistet sein müsste. Größere und offensichtliche Schiefstellungen wurden hingegen aufgenommen und dokumentiert. Die Schiefstellungen der Hängesäulen wurden mithilfe einer Lotschnur gemessen. Die Hängesäulen von Vollgespärre 5 und 6 weisen Schiefstellungen in nordwestlicher Richtung auf, diese lagen im Bereich von 0,6 Grad bis 1 Grad. Die Schiefstellungen wurden als eher gering bewertet und folglich in der Modellierung nicht berücksichtigt.

Abbildung 4-29 zeigt beispielhaft gemessene Verformungen von Bauteilen im Dachtragwerk. Links ist die Durchbiegung des Sparrens von Leergespärre 3.2 auf Höhe der Kehlbalkenebene mit 6,6 cm gemessen worden, das sind bei einer Sparrenlänge von 10 m mehr als  $1/200$ . Hier ist jedoch anzumerken, dass im Rahmen der letzten Sanierung der Dacheindeckung und Dachlattung ein Höhenausgleich mit seitlich auf den Sparren angebrachten Ausgleichshölzern durchgeführt wurde. Die Durchbiegung von Vollgespärre 2 ist auf der rechten Seite dargestellt. Mit rund 4 cm bei einer Spannweite von etwa 14 m ist dieser Wert niedriger als  $1/300$ . Diese Verformungen können in der statischen Analyse für die Plausibilitätskontrolle herangezogen werden.



*Abbildung 4-29: links: Durchbiegung Sparren 3.2, rechts: Durchbiegung Mitte VG 2*

#### 4-4.4.5 Fotografische Eindrücke des Dachstuhls



*Abbildung 4-30: fotografische Eindrücke des Dachstuhls*

- 1 ..... Blickrichtung Südwesten (VG 2)*
- 2 ..... Blickrichtung Nordosten Ebene 2*
- 3 ..... Blickrichtung Nordwesten Ebene 2, Anschluss alte Mühle*
- 4 ..... Blickrichtung Nordosten, Stuhlwand VG A – VG C*



*Abbildung 4-31: weitere fotografische Eindrücke des Dachstuhls*

- 5 ..... *Blickrichtung nach oben VG 5*
- 6 ..... *Blickrichtung Ichsengespärre I.1*
- 7 ..... *Krüppelwalm VG 1*
- 8 ..... *Blickrichtung Nordwesten, Konstruktion E0 – E1*

## 4-4.5 TRAGSYSTEM UND TRAGWIRKUNG DES DACHTRAGWERKES NR. 108

### 4-4.5.1 Tragsystem

Wie bereits erwähnt, kann das Dachtragwerk als ein Kehlbalkendach mit zweifach liegendem Stuhl und Hahnenbalken beschrieben werden. Dabei weist der liegende Stuhl in diesem Dachtragwerk einige Abweichung von der in Kapitel 2-3 beschriebenen idealisierten Form auf. So ist am Fußpunkt nur eine Mauerbank vorhanden und die fünfeckige Fußschwelle wurde ebenfalls weggelassen. Zusätzlich sind am Fußpunkt noch Sparrenknechte vorhanden. Abbildung 4-32 zeigt einen Regelbereich inklusive der zugehörigen Bauteilbezeichnungen. Zwischen den Vollgespärren liegen drei Leergespärre und die Stuhlwand ist v-förmig ausgebildet.

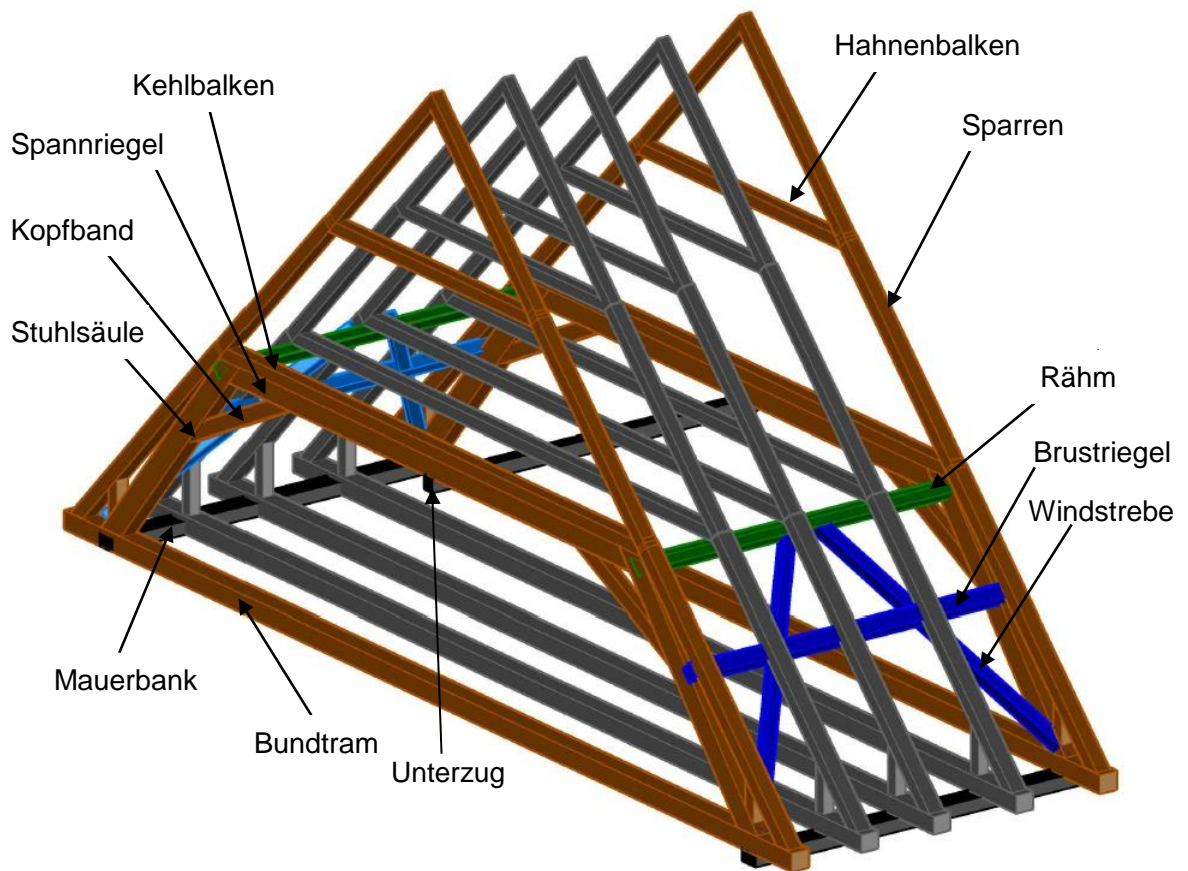


Abbildung 4-32: Tragsystem Regelbereiche

Neben den „normalen“ Vollgespärren existieren im Dachstuhl, im Bereich der Dachverschneidung, auch Vollgespärre mit Hängesäulen in verschiedenen Varianten (siehe Abbildung 4-20, Abbildung 4-21, Abbildung 4-22). Es war durchaus üblich Hängesäule nur an einzelnen Gespärren in der Konstruktion anzuordnen und nicht an jedem, um die komplizierten Detailknoten zu vermeiden und um Holz einzusparen. Durch den angeordneten Unterzug werden auch die anderen Gespärre unterstützt. Der Längsunterzug erstreckt sich durch das gesamte Gebäude und ist immer mit einem Zapfen mit dem Spannriegel verbunden. Bei den Leergespärren besteht keine Verbindung zwischen Kehlbalken und Unterzug.

Das Vollgespärre 5 hat zusätzlich mittig eine zweigeteilte Hängesäule. Die beiden Querschnitte der Hängesäule sind über Eisenbolzen miteinander verbunden. Der Fußpunkt ist hier nicht zugänglich. In der Ebene 2 ist die Hängesäule mit einer Überblattung an Kehlbalcken und Spannriegel angeschlossen und der Unterzug wird von der zweiteiligen Hängesäule eingehalst. Die Hängesäule ist nicht kraftschlüssig mit dem First verbunden und auf die Kehlbalkenebene abgestrebt.

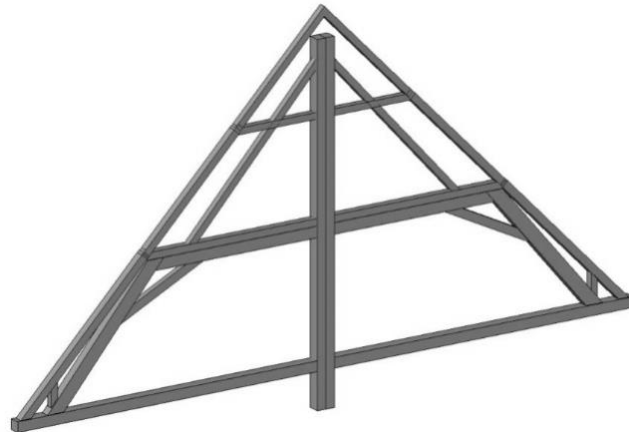


Abbildung 4-33: VG 5

Das trifft ebenfalls auf die Hängesäule im Vollgespärre 7 zu. Bei Vollgespärre 7 sind die Querschnitte der Hängesäulen hintereinander angeordnet (firstparallel), wodurch der Bundtram über die Einhalsung nach oben gehängt wird. Dementsprechend sind auch Kehlbalcken und Spannriegel eingehalst, während der Unterzug überblattet wird.

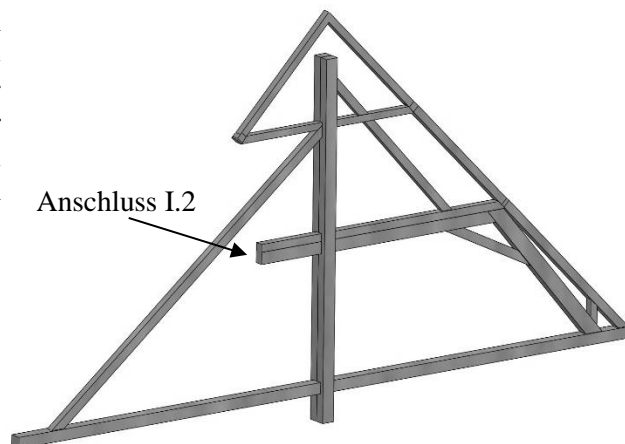


Abbildung 4-34: VG 7

Bei Vollgespärre 6 sind zwei Hängesäulen angeordnet, welche bis zur Ebene 3 (Hahnenbalken) reichen. An Vollgespärre 6 sind jeweils die Ichsengespärre I.1 und I.2 angeschlossen, obwohl dieses nicht mittig liegt. Es ist nicht bekannt, aus welchem Grund der Anschluss der Ichsengespärre nicht symmetrisch erfolgt ist. Ebenso ist nicht mehr eindeutig nachvollziehbar, aufgrund vorhergehender Änderungen in dem Tragwerk, wie die Originalkonstruktion in diesem Bereich ausgesehen hat. Abschließend ist noch anzumerken, dass Hängesäulen eigentlich nur bis zum Ende des 17. Jahrhundert zweiteilig ausgeführt worden sind und danach als Holzverschwendung galten.

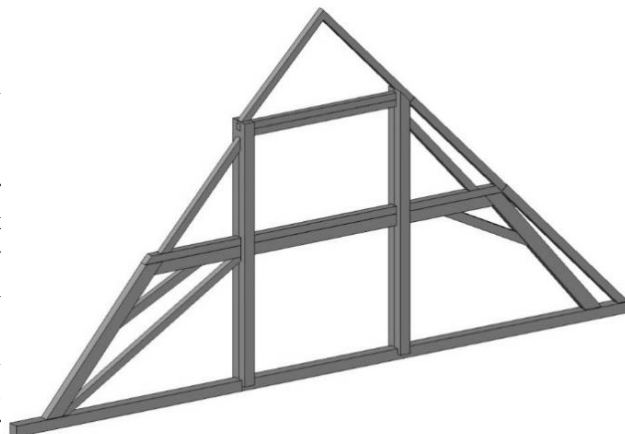
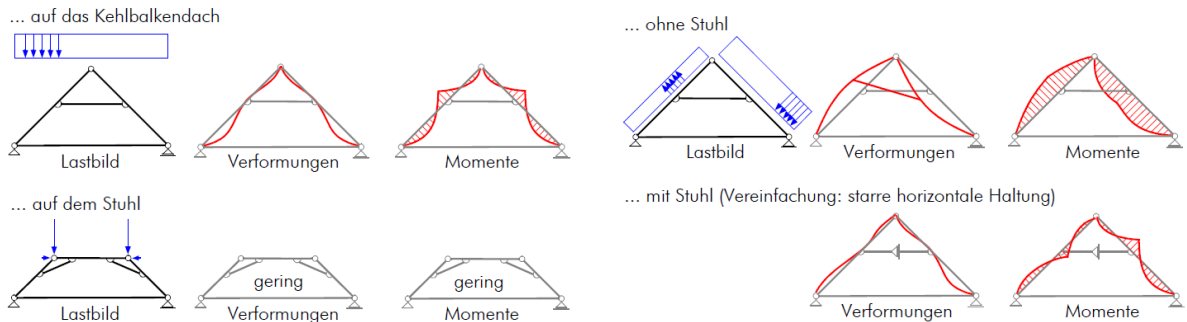


Abbildung 4-35: VG 6

### 4-4.5.2 Tragwirkung

Das hier vorliegende Kehlbalkendach mit liegendem Stuhl weist ein ausgeprägtes räumliches Tragverhalten auf. Zur globalen Lastabtragung dienen sowohl das Primärtragwerk quer zur Firstrichtung als auch die firstparallelen Bauteile. Die Tragwirkung für Kehlbalkendächer mit liegenden Stühlen ist je nach Belastung unterschiedlich. Bei einer symmetrischen Belastung sind die auftretenden Kräfte im liegenden Stuhl gering, der Stuhl trägt hauptsächlich sich selbst. Die Lastabtragung erfolgt somit sparrendachartig. Bei asymmetrischer Belastung werden die horizontalen Kräfte über die Kämme zwischen Kehlbalken und Rähm in den liegenden Stuhl eingeleitet. In Abbildung 4-36 ist die Lastabtragung für symmetrische (links) und asymmetrische (rechts) Belastung dargestellt.



**Abbildung 4-36: Lastabtragung (links: symmetrischer Belastung, rechts: asymmetrische Belastung) [6]**

Die Tragwirkung des liegenden Stuhles ist von der Modellierung abhängig. Bei starren Verbindungen ergibt sich aus statischer Sicht ein Zweigelenkrahmen. Werden die Verbindungen auf Zug ausfallend modelliert, ergibt sich ein Dreigelenkrahmen.

Die Tragwirkung des liegenden Stuhles zeigt, dass sich bei historischen Tragwerken die Größe der Bauteile nicht mit Steifigkeit gleichsetzen lassen. Die Lasten werden also nicht von der vermeintlich steiferen Stuhlkonstruktion „angezogen“. Dennoch leistet der Stuhl einen wesentlichen Beitrag zur Dauerhaftigkeit, so bildet dieser zum Beispiel bei schadhafte Sparrenfußpunkten einen behelfsmäßigen Ersatz für den Lastabtrag über das Sparrendreieck. Im Bereich der Ichsen ist die Dachlattung nicht zu vernachlässigen.



## 4-4.6 ZIMMERMANNSMÄßIGE VERBINDUNGEN

Bei diesem Dachtragwerk sind hauptsächlich zimmermannsmäßige Verbindungen zum Einsatz gekommen. Nur vereinzelt sind schmiedeeiserne Verbindungen, wie Klammern, verwendet worden. Die bei historischen Dachtragwerken vorkommenden zimmermannsmäßigen Verbindungen basieren auf Erfahrungswerten. Häufig sind diese Verbindungen der Schwachpunkt des Tragwerkes, da die Querschnitte teilweise stark geschwächt werden (siehe Kapitel 2-3.1.1). Zimmermannsmäßige Verbindungen übertragen in erster Linie Druck- und Querkkräfte über Pressung und/oder Reibung; die Übertragung von Zugkräften ist nur sehr begrenzt möglich. In geringem Ausmaß können Torsionsmomente und Momente übertragen werden. Für die Tragfähigkeit ist dabei eine passgenaue Ausführung der Verbindungen entscheidend. Des Weiteren wird die Tragfähigkeit durch lokale Querkzug- und Querdrukkräfte, meist auf die Geometrie zurückzuführen, ebenfalls begrenzt (vgl. [13], [6]). Zudem ist noch darauf hinzuweisen, dass die Holz-Holz-Verbindungen prinzipiell nachgiebig sind und nicht als starr angesehen werden können. Wesentlichen Einfluss auf die Nachgiebigkeit haben die Materialeigenschaften der verwendeten Holzart, die Qualität bei der Herstellung (Holzfeuchte beim Einbau, Querschnittstyp) und die Beanspruchungsgeschichte.

Einleitend wird ein kurzer Überblick über typische zimmermannsmäßige Verbindungen und deren Einsatz gegeben.

### 4-4.6.1 Überblick zimmermannsmäßige Verbindungen

In Abbildung 4-37 wird ein Überblick über die Klassifizierung der Verbindungsformen und die Kombinationsmöglichkeiten dargestellt.

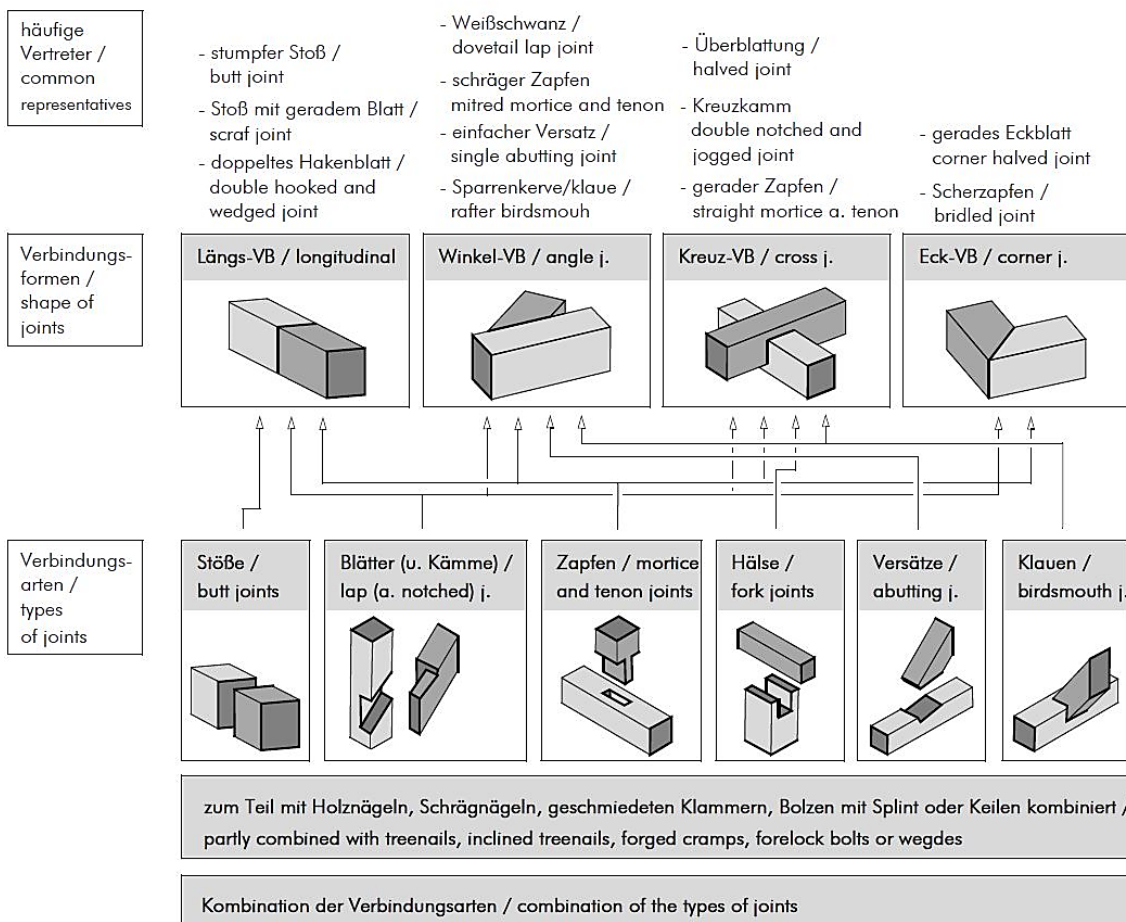
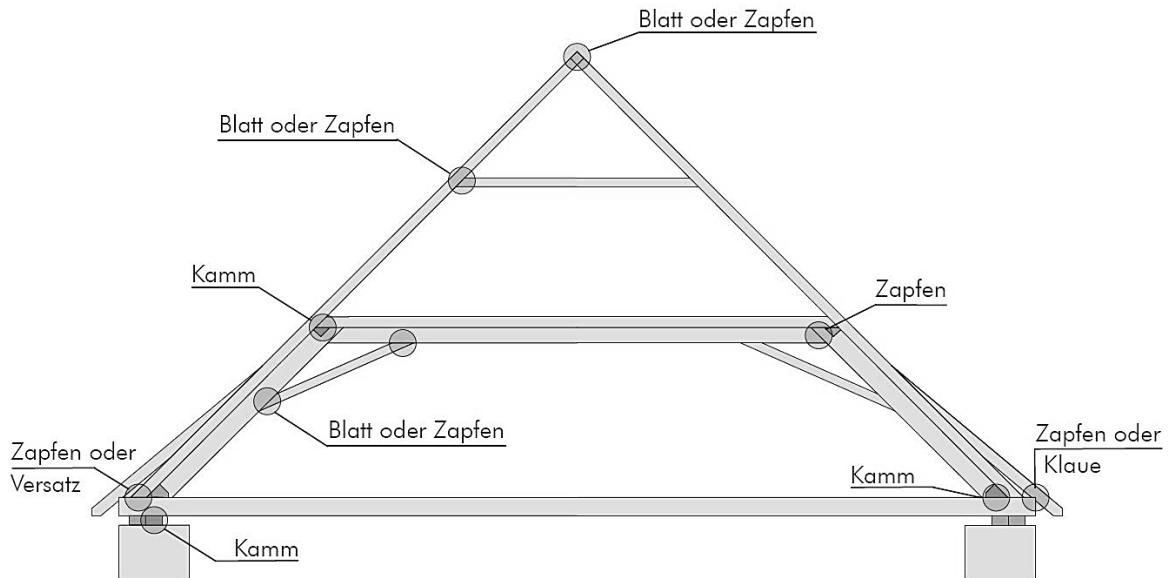


Abbildung 4-37: Klassifizierung zimmermannsmäßiger Verbindungen [43]

Aufgrund verschiedener Anforderungen lassen sich die unterschiedlichen Verbindungen oftmals einem Knotenpunkt zuordnen. Abbildung 4-38 zeigt die mögliche Lage von zimmermannmäßigen Verbindungen in einem Kehlbalkendach mit liegendem Dachstuhl.



**Abbildung 4-38: Mögliche Verbindungsarten Kehlbalkendach mit liegendem Stuhl [23]**

Nachfolgend folgt eine kurze Definition der Verbindungsarten.

#### Stöße

Stöße dienen zur Verlängerung von Bauhölzern. Bei einer passgenauen Ausführung werden Druckkräfte in Längsrichtung übertragen. Für die Übertragung von Zugkräften sind schmiedeeiserne Verbindungsmittel wie Klammern notwendig. Die Anwendung erfolgt häufig bei Mauerbänken und Rähmen.

#### Blätter und Kämme

Für Blätter gibt es zahlreiche Ausführungsmöglichkeiten. Diese Verbindungsart ist universell einsetzbar für Längs-, Winkel-, Kreuz- und Eckverbindungen. Als Lagesicherung kommen zumeist stiftförmige Verbindungsmittel zum Einsatz, wodurch auch geringe Momente und Zugkräfte übertragen werden können. Am häufigsten kommen in Dachwerken Weißschwänze und Längsblätter vor. Eine Sonderform sind die Kämme; hier liegen die zu verbindenden Bauteile nicht in einer Ebene.

#### Zapfen

Auch Zapfenverbindungen sind universell einsetzbar für Längs-, Winkel-, Kreuz- und Eckverbindungen. Druck- und Querkräfte können über Zapfenverbindungen übertragen werden. Mithilfe von stiftförmigen Verbindungsmitteln (meist Holznägel) können auch geringe Zugkräfte übertragen werden.

#### Hälse

Hälse sind Kreuzverbindungen, die auf dem Prinzip der Astgabel beruhen. Häufig werden diese bei Anschlüssen der Hängesäulen eingesetzt.

#### Versätze

Bei der Ausführung wird unterschieden in Stirnversätze, Fersenversätze und doppelte Versätze. Über die schräg angeschnittene Hirnholzfläche werden Druckkräfte übertragen. Häufig wird diese Verbindungsart in Kombination mit Zapfen angewendet, wie zum Beispiel der Stirnversatz mit schrägen Zapfen.

### Klauen

Die Hauptanwendung für Klauen ist die Verbindung zwischen Sparren und Pfetten. Auch für Klauen gibt es verschieden Ausführungsmöglichkeiten. Zur Lagesicherung sind zusätzliche Verbindungsmittel notwendig.

Für weitere Ausführungen kann z.B. auf ZWERGER [7], EIBING et.al [52], MEISEL [6] und [21], ORTNER [23] verwiesen werden. Detaillierte Beschreibungen aus zeitgenössischer Literatur sind in WOLFRAM [18] zu finden.

## 4-4.6.2 Anschlussdetails Dachtragwerk

Im Nachfolgenden werden die Anschlussdetails der Tragstruktur detailliert dargestellt. Da sich die meisten Anschlussdetails zahlreich im gesamten Dachstuhl wiederholen, werden diese zimmermannsmäßigen Details stichprobenartig untersucht. In Tabelle 4-3 sind die vorkommenden Verbindungen im Dachtragwerk aufgelistet:

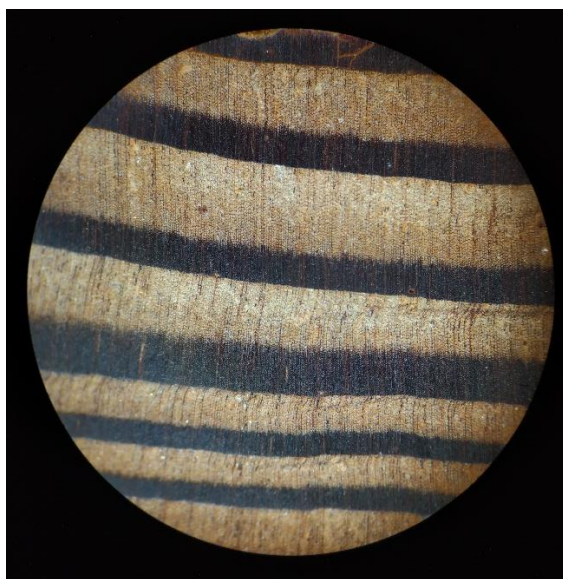
*Tabelle 4-3: Übersicht der vorkommenden Stabverbindungen*

Anschlussknoten	Verbindung		Lagesicherung	
	Bezeichnung	Detail	Bezeichnung	Material
Mauerbank - Mauerbank	Blatt	schräges Blatt	Holznaegel	Weichholz
Bundtram - Mauerbank	Kamm	Kreuzkamm/ Halbkamm	-	-
Sparren – Bundtram	Zapfen	schräger Zapfen	-	-
Stuhlsäule Bundtram	Zapfen	schräger Zapfen	-	-
Sparrenknecht – Stuhlsäule	Stoß	stumpfer Stoß	Klammer	Schmiedeeisen
Sparrenknecht - Sparren	Zapfen	schräger Zapfen	-	-
Stuhlsäule - Windstrebe	Zapfen	schräger Zapfen	Holznaegel	Weichholz
Stuhlsäule - Brustriegel	Zapfen	gerader Zapfen	Holznaegel	Weichholz
Brustriegel - Windstrebe	Blatt	Kreuzüberblattung	-	-
Windstrebe – Rähm	Zapfen	Schräger Zapfen	Holznaegel	Weichholz
Kopfband - Stuhlsäule	Zapfen	schräger Zapfen mit abgesetztem Versatz	2× Holznaegel	Weichholz
Kopfband - Spannriegel	Zapfen	schräger Zapfen mit abgesetztem Versatz	2× Holznaegel	Weichholz
Rähm – Stuhlsäule	Zapfen	einfacher Zapfen mit einseitigen Hals	nicht einsehbar	
Spannriegel - Stuhlsäule	Zapfen	Riegelzapfen	Holznaegel	Weichholz
Kehlbalken - Sparren	Zapfen	einfacher Zapfen	Holznaegel	Weichholz
Kehlbalken – Rähm	Kamm	Halbkamm	-	-
Sparren - Hahnenbalken	Zapfen	einfacher Zapfen	Holznaegel	Weichholz
Sparren - Sparren	Zapfen	Scherzapfen	Holznaegel	Weichholz
Kehlbalken - Längsunterzug	Zapfen	gerader Zapfen	-	-
Hängesäule - Hängesäule			Gewindebolzen	Schmiedeeisen
Hängesäule – Bundtram (VG 5, 6)	nicht einsehbar			
Hängesäule – Hahnenbalken (VG 5)	Blatt	gerades Blatt	2× Klammer	Schmiedeeisen
Hängesäule – Kehlbalken, Spannriegel (VG5)	Blatt	gerades Blatt	-	-
Hängesäule – Bundtram (VG 7)	Hals	Einhalzung*		
Hängesäule – Hahnenbalken (VG 6, VG 7)	Hals	Einhalzung*	-	-

Hängesäule – Kehlbalken, Spannriegel (VG 6, VG 7)	Hals	Einhalzung*	-	-
Strebe - Hängesäule	Versatz	Stirnversatz	Klammer	Schmiedeeisen
Strebe - Hahnenbalken	Blatt	gerades Blatt	-	-
Strebe - Kehlbalken	Versatz	Stirnversatz	Holz nagel	Weichholz
Gratsparren – Kehlbalken (VG 1)	Kerbe	Kerbe	-	-
Krüppelwalm (VG1 – 1.2)	Stoß	stumpfer Stoß	vereinzelt Nägel	Schmiedeeisen
Ichsengesparre – Spannriegel, Kehlbalken	Zapfen	schräger Zapfen	Eisenklammer (Spannriegel zu Stuhlsäule)	Schmiedeeisen

\*Hängesäule ist zweiteilig mit je einem geraden Blatt ausgeführt, weshalb von Einhalzung gesprochen wird.

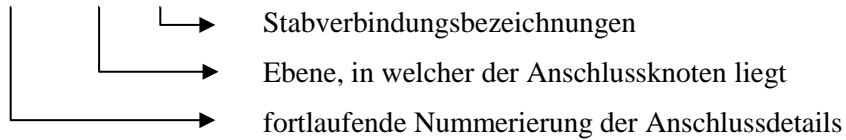
Bei zahlreichen Verbindungen werden zur konstruktiven Lagesicherung Holznägel mit einem Durchmesser von ca. 2 cm verwendet. Der Holznagel besteht vermutlich aus Lärche (Weichholz). Abbildung 4-39 zeigt auf der linken Seite einen eingebauten Holznagel (First) und auf der rechten Seite eine makroskopische Aufnahme eines Holznagels:



*Abbildung 4-39: links: eingebauter Holznagel, rechts: Makroskopische Aufnahme Holznagel*

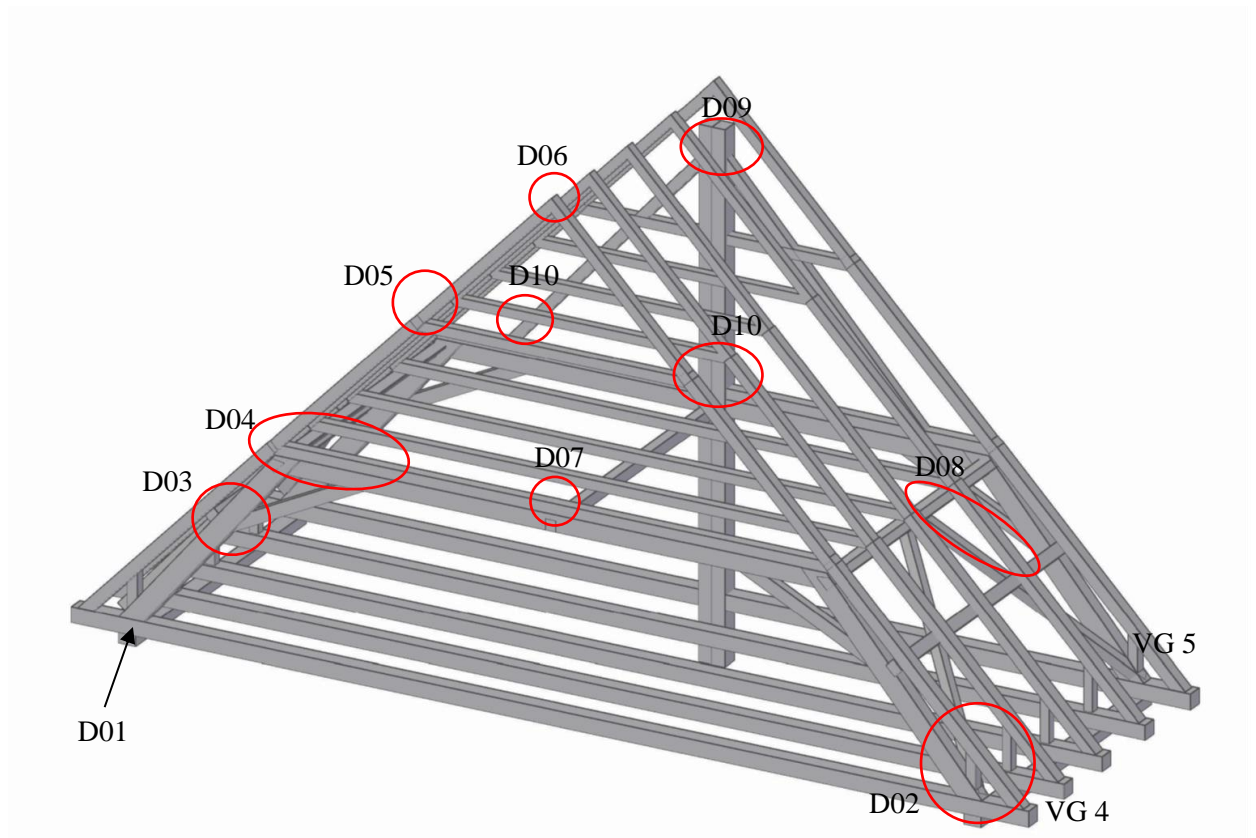
Damit die Anschlussknoten im Tragwerk auffindbar sind, werden diese mit folgender Kennzeichnung zugeordnet:

D09 (E1-E2): Stuhlsäule-Kopfband-Brustriegel



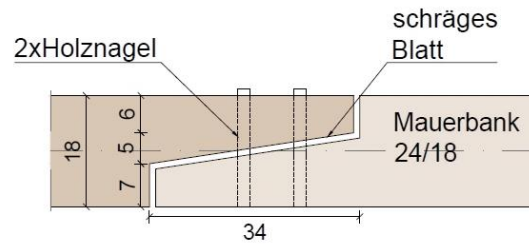
Die genauen geometrischen Abmessungen der Verbindungen kann man den jeweiligen Zeichnungen entnehmen. Diese sind nicht maßstabsgetreu.

Die Lage der Verbindungsdetails im Dachtragwerk ist in Abbildung 4-40 dargestellt. Die Zuordnung erfolgt repräsentativ für den Bereich zwischen Vollgespärre 4 und Vollgespärre 5. Dabei sind die Detailknoten D01 – D08 die zimmermannsmäßigen Verbindungen, welche sich in den Regel-Vollgespärren bzw. den Stuhlwänden zahlreich wiederfinden. Die Detailknoten D09 – D13 sind die Anschlüsse der Hängesäulen in den abweichenden Vollgespärre 5,6 und 7.



*Abbildung 4-40: Lage der Anschlussknoten im Tragwerk*

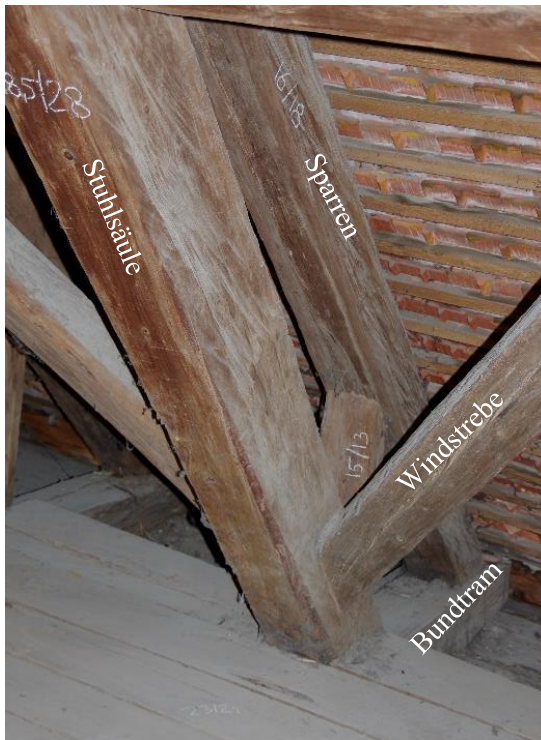
### D01 (E1): Mauerbank-Mauerbank



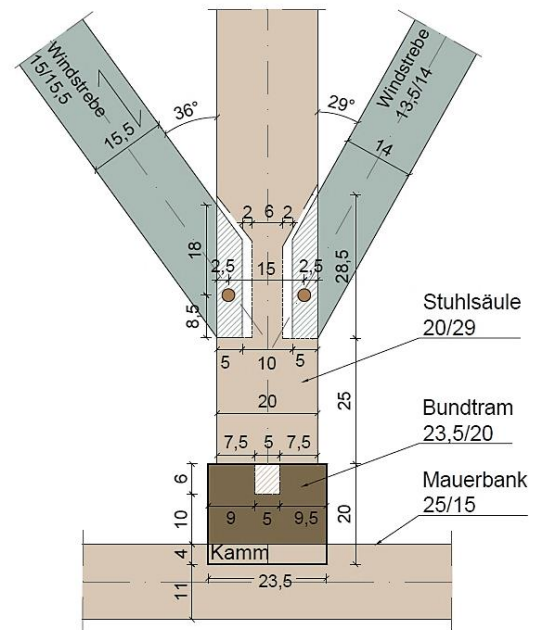
*Abbildung 4-41: D01 Mauerbank (links: Ansicht, rechts: Detailausbildung)*

Die Längsverbindung Mauerbank-Mauerbank ist mit einem schrägen Blatt ausgeführt worden, eine typische Verbindung für diese Anwendung. Die Lagesicherung erfolgt über Holznägel. Abbildung 4-41 zeigt ein Foto der Stabverbindung und die bemaßte Detailausbildung. Die Anzahl der Stoßstellen konnte nicht ermittelt werden, da einige Bereiche nicht zugänglich sind. Die Kraftübertragung von den Mauerbänken in das darunter liegende Mauerwerk erfolgt über Druckkräfte (vertikal) und Reibung (horizontal).

**D02 (E-1): Fußpunkt der Vollgespärre**



Schnitt 2-2:



Ansicht Blickrichtung NO:

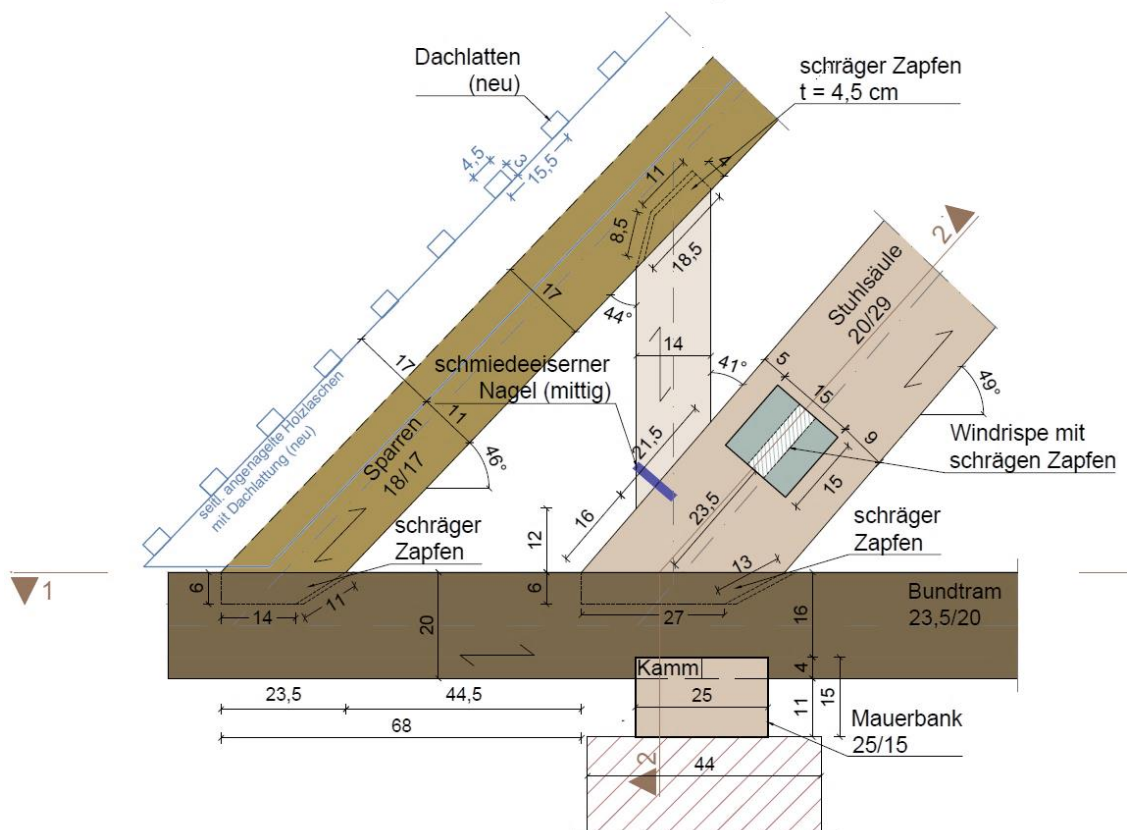


Abbildung 4-42: D02 Fußpunkt Vollgespärre (oben links: VG 2, oben rechts: Schnitt 2-2, unten: Ansicht)



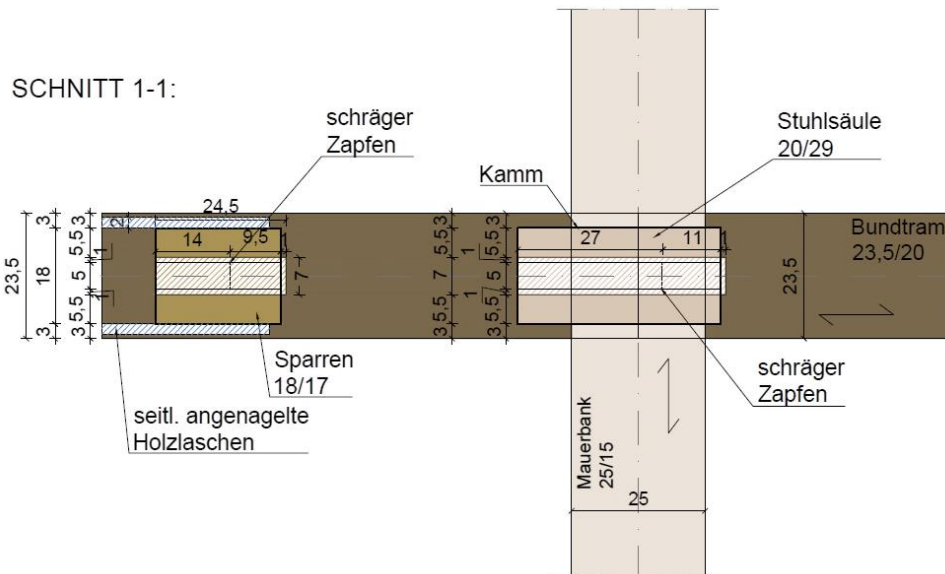


Abbildung 4-43: D02 Fußpunkt Vollgespärre Grundriss

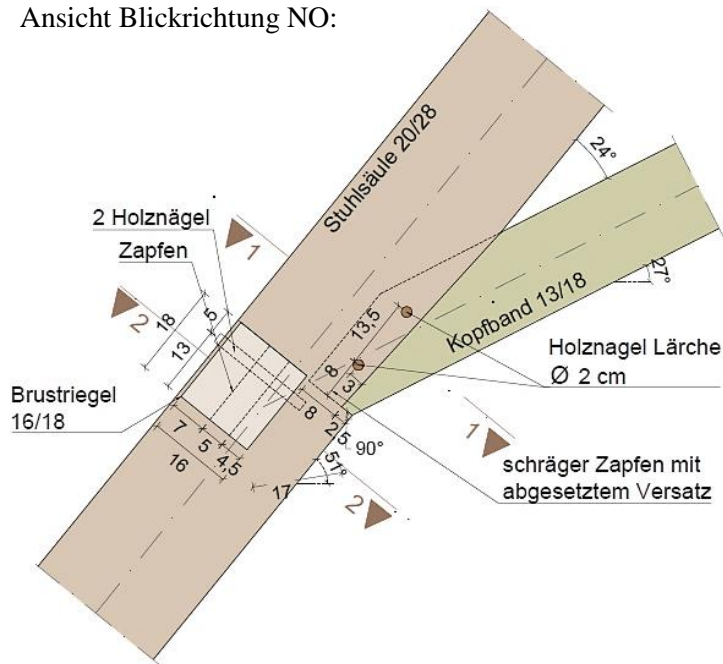
In Abbildung 4-43 und Abbildung 4-43 ist der Fußpunkt mit den Verbindungsdetails dargestellt, der am Vollgespärre 2 aufgenommen wurde. Der Anschluss zwischen Mauerbank und Bundtram ist eine Verkämmung, die als Kreuzkamm oder Halbkamm ausgeführt ist. Der Sparren und die Stuhlsäule sind jeweils über einen schrägen Zapfen mit dem Bundtram verbunden. Die Breite der Zapfen beträgt dabei etwa ein Drittel der Querschnittsbreite und besitzt eine Tiefe von rund 6-7 cm. Eine mögliche Verdrehung von Stuhlsäule und Sparren ist durch den schrägen Zapfen verhindert. Zugkräfte können jedoch keine aufgenommen werden. Der Sparrenknecht liegt stumpf auf der Stuhlsäule und ein mittiger schmiedeeiserner Nagel dient als Lagesicherung und der Knecht ist auf der anderen Seite in den Sparren eingezapft. Bei den Leergespärren ist der Sparrenknecht in den Bundtram eingezapft. Die Windstreben sind ebenfalls mit einem schrägen Zapfen in die Stuhlsäule und einem Holznagel verbunden. Somit können von dieser Verbindung auch Zugkräfte übertragen werden. Nicht zu vernachlässigen ist jedoch die Querschnittsschwächung der Stuhlsäule durch den beidseitigen Anschluss der Windstreben. Eine prinzipielle Explosionszeichnung ähnlicher Fußpunkte ist in Abbildung 2-7 dargestellt.

Die seitlich angenagelte Holzlasche an den Sparren, teilweise auch zweiseitig, dient wohl in erster Linie als Höhenausgleich für die Dachhaut. Die Dacheindeckung, inklusive Dachlatten, wurde in den 80er Jahren erneuert.

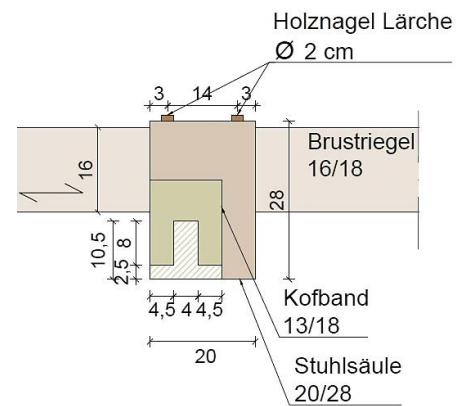
**D03 (E1-E2): Stuhlsäule-Kopfband, Brustriegel**



Ansicht Blickrichtung NO:

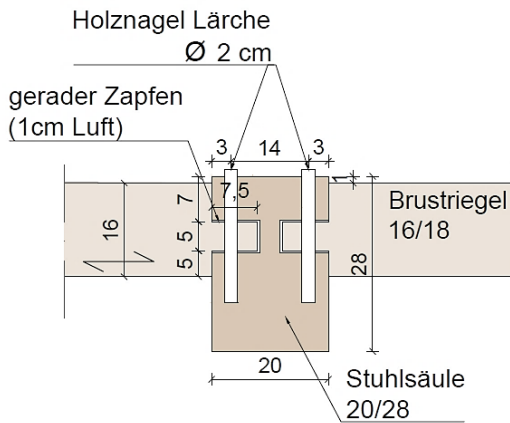


Schnitt 1-1:

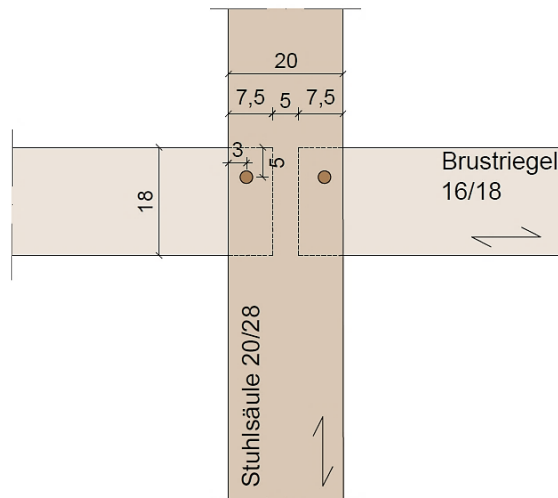


*Abbildung 4-44: D03 Stuhlsäule-Kopfband-Brustriegel*

Schnitt 2-2:



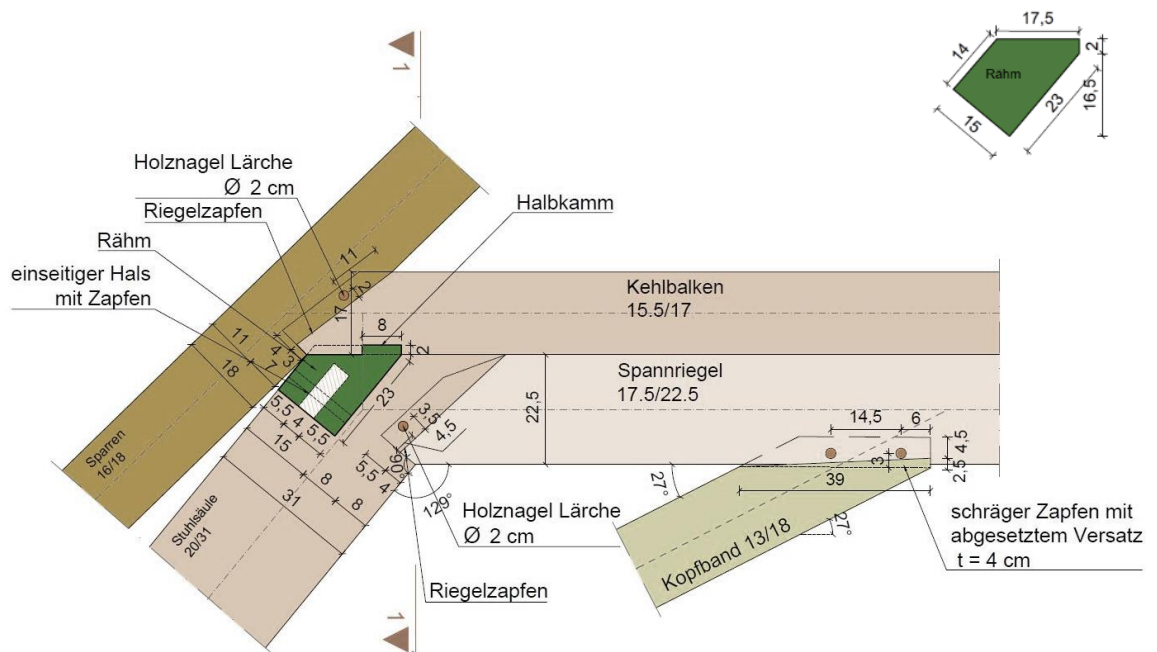
Ansicht hinten:



**Abbildung 4-45: D03 Stuhlsäule-Kopfband-Brustriegel**

Der Anschlussknoten D03, die Verbindungen von Stuhlsäule mit Kopfband und Brustriegel, wurde am Vollgespärre 2 auf der nordwestlichen Seite aufgenommen. Das Kopfband ist mit einem schrägen Zapfen mit abgesetztem Versatz an die Stuhlsäule angeschlossen. Zur Lagesicherung dienen zwei Holznägel. Hier können Druckkräfte, Torsionsmomente und geringe Zugkräfte übertragen werden. Der Brustriegel ist über einen geraden Zapfen in die Stuhlsäule eingezapft und ebenfalls mit jeweils einem Holznagel gesichert. Auch hier können von der Verbindung hauptsächlich Druckkräfte, Torsion und geringe Zugkräfte aufgenommen werden. Die detaillierten Abmessungen sind Abbildung 4-44 und Abbildung 4-45 zu entnehmen.

**D04 (E2): Kopfpunkt Stuhlsäule**



**Abbildung 4-46: D04 Kopfpunkt Stuhlsäule**

In Abbildung 4-46 und Abbildung 4-47 ist der Kopfpunkt der Stuhlsäule in Ebene 2 und die Verbindung Kopfband-Spannriegel dargestellt. Wie in D03 ist das Kopfband mit einem schrägen Zapfen mit abgesetztem Versatz mit dem Spannriegel verbunden. Diese Verbindung ist mit zwei Holz Nägel gesichert und weist ebenfalls eine Zapfenbreite von rund 4 cm auf. Der Anschluss der Stuhlsäule an das fünfeckige Rähm ist mit einem einseitigen Hals mit einfachen Zapfen realisiert. Ob eine Lagesicherung vorhanden ist, war nicht einsehbar. Das Rähm hat eine fünfeckige Form, damit die Anschlüsse leichter realisiert werden können. Der Spannriegel ist mit einem Riegelzapfen und einem Holznaegel (für geringe Zugkräfte) mit der Stuhlsäule verbunden. Für diesen Riegelzapfen wird im übriggebliebenen Streifen der Stuhlsäule ein durchgehendes vertikales Zapfenloch hergestellt. Zusätzlich ist an dieser Stelle auch noch der Versatz in dieser Verbindung vorhanden.

Dieser Anschlussknoten ist somit eine erhebliche Schwächung des Querschnittes der Stuhlsäule, von deren großformatigen Querschnitt in diesem Bereich nicht viel erhalten bleibt. Der Kehlbalken liegt auf dem Spannriegel direkt auf und ist mit einem Halbkamm an das Rähm angeschlossen. Die Verbindung zwischen Kehlbalken und Sparren ist ebenfalls mit einem Riegelzapfen realisiert worden, auch hier mit einem Holznagel zur Sicherung bei geringen Zugkräften. Das grundlegende Prinzip dieses Anschlusses ist als Explosionszeichnung in Abbildung 2-7 ersichtlich.

Anmerkung: Bei den Leergespärren ist der Kehlbalken ebenfalls auf das Rähm aufgekämmt und die Verbindung mit dem Sparren ist mit einem Riegelzapfen realisiert worden.

Ansicht 1-1:

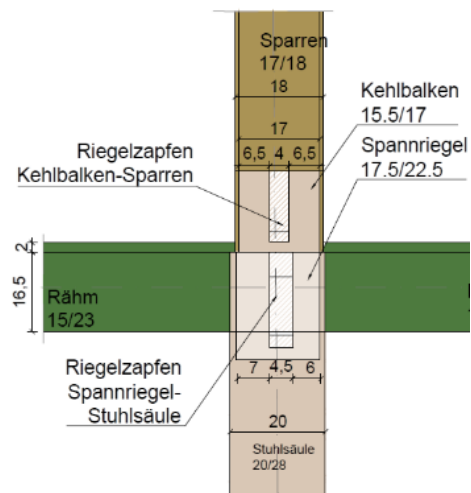
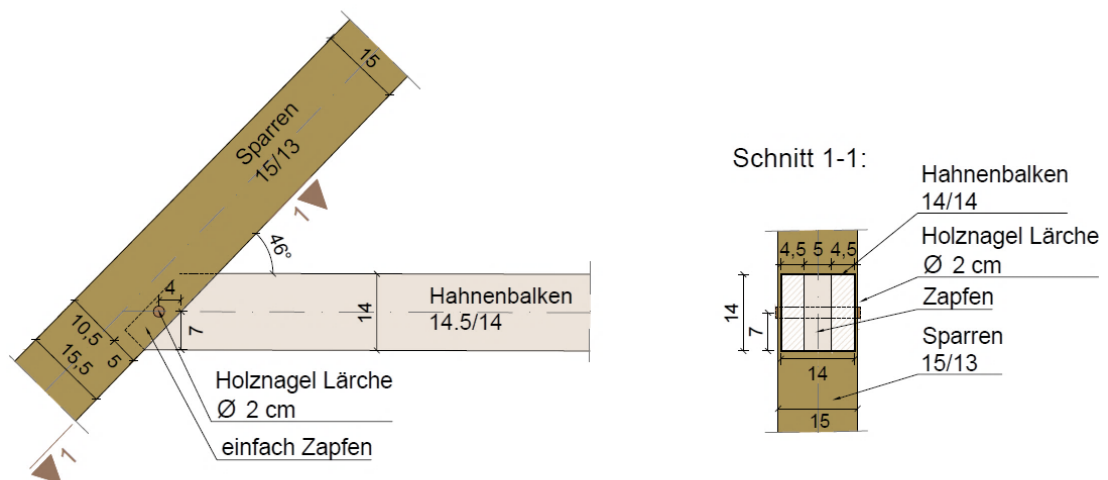


Abbildung 4-47: Schnitt 1-1

### **D05 (E3): Sparren-Hahnenbalken**



Ansicht Blickrichtung NO:



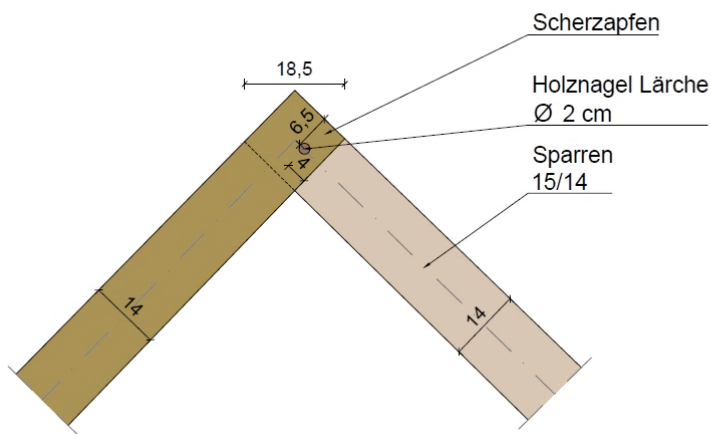
**Abbildung 4-48: D05 Sparren-Hahnenbalken**

Der Hahnenbalken ist mit einem Riegelzapfen an den Sparren angeschlossen. Auch diese Verbindung kann überwiegend Druckkräfte übertragen. Für geringe Zugkräfte und als Lagesicherung dient ein Holznagel. In Abbildung 4-48 ist auch die teils starke Verschmutzung der Bauteile zu erkennen. Zudem ist eine leichte Klaffung der Verbindungen feststellbar. Diese ist vermutlich auf die Anatomie des Holzes bzw. nicht passgenaue Arbeiten zurückzuführen. Der Anschlussknoten Hahnenbalken-Sparren weist an zahlreichen Stellen Klaffungen auf (siehe Schadenskartierung S. 77f).

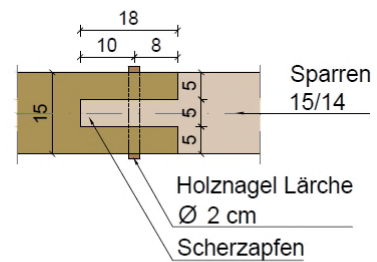
**D06 (First): Firstpunkt Sparren**



Ansicht Blickrichtung NO:



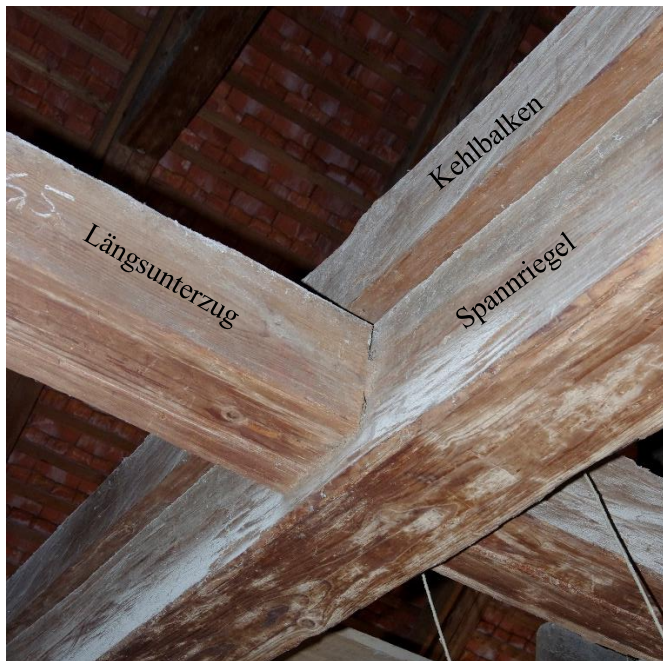
Grundriss:



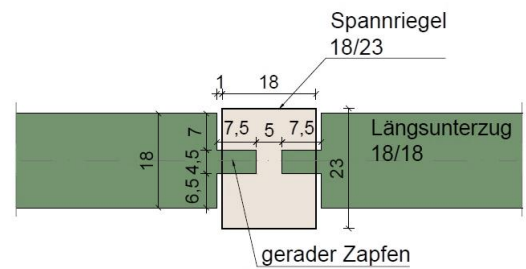
**Abbildung 4-49: D06 Firstpunkt**

Die Verbindung am Firstpunkt ist als ein Scherzapfen mit einem Holznagel realisiert, wie in Abbildung 4-49 dargestellt. Ebenfalls ist ein Ausgleichsholz, welches im Zuge der Dachsanierung eingebaut wurde ersichtlich.

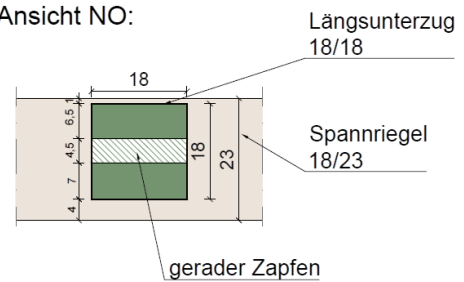
### D07 (E2): Längsunterzug-Kehlbalken



Ansicht Blickrichtung NW:



Ansicht NO:



**Abbildung 4-50: D07 Längsunterzug-Kehlbalken**

In der Kehlbalkenebene E 2 ist mittig in den Vollgespärren bzw. parallel zum First durchgängig ein Längsunterzug angeordnet. Dieser spannt von Vollgespärre zu Vollgespärre, die Kehlbalken der Leergespärre haben keine Verbindung zum Längsunterzug. Der Längsunterzug ist mittels eines geraden Zapfens in den Spannriegel eingezapft. Grundsätzlich ist keine Lagesicherung vorhanden, nur bei Vollgespärre 6 ist eine Eisenklammer an der Oberseite vorhanden.



**D08 (E1-2): Stuhlwand**

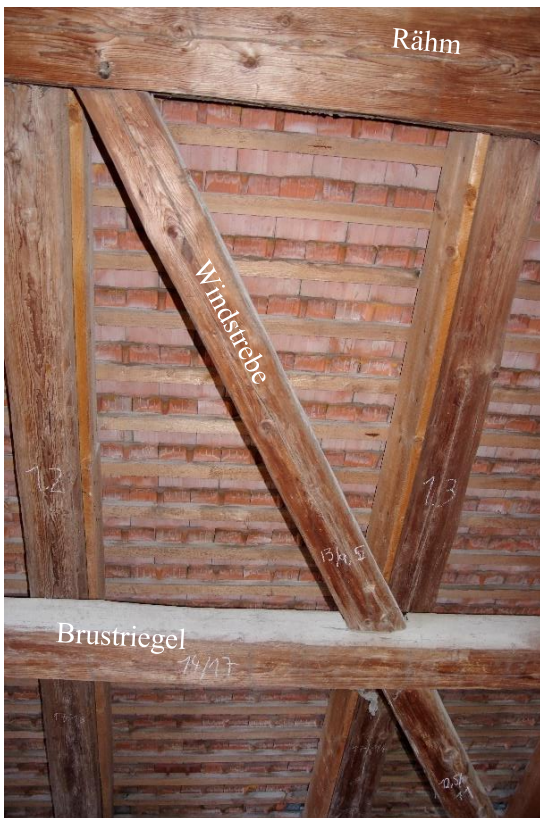
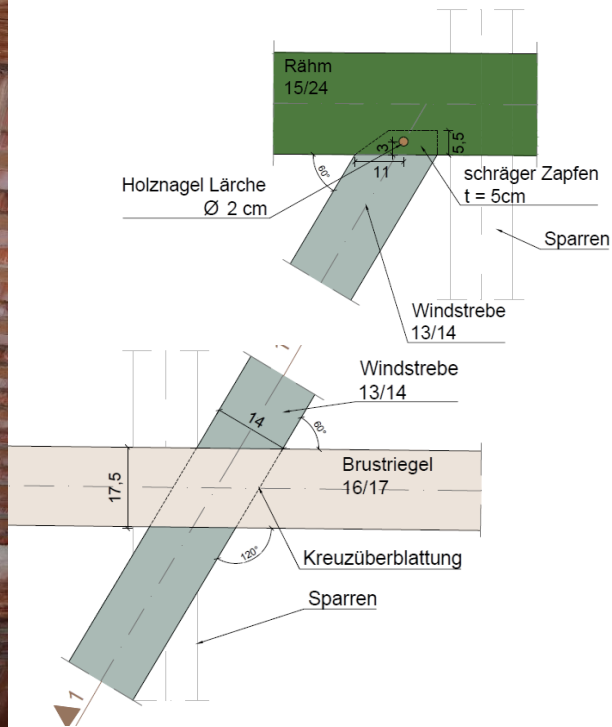


Abbildung 4-51: D08 Stuhlwand

Ansicht Blickrichtung NW:



Schnitt 1-1:

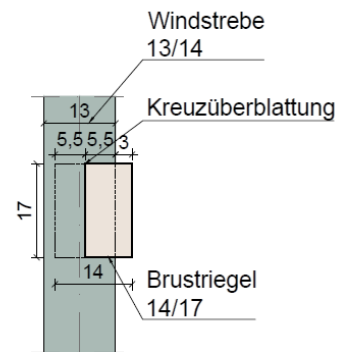
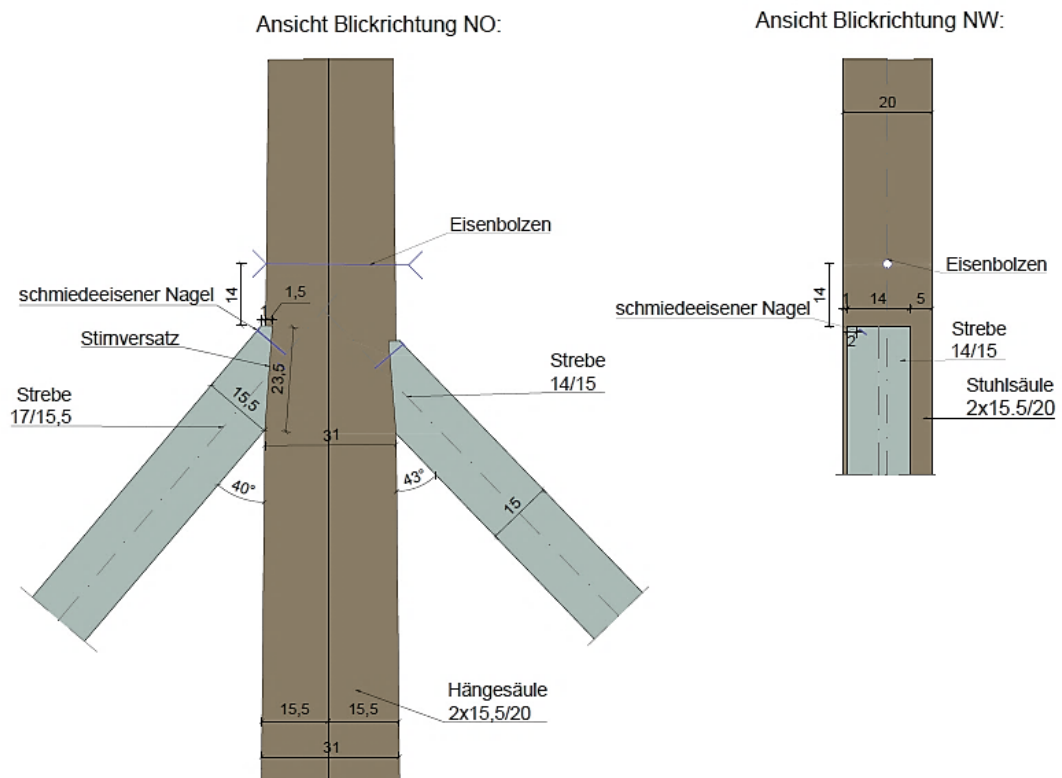


Abbildung 4-52: Schnitt 1-1

Die Längsaussteifung erfolgt über die Stuhlwand. Die Detailknoten Brustriegel-Rähm und Windstrebe-Stuhlsäule sind bereits in D03 bzw. D02 beschrieben. Der Anschluss der Strebe an das Rähm erfolgt über einen schrägen Zapfen, mit einer Zapfenbreite von 5 cm. Zur Lagesicherung und zur Aufnahme geringer Zugkräfte dient ein Holznagel. Der Anschlussknoten zwischen Brustriegel und Windstrebe wurde mit einer Kreuzüberblattung realisiert.

**D09 (E3-First): Hängesäule Vollgespärre 5**



**Abbildung 4-53: D09 Hängesäule VG 5**

Bei den Vollgespärren 5, 6 und 7 sind Hängesäulen vorhanden. Die Hängesäule ist nicht kraftschlüssig mit dem First verbunden, sondern auf die Kehlbalke abgestrebt (Vollgespärre 5 und 7). Vollgespärre 6 hat zwei Hängesäulen, die jeweils bei der Hahnenbalkenebene enden. Die Hängesäule ist zweiteilig und mit einem Eisenbolzen miteinander verbunden (vgl. Kapitel 4-4.2.4). Die Strebe ist an die Hängesäule mit einem Stirnversatz angeschlossen, der einen schmiedeeisernen Nagel zur Lagesicherung hat. Diese Verbindung kann nur Drucknormalkräfte übertragen.

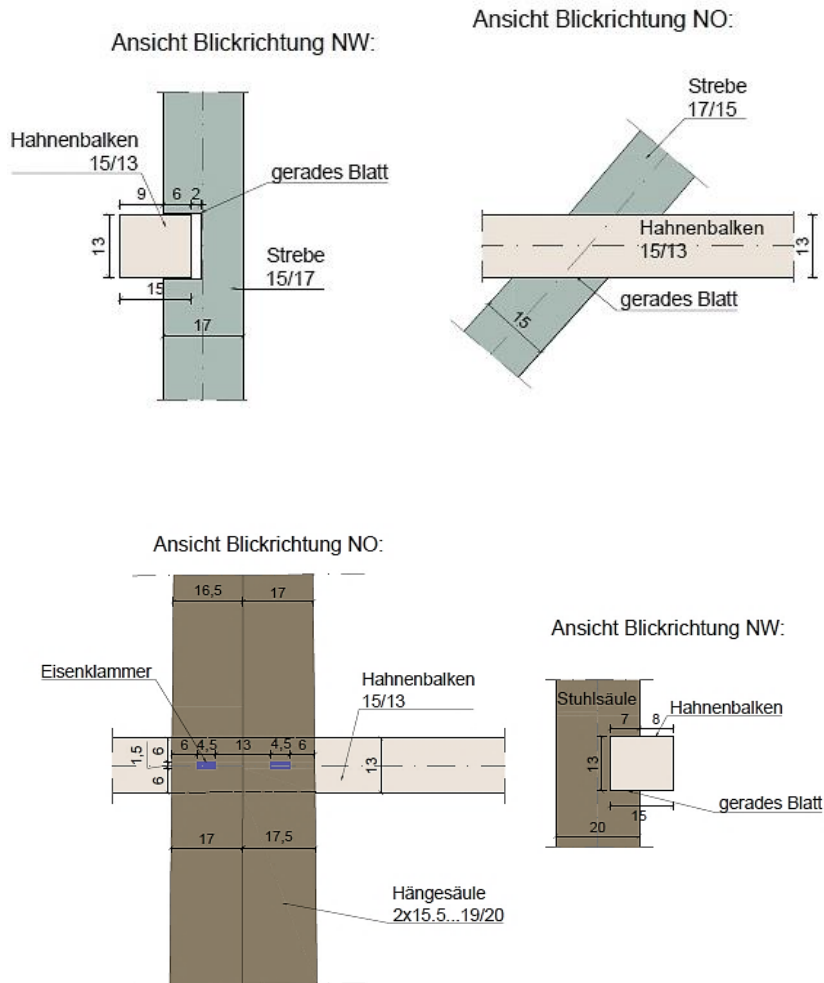
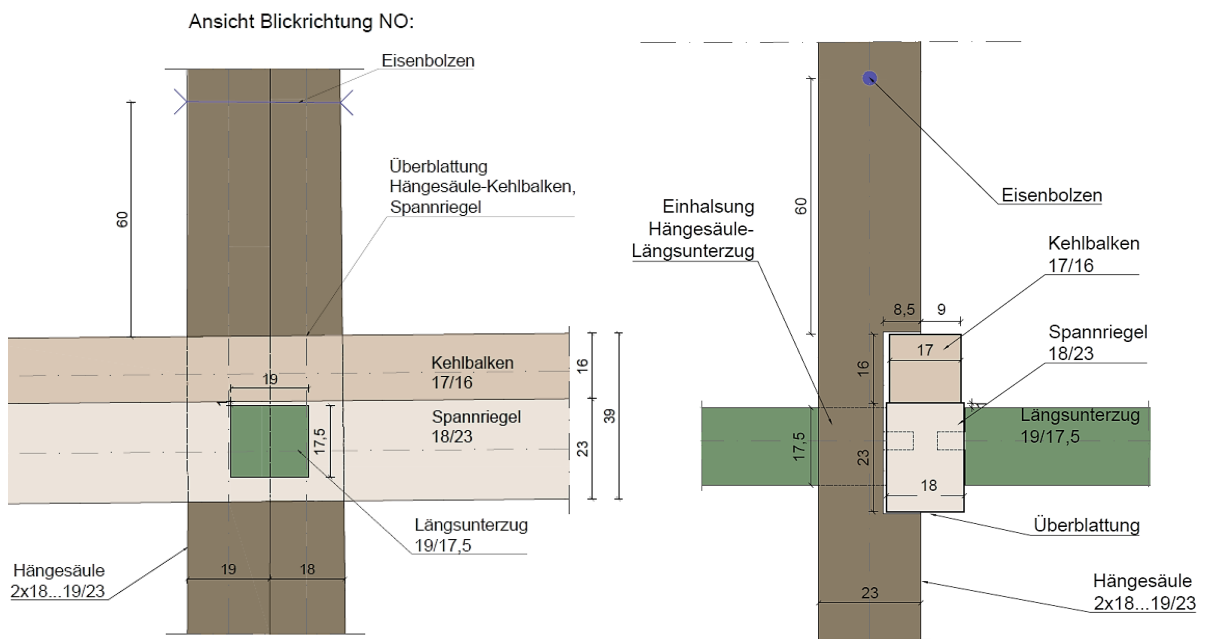


Abbildung 4-54: D09 (E3) Hängesäule (oben: Strebe-Hahnenbalken, unten: Hängesäule-Kehlbalken)

Die Strebe ist mit dem Kehlbalken über ein gerades Blatt verbunden, diese Verbindung ist geeignet für die Übertragung von Druck- und Zugkräften. Auch der Anschluss der Hängesäule an den Hahnenbalken ist mit einem geraden Blatt realisiert. Zwei schmiedeeisernen Klammern dienen zu Lagesicherung für diese Verbindung.

**D10 (E2): Hängesäule Vollgespärre 5**



**Abbildung 4-55: D10 Hängesäule VG 5**

In der Kehlbalkenebene ist die Hängesäule an den Kehlbalken und Spannriegel mit einem geraden Blatt verbunden. Der Längsunterzug ist von der zweiteiligen Hängesäule eingehalst (hinten) und vorne (siehe Abbildung 4-55), wie in D07 beschrieben, in den Spannriegel eingezapft.

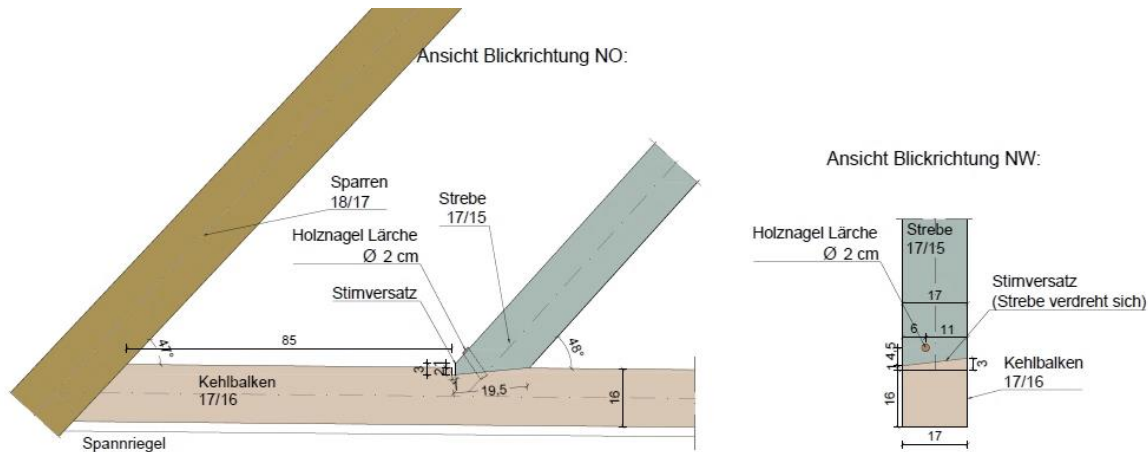


Abbildung 4-56: D10 Hängesäule VG 5

Die Strebe der Hängesäule ist mit einem Stirnversatz mit dem Kehlbalken verbunden und zur Lagesicherung dient ein Holznagel. Beim Vollgespärre 5 auf nordwestlicher Seite ist die Strebe bereits um 3 cm verdreht, wie in Abbildung 4-56 zu erkennen ist.

### D11 (E2): Hängesäule Vollgespärre 6

Während beim Vollgespärre 5 die zweiteilige Hängesäule quer zur Firstrichtung steht, sind die beiden zweiteiligen Querschnitte der Hängesäulen von Vollgespärre 6 firstparallel (ebenso bei Vollgespärre 7). Daraus ergeben sich etwas andere Verbindungen. Die Hängesäule schließt an Kehlbalken und Spannriegel mit einem geraden Blatt an. Da die Hängesäule zweiteilig ist, handelt es sich um eine Einhalsung. In diesem Fall ist dann die Hängesäule mit einem geraden Blatt an den Längsunterzug angeschlossen. Der Anschlussknoten ist somit um 90° gedreht und in Abbildung 4-57 dargestellt.

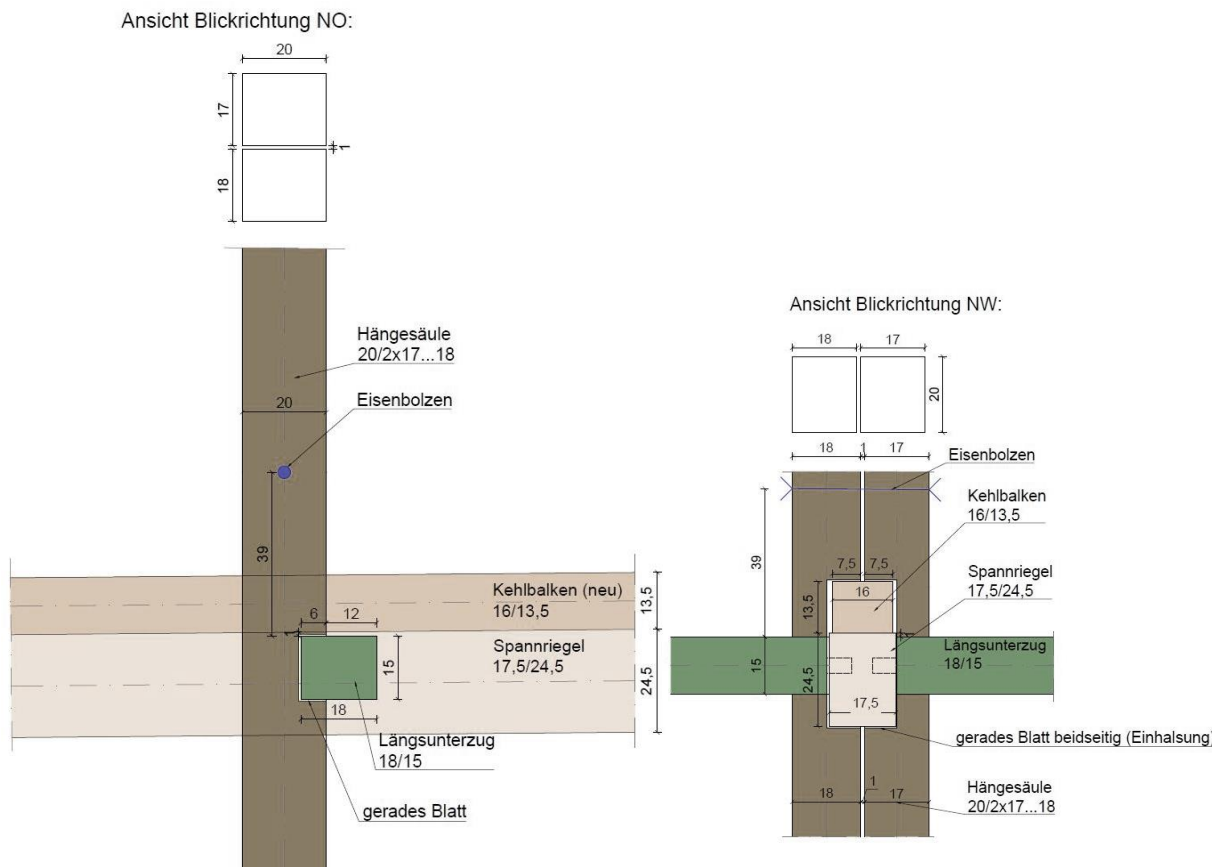
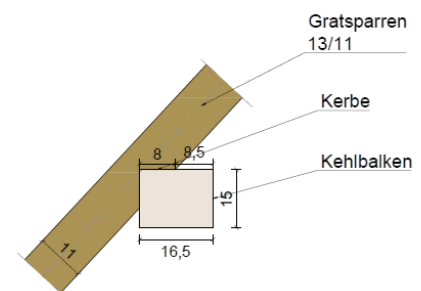


Abbildung 4-57: D11 (E2) Hängesäule VG 6

### **D12 (E3): Gratsparren-Hahnenbalken**

Dieser Anschlussknoten liegt im Bereich des Krüppelwalms. Die Gratsparren sind mit einer Kerbe an den Hahnenbalken angeschlossen und lagern etwa 60 cm darunter auf der Ziegelmauer auf. Der Anschluss ist in Abbildung 4-58 abgebildet.



*Abbildung 4-58: D12 (E3) Gratsparren*

### **D13 (E0-E1): Hängesäule VG 7**

Der Fußpunkt der Hängesäule von Vollgespärre 7 ist in Abbildung 4-59 dargestellt. Die Verbindung zwischen Hängesäule und Bundtram ist mit einem geraden Blatt realisiert. Durch den zweiteiligen Querschnitt der Hängesäule ist der Bundtram eingehalst, die Hängesäule umgreift sozusagen den Bundtram. Auf diese Weise wird der Bundtram mit der Hängesäule nach oben gehängt.



*Abbildung 4-59: D13 (E0-E1)*

### **Sonstige Anschlussknoten im Dachtragwerk**

Im Dachtragwerk befinden sich noch einige Anschlussknoten, welche nur einmal vorkommen. Dazu gehört zum Beispiel die Anschlüsse des Ichsengespärres an das Vollgespärre 6. Die Anschlüsse wurden mit Zapfenverbindungen realisiert, die genaue Anschlussgeometrie wurde nicht bestimmt. Ebenso wurden die Verbindungen der Schnitte F-F und H-H (E0-E1) im Rahmen dieser Arbeit nicht genauer untersucht. Bei den Ichsengespärren wurde bei vorhergehenden Instandsetzungen bereits einiges verändert, die Anschlussknoten mit den veränderten/neuen Bauteilen wurden nicht weiter untersucht, genauere Beschreibungen dieser Punkte befinden sich in der Schadensanalyse.

## 4-4.7 DURCHGEFÜHRTE MESSUNGEN IM DACHTRAGWERK

### 4-4.7.1 Holzfeuchtemessungen

Die Holzfeuchtemessungen wurden am 14.11.2018 durchgeführt. Ausnahmen sind hierbei die Messungen an den Fußpunkten der Ichsengesparre. Diese wurden bereits am 03.11.2018 gemacht. Diese Werte bleiben unberücksichtigt, da es sich um geschädigte Holzbauteile handelt. In der nachfolgenden Tabelle 4-4 sind die durchgeführten Holzfeuchte- und Temperaturmessungen zusammengestellt. Die Messungen sind mit dem Gerät GANN Hydromette M2050 mit Rammelektrode des Typs M18, unter Berücksichtigung der Holzart und der Umgebungstemperatur, durchgeführt worden. Die durchschnittliche Temperatur in der Bundtramebene lag bei rund 13 °C und am First bei 14,4 °C. Die Holzfeuchtemessungen wurde bei den Vollgesparren VG2, VG 6, VG 9 und bei dem Leergesparre A.5 jeweils an den Bauteilen Mauerbank, Bundtram, Kehlbalken und Firstpunkt Sparren auf der jeweiligen Dachseite durchgeführt.

*Tabelle 4-4: Messprotokoll der durchgeführten Holzfeuchtemessungen*

Achse	Orientierung	Mauerbank		Bundtram		Kehlbalken		Sparren (First)	
		T in [C°]	HF [%]	T in [C°]	HF [%]	T in [C°]	HF [%]	T in [C°]	HF [%]
2	SO	13,8	19,3	13,7	17,4	13,7	16,2	12,9	21,7
	NW	13,1	17,9	12,7	20,1	13,8	19,6		
6	SO	13,1	18,0	13,1	18,9	13,6	15,4	13,3	22,5
	NW	12,6	17,4	12,9	14	13,1	16,6		
9	SO	12,9	17,6	13,2	18,7	12,9	15,5	12,9	20,4
	NW	12,3	17,7	12,3	15,3	12,7	18,6		
A.5	NO	13,9	15,4	13,4	16,6	13,7	18,5	14,9	18,7
	SW	13,1	19,2	12,8	18,9	13,1	16,7	13,9	21,8
<b>Mittelwert</b>		13,1	<b>17,8</b>	13,0	<b>17,5</b>	13,3	<b>17,1</b>	14,4	<b>20,3</b>
<b>Standardabweichung</b>			1,13		1,94		1,46		1,34
<b>Δ Min./Max.</b>			3,90		6,10		4,20		3,80

Sowohl bei der Temperatur als auch bei der Holzfeuchte lassen sich unterschiedliche Messwerte je nach Exposition erkennen. So ist die Temperatur im Südosten und Nordosten etwas höher. Da die Messungen an einem Tag durchgeführt worden sind, lässt sich keine Aussage über die saisonalen Schwankungen in der Holzfeuchte machen. Die Messreihe am First wird bei der weiteren Interpretation nicht berücksichtigt, da die Messpunkte an den Sparren direkt in Firstnähe liegen und in diesem Bereich des Öfteren undichte Stellen in der Dachhaut vorkommen. Der Mittelwert der Holzfeuchtemessungen für das gesamte Tragwerk liegt bei 17,5 %.

Im EC 5 und dem zugehörige nationalen Anwendungsdokument (vgl. [58]) werden zulässige Holzfeuchten definiert. Mit der Angabe von Referenzgebäudetypen, die nicht überstiegen werden dürfen:

Nutzungsklasse 1 (NKL 1)	Die mittlere Holzfeuchte der meisten Nadelhölzer übersteigt nicht 12 % (Wohn-, Schul-, Veranstaltungsbauten, ...)
Nutzungsklasse 2 (NKL 2)	Die mittlere Holzfeuchte der meisten Nadelhölzer übersteigt nicht 20 % (Innenräume von Nutz-& Industriebauten, überdachte Konstruktionen, ...)
Nutzungsklasse 3 (NKL 3)	Diese Nutzungsklasse erfasst all jene Klimabedingungen, die zu höheren Holzfeuchten führen. (z. B.: Bauteile im freien mit konstr. Holzschutz)

Das Dachtragwerk kann als allseitig geschlossenes und unbeheiztes Bauwerk bezeichnet werden und kann damit der Nutzungsklasse NKL 2 zugeordnet werden. Die Anforderungen nach EC 5 und NKL 2 werden erfüllt. Die Nutzungsklasse wird in der statischen Berechnung berücksichtigt.

#### 4-4.7.2 Bohrwiderstandsmessungen

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurden auch Bohrwiderstandsmessungen durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein zerstörungsarmes Prüfverfahren, welches sich für die Untersuchung von eingebautem Holz gut eignet. Das Bohrwiderstandsmessgerät IML RESI-F300 wurde für diese Aufnahmen verwendet. Für die Bohrungen wurde Empfindlichkeitsstufe 1, Weichhölzer, verwendet. Es wird mit einer Bohrnadel mit konstanter Drehzahl durch das Holz gebohrt und dabei der Widerstand auf einem Messstreifen dokumentiert. Somit lassen sich Veränderungen in der Holzfestigkeit, wie Äste, Risse, etc., im Inneren des Bauteiles erfassen. Eine weitere Anwendung ist die Untersuchung der nicht sichtbaren Details der zimmermannsmäßigen Verbindungen. Man kann jedoch aus den Messkurven nicht direkt auf die mechanischen Festigkeitsgrößen schließen. Im Folgenden werden einige der durchgeführten Bohrwiderstandsmessungen interpretiert. Weitere Ergebnisse sind im Abschnitt 4-5 bei den jeweiligen Schäden aufgelistet.

Abbildung 4-60 zeigt die Hängesäule von Vollgespärre 6. Es sind deutliche Insektenfraßgänge des allgemeinen Nagekäfers auf der Holzoberfläche gut erkennbar. Eine Bohrwiderstandsmessung (rote Linie) hat ergeben, dass es sich dabei nur um einen oberflächlichen Schaden handelt. Auf dem Messstreifen sind ebenfalls ein Ast (hohe Festigkeit) und zwei Risse erkennbar. Diese sind auch auf dem Foto erkennbar.

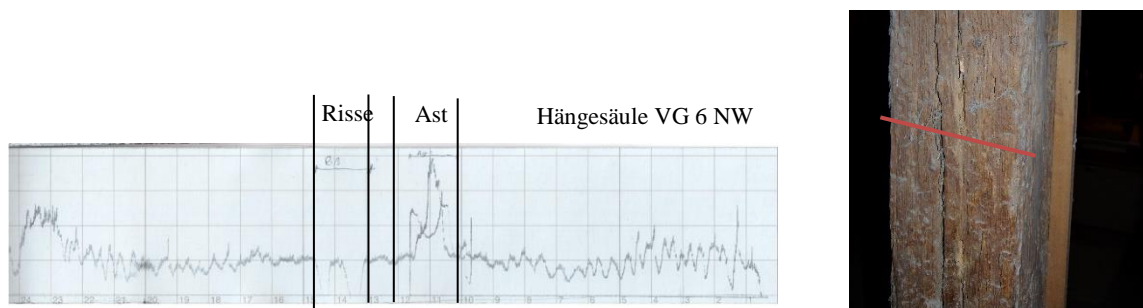


Abbildung 4-60: Hängesäule VG 6

Für die Ermittlung von verdeckten Holzverbindungen ist die Bohrwiderstandsmessung ebenfalls sehr hilfreich. Abbildung 4-61 zeigt eine Auswahl von durchgeführten Bohrungen, um die Anschlussgeometrien am Fußpunkt des Vollgespärres 4 zu ermitteln. Auch für die anderen zimmermannsmäßigen Verbindungen im Dachtragwerk wurde die genaue Geometrie der



Anschlussknoten mithilfe von Bohrungen ermittelt, wenn keine Klaffungen zum Messen vorhanden waren.

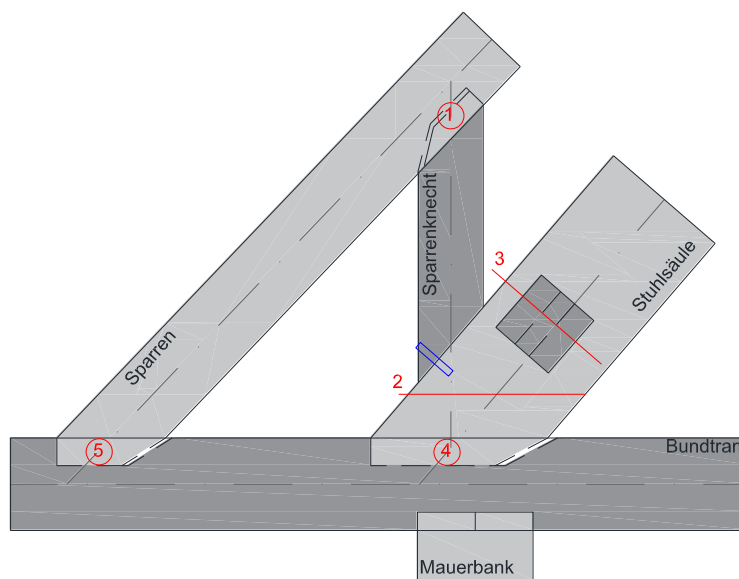
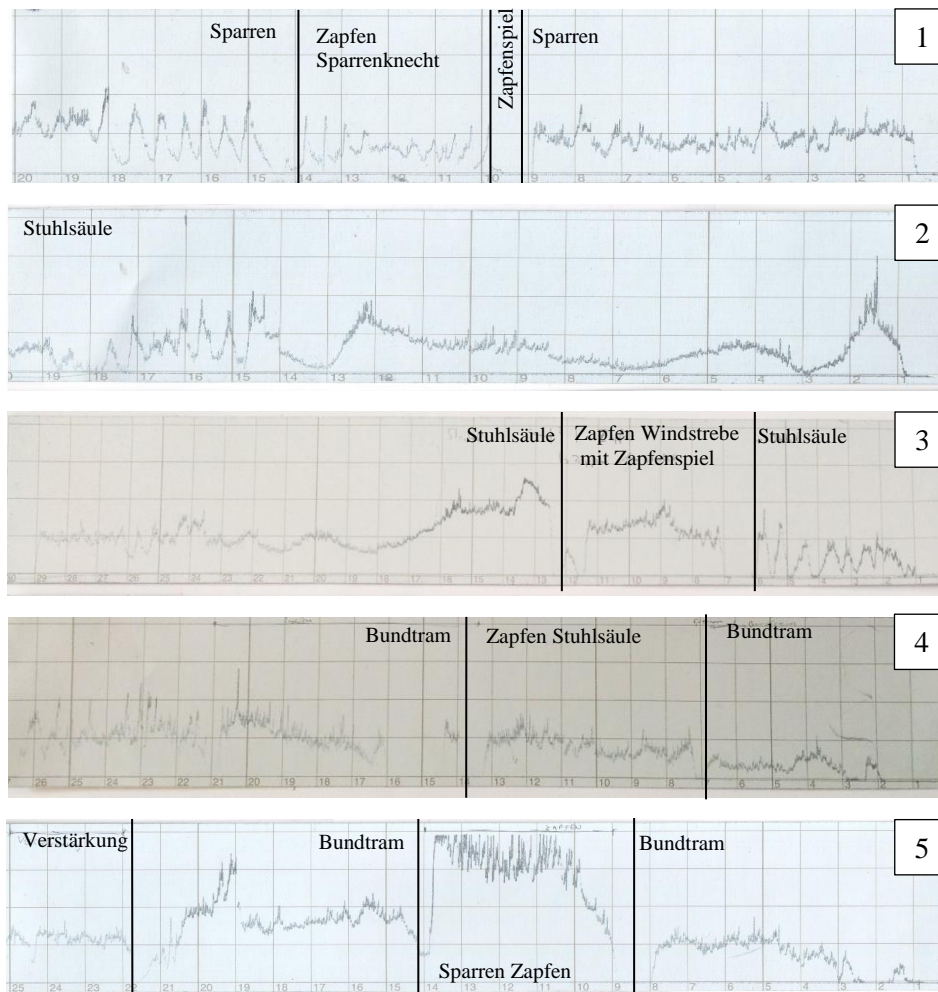


Abbildung 4-61: Fußpunkt Vollgespärre 4

## 4-5 SCHADENSERFASSUNG UND -ANALYSE

In diesem Kapitel werden die vorhandenen Schäden in dem Dachtragwerk erfasst, analysiert und anschließend wird eine Bauzustandsanalyse durchgeführt. Ein methodisches Vorgehen ist für die Schadensbewertung sehr wichtig, nach LIßNER/RUG [3] sind dafür vier Punkte bedeutend. Die Erfassung des Bauzustandes, die Ermittlung der Schadensursache, anschließend die Bewertung und die Festlegung von Maßnahmen. Mithilfe der Schadensanalyse sollen die Ursachen der bestehenden Schäden ermittelt werden, damit diese fachgemäß behoben werden können und weitere Schäden verhindert werden können. Einleitend werden die typischen Schadensschwerpunkte für Dachkonstruktionen, im speziellen bei Holzkonstruktionen, beschrieben.

### 4-5.1 SCHADENSSCHWERPUNKTE

Bei Dachtragwerken treten Schäden besonders häufig in folgenden Bereichen auf (vgl. z.B. [24], [10] [3]):

- Traufbereiche, die Fußpunkte der Dachkonstruktion
- Dachverschneidungen, Ichen, Kehlen
- Dachdurchbrüche (Kamine)
- Firstbereiche
- Balkenköpfe
- Verbindungen
- Aussteifungsbauteile
- Mauerbänke, Schwellen
- Materialwechsel (Mauerwerk zu Holzkonstruktion)

Abbildung 4-62 ist eine Zusammenstellung typischer Schadstellen und deren möglichen Ursachen bei Kehlbalkendächern nach LIßNER/RUG [3]:

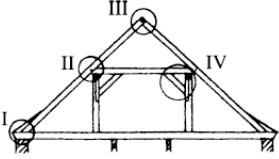
Konstruktionsart	Schadensbild	Mögliche Ursachen
<p>Sparren- und Kehlbalkendach</p> 	<p>I:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fäulnis im Traufbereich, Auflösen der statischen Funktion, wodurch Folgeschäden wie Aufspalten der Mauerwerkskrone oder Abkippen des Traufgesimses bzw. Ausweichen der Außenwände hervorgerufen werden können</li> <li>• Insekten- und Pilzbefall</li> </ul> <p>II:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Knotenverformungen oder Bruch des Kehlbalkens</li> </ul> <p>III:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Firstverformungen, defekter Firstknoten</li> </ul> <p>IV:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende Kopfbänder in Längs- und Querrichtung, große Rähmdurchbiegung infolge fehlender Stiele</li> </ul>	<p>I:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nässeeinwirkung durch undichte Dachhaut und Dachrinnen, Entstehung holzerstörender Pilze</li> <li>• Unzureichende Dachneigung des Aufschieblings</li> </ul> <p>II:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zum Beispiel zerstörte Dachfüße und dadurch hervorgerufene Überbelastung (der Sparren verschiebt sich nach unten und der Kehlbalken bricht über dem Rähm), gelöste und korrodierte Verbindungen</li> </ul> <p>III:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fäulnisschäden am Firstholz</li> </ul> <p>IV:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unfachmännische Entnahme von Bauteilen</li> </ul>

Abbildung 4-62: Typische Schadstellen bei Kehlbalkendächern [3].

Zusammenfassend liegen die meisten Schadensschwerpunkte in Bereichen, wo es „dunkel, eng und dreckig ist.“ [43]. Die häufigste Ursache für Schäden bei historischen Dachtragwerken ist Feuchteeinwirkung und nicht fachgerechte Eingriffe in das Tragwerk, beispielsweise das Entfernen statisch wesentlicher Konstruktionsglieder oder nicht fachgerecht ausgeführte Instandsetzungen.

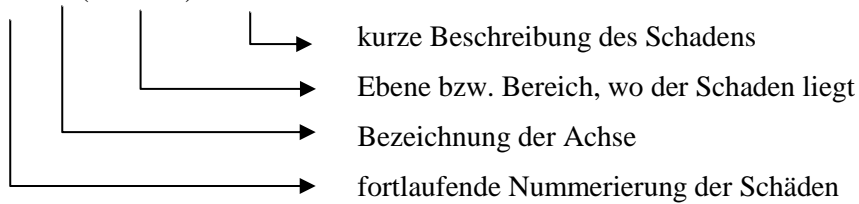
## 4-5.2 SCHADENSERFASSUNG UND-ANALYSE

Nach der Erfassung der Systemabmessungen und der Querschnitte wurde das Tragwerk auf Schadstellen überprüft. Neben der visuellen Prüfung der Einzelbauteile erfolgte auch eine Überprüfung mit Hilfsmitteln wie Widerstandsbohrungen, Hammer und Lotschnur, um verdeckte Schäden und Schiefstellungen zu ermitteln. Es wurden somit für die Überprüfung zerstörungsfreie und -arme Verfahren eingesetzt. Eine Probenentnahme an einem Bundtram erfolgte am Fußpunkt des Ichsengesparres I.2, da dort ein Pilzbefall festgestellt wurde, das Bauteil und die Verstärkungen waren aber bereits zerstört. Die nachfolgende Schadensanalyse bezieht sich nur auf den hölzernen Teil der Konstruktion. Das Mauerwerk wurde überblicksmäßig begutachtet und auf den ersten Blick konnten dort keine schweren Schäden festgestellt werden. Die Deckenkonstruktion ist nicht zugänglich. Es wird vermutet, dass der Großteil der vorhandenen Instandsetzungen aus dem Jahr 1981 stammen, als auch im Erdgeschoss die Lehrwerkstätten gebaut worden sind. Dazu gehören zum einen die Aufdopplung der Sparren durch einseitige und auch zweiseitige Bretter für einen Ausgleich für die Dachdeckung, wobei diese die Zugänglichkeit zu den Bauteilen erschwert. Ebenso konnten einige nicht fachgemäße Instandsetzungen in der Dachkonstruktion festgestellt werden. Die Schadstellen sind nachfolgend dokumentiert.

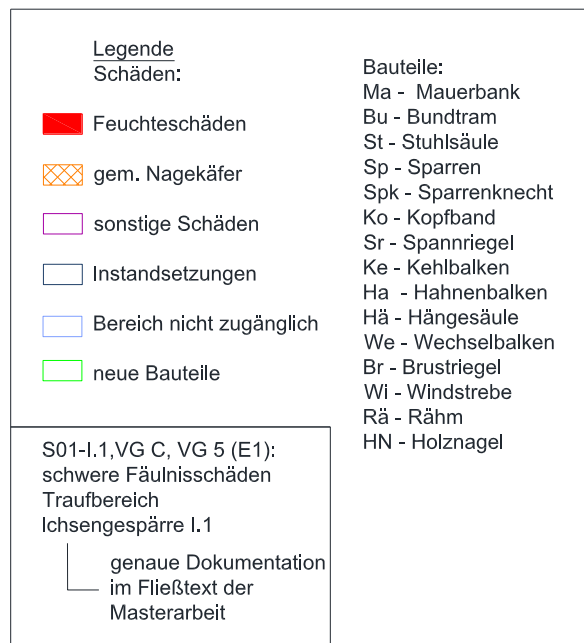
Weitere Schäden können aufgrund von starken Verschmutzungen und der teilweise erschwerten oder mangelhaften Zugänglichkeit nicht ausgeschlossen werden.

In dem Dachwerk wurden zahlreiche Schäden festgestellt. Diese sind in den Grundrissplänen der Ebenen und den Stuhlwänden kartiert. Die größeren Schadbereiche, vor allem bei den Traufbereichen der Ichsengespärre, werden im Folgenden Kapitel genauer dokumentiert. Für die eindeutige Zuordnung sind die Schadstellen nummeriert und entsprechend in der Kartierung beschriftet:

S08-3.2 (E2-First): schwere Fäulnissschäden Hahnenbalken



Die folgenden Pläne der Grundrisse und Stuhlwände zeigen die Lage der vorgefundenen Schäden in der Dachkonstruktion. Aufgrund der zahlreichen festgestellten Schäden wird für jede festgelegte Ebene und die Stuhlwände eine Schadenskartierung erstellt. In Abbildung 4-63 ist die Legende für die Schadenskartierungen ersichtlich.



**Abbildung 4-63: Legende Schadenskartierung**

Anmerkung: Mit sonstigen Schäden werden festgestellte Klaffungen und Verdrehungen in den Verbindungsknoten zusammengefasst. Als Ursache für die meisten Klaffungen werden nicht passgenaue Verbindungen vermutet und keine Überbelastungen der Knoten. Auf die Auswirkungen herstellungsbedingter Klaffungen wird beim Schaden S18 genauer eingegangen. Klaffungen, die nicht mehr herstellungsbedingt erklärbar sind, werden bei dem jeweiligen Schaden beschrieben (z.B. S03, S12).

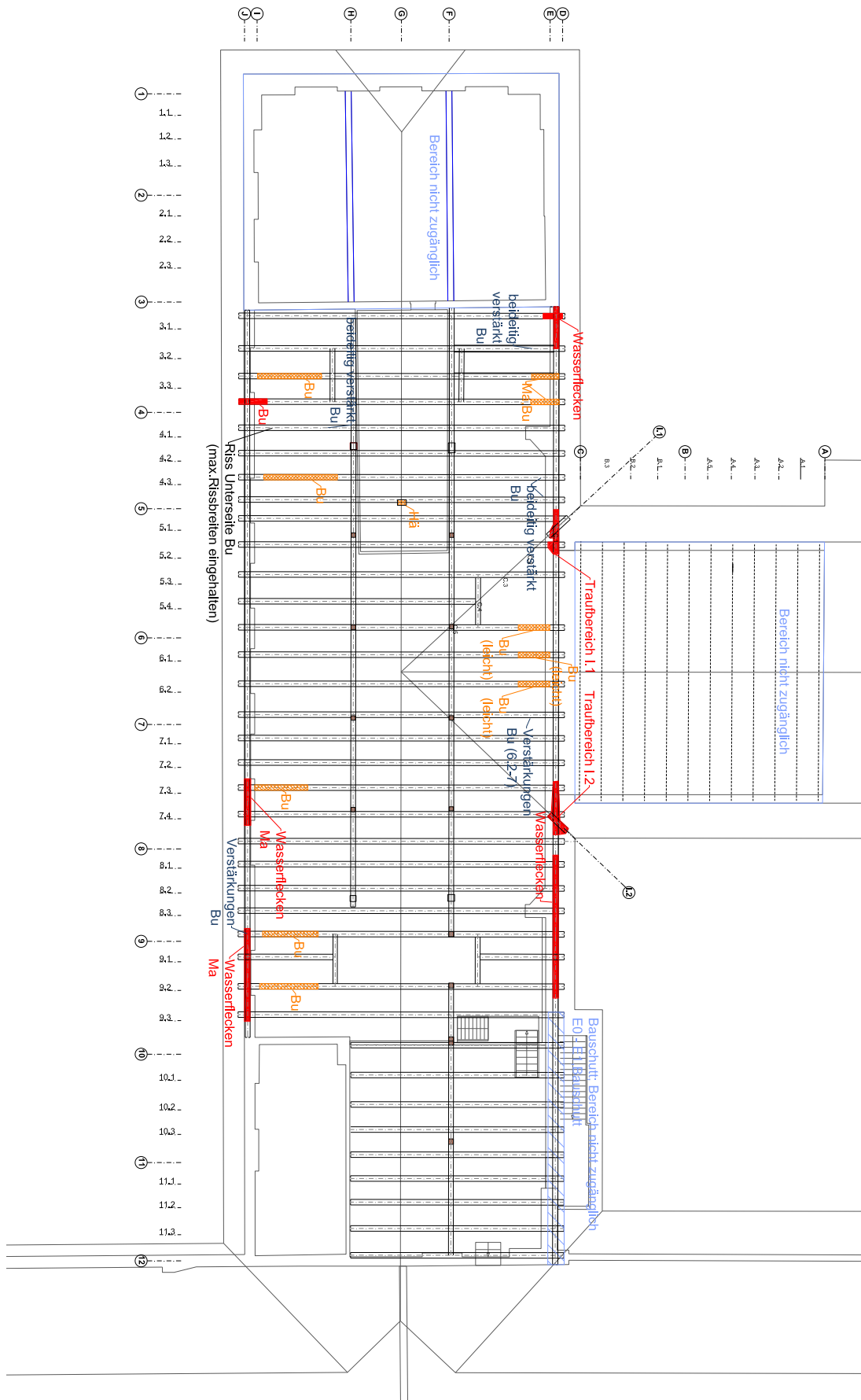


Abbildung 4-64: Schadenskartierung Ebene 0

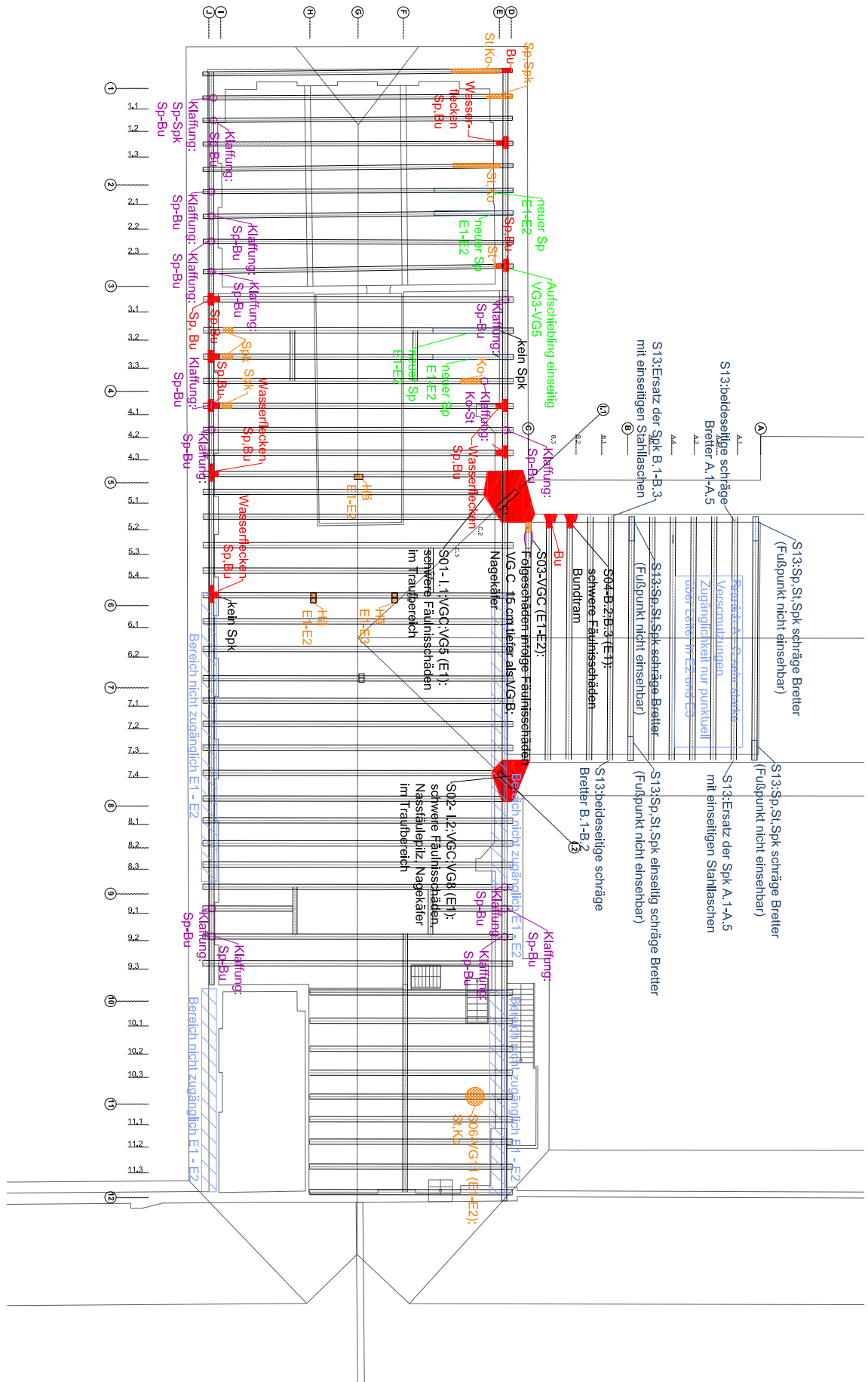


Abbildung 4-65: Schadenskartierung Ebene 1

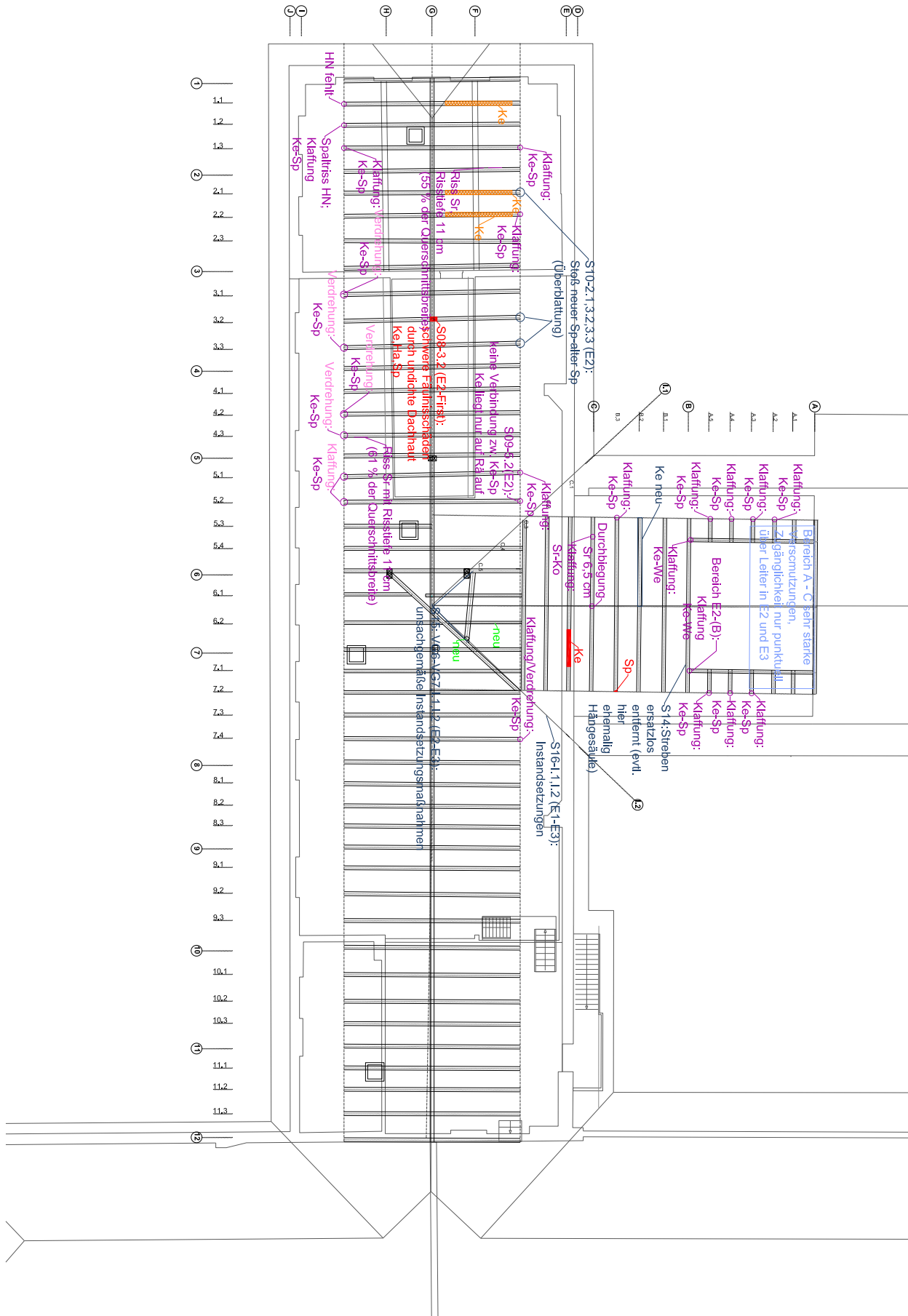


Abbildung 4-66: Schadenskartierung Ebene 2

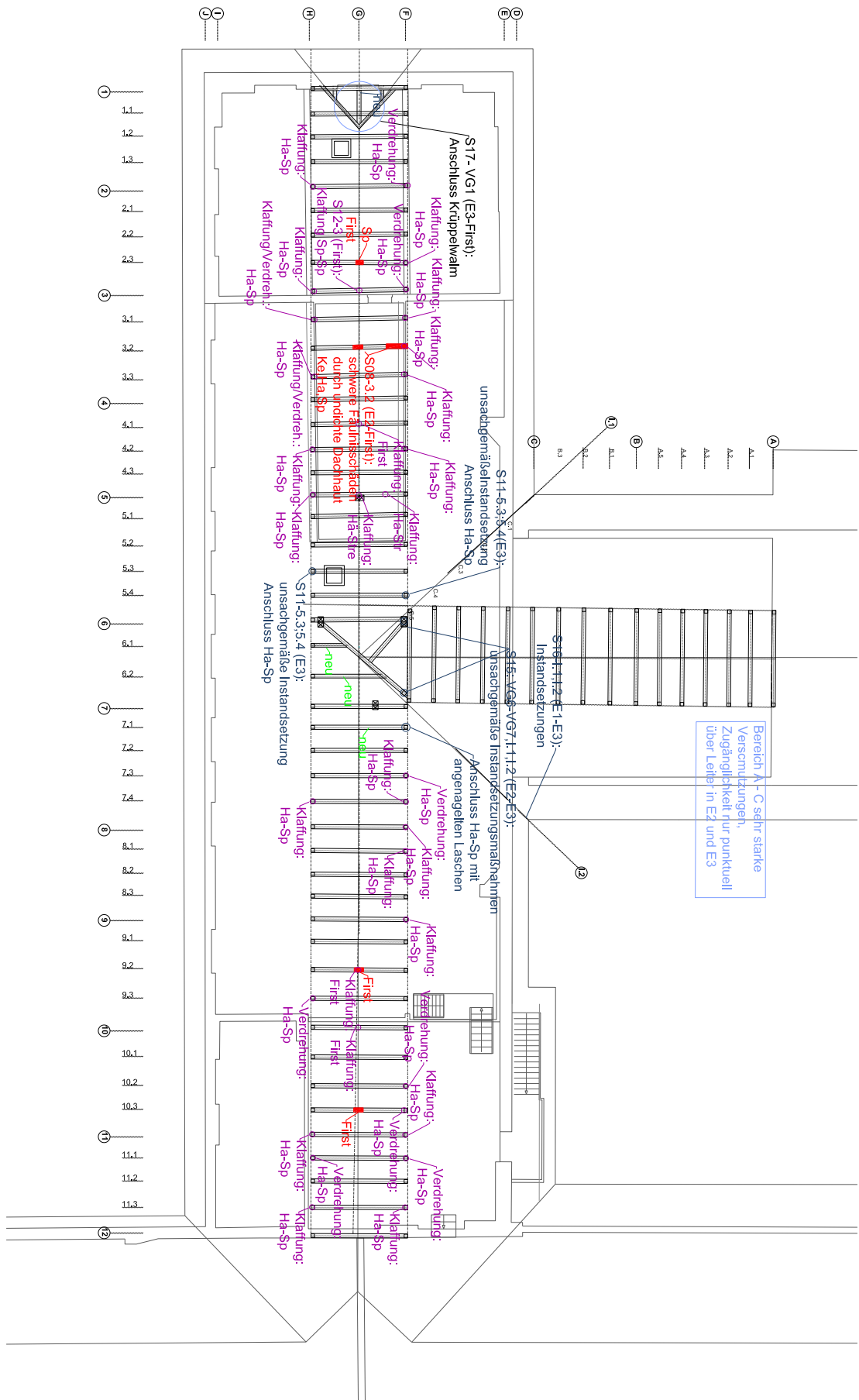


Abbildung 4-67: Schadenskartierung Ebene 3



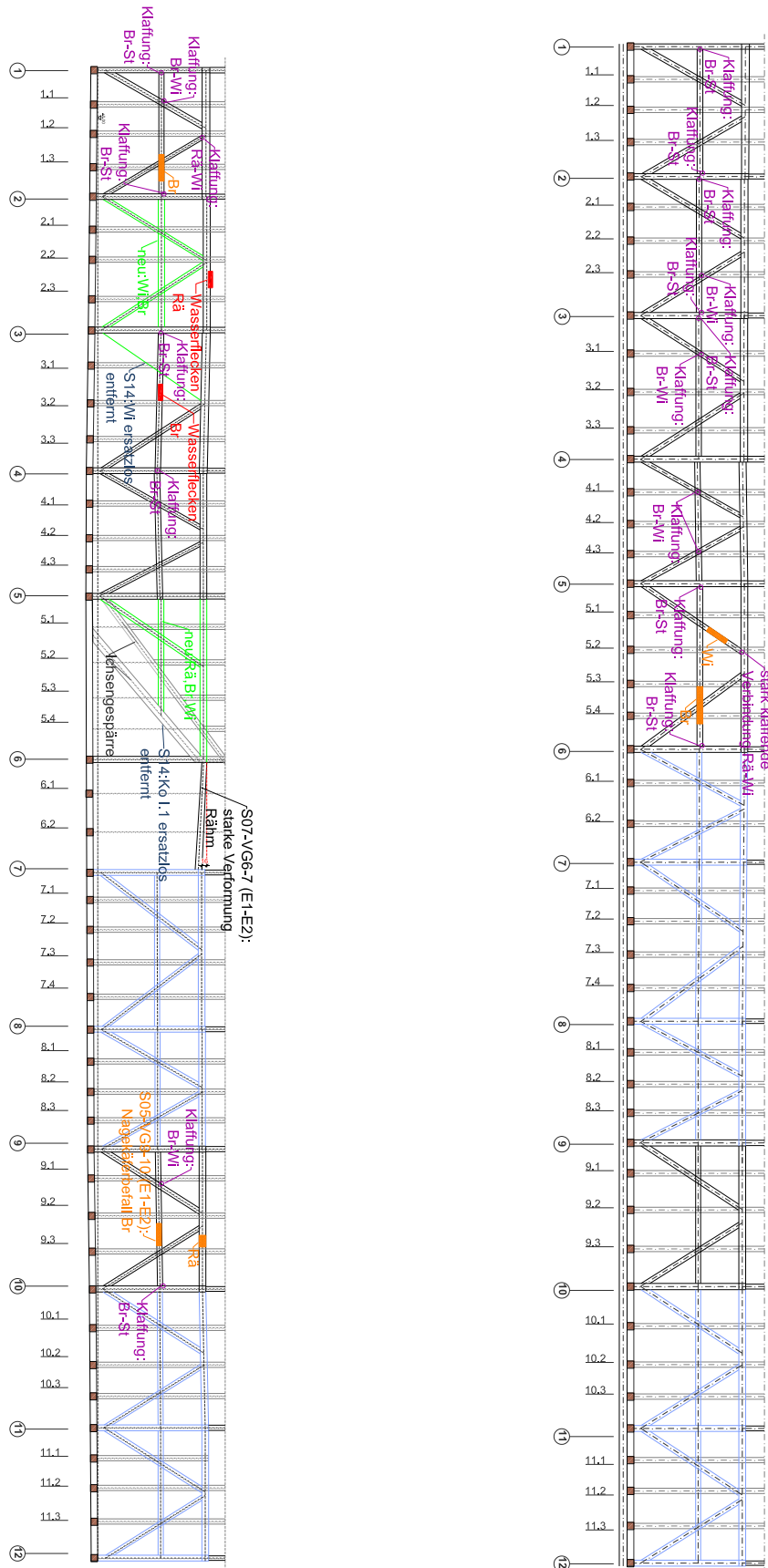


Abbildung 4-68: Schadenskartierung Stuhlwände (links: E-E Nordwest, rechts: I-I Südost)

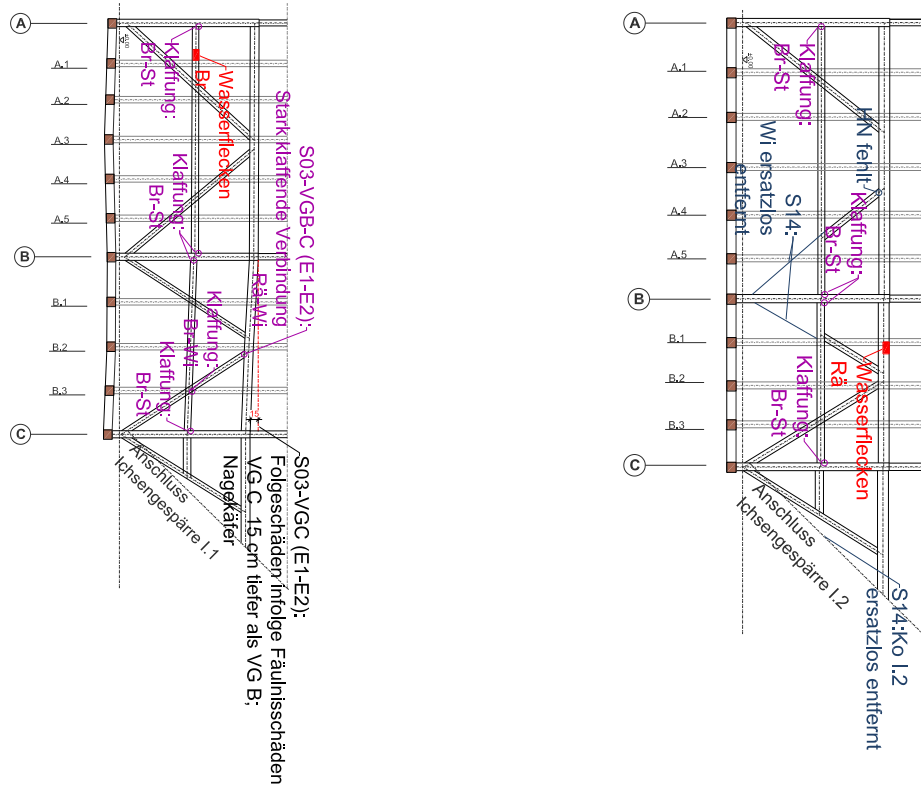


Abbildung 4-69: Schadenskartierung Stuhlwände "Alte Mühle" (links: AC-5.2, rechts: AC-7.2)

### **S01 - I.1; VG C; VG 5 (E1): Schwere Fäulnisschäden im Traufbereich**

Dieser Bereich ist ein typischer Schadensbereich für historische Holzkonstruktionen, dort ist es dreckig, dunkel und feucht. In diesem Bereich ist die Dachverschneidung mit der ehemaligen Mühle im Nordosten. Dieser Schaden liegt im Traufbereich des Ichsengespärres I.1 auf der südwestlichen Seite. Für diesen Bereich wird als Ursache eintretende Feuchte durch eine undichte Dachhaut vermutet. Auf den ersten Blick ist kein Schaden am Fußpunkt von VG C und I.1 erkennbar, siehe Abbildung 4-70 (links). In Abbildung 4-71 ist zu sehen, dass der Sparrenknecht aus dem Zapfenloch des Sparrens „rausgerutscht“ ist. Zudem ist eine schwarze Färbung des Holzes am Sparren erkennbar. Der Sparren hat am Fußpunkt keine kraftschlüssige Verbindung mehr. Der Bundtram des VG C ist in diesem Bereich vollständig zerstört, wie in Abbildung 4-70 (rechts) ersichtlich ist. Infolgedessen hat sich die Stuhlsäule mit Sparrenknecht abgesenkt. Die anschließenden Bauteile Sparren und Stuhlsäule sind am Fußpunkt ebenfalls bereits geschädigt. Der Sparrenknecht ist bei einer Hammerprobe zerbröselnd und die Überreste, inklusive Insektenfraßgänge, sind in Abbildung 4-72 abgebildet. Holzfeuchtemessungen in den intakten Bereichen an Bundtram und Stuhlsäule ergaben 17 % Holzfeuchte. Dies entspricht den anderen Messwerten, die bei intakten Bundträmen durchgeführt worden sind. Die Verschmutzung des rausgerutschten Zapfens des Sparrenknechts lässt darauf schließen, dass dieser Schaden bereits seit einiger Zeit existiert und sich der Dachstuhl nicht mehr in Bewegung befindet. Diese Schadstelle wird als Ursache weiterer gefundener Folgeschäden, vor allem am VG C, vermutet. Dieser Schaden ist besonders kritisch, da nicht nur der Sparrenfußpunkt geschädigt ist, sondern auch der Fußpunkt der Stuhlsäule. Normal bildet die Stuhlsäule als subsidiäres Tragsystem das stabile „Dreieck“. Wenn der Sparrenfußpunkt versagt, aufgrund der Schädigung an der Stuhlsäule, ist das vermutlich auch nur noch begrenzt möglich.



*Abbildung 4-70: Fußpunkt Ichse (links: I.1, rechts: VG C)*



*Abbildung 4-71: Fußpunkt VG C*



*Abbildung 4-72: Überreste Sparrenknecht VG C*

### **S02 - I.2; VG C; VG 8 (E1): Schwere Fäulnisschäden im Traufbereich**

Auch diese Schadstelle liegt im Traufbereich der Dachverschneidung, und zwar am Fußpunkt des anderen Ichsengespärres I.2. Der Sparren von VG C und der Ichsensparren haben dabei keine Verbindung mehr zum Bundtram, sondern liegen auf einem querliegenden Balken, wie in Abbildung 4-73 zu erkennen ist, auf. Ebenfalls ist festzustellen, dass die Mineralwolle der Deckenkonstruktion an der Oberfläche schwarz gefärbt ist. Der Bundtram des Ichsengespärres ist bereits vollständig zerstört. In Abbildung 4-74 ist der geschädigte Bereich abgebildet, man kann an den Wasserflecken erkennen, dass hier Wasser eingedrungen ist und die darüberliegenden Bauteile ebenfalls bereits Fäulnisschäden aufweisen. An diesem Bundtram wird auch ein Pilzbefall festgestellt und eine Probe für die Pilzbestimmung an die Holzforschung Austria gesandt. Der Pilzbefall bzw. die Weißfäule (Sammelbegriff für einen Pilzbefall, welcher das Lignin abbaut) sind in Abbildung 4-75 gut erkennbar. An dieser Stelle wurde auch die Probe entnommen. Es konnte Weißfäule als auch Fraßgänge einer holzerstörenden Insektenart festgestellt werden. Die verursachende Pilzart konnte aufgrund des fehlenden Myzel leider nicht bestimmt werden, das Gutachten befindet sich mit weiteren Fotos im Anhang C. Als Ursache wird eine undichte Dachhaut vermutet. Der Schaden war wohl bereits vor der Neueindeckung 1981 vorhanden, da an dem Bundtram seitliche Laschen zur Verstärkung angebracht worden sind. Aufgrund der durchgeführten Holzfeuchtemessungen, dem Pilzbefall auf jenen Holzlaschen und den Wasserflecken an anderen neu hinzugefügten Bauteilen wird vermutet, dass der Feuchteintritt in diesem Bereich noch immer stattfindet. Die Messung am Bundtram ergab eine Holzfeuchte von mehr als 30 % (HF 1, Abbildung 4-74), also jenseits des Fasersättigungsbereiches. Eine weitere Messung am anschließenden Sparren des Vollgespärres C ergab eine Holzfeuchte von 24,2 % (HF 2, Abbildung 4-74). Ebenfalls ist dieser Bereich sehr stark verschmutzt und war bis zur Bestandsaufnahme mit Bauschutt zugestellt. Von der anderen Seite ist der Fußpunkt nicht einsehbar. Da ein weiterer Feuchteintritt nicht auszuschließen ist, sollte das darunter liegende Mauerwerk auf Durchfeuchtung überprüft werden.



*Abbildung 4-73: Fußpunkt I.2, VG C, VG 5*



*Abbildung 4-74: Fäulnisschäden I.2, VG C, VG 8*



*Abbildung 4-75: Pilzbefall am Bundtram*

### **S03 - VG C (E1-E2): Schäden infolge der Absenkung der Stuhlsäule**

An dem Vollgespärre C und der anschließenden Stuhlwand im Bereich B - C wurden neben den Schäden am Fußpunkt (vgl. S. 87) noch weitere schadhafte Bereiche festgestellt. Es liegt der Verdacht nahe, dass die Absenkung der Stuhlsäule eine Ursache hierfür sein könnte. Abbildung 4-76 zeigt das Vollgespärre C mit der Stuhlwand und den darauf markierten Schäden. Bei diesem Bereich handelt es sich um die ehemalige Futtermühle. Als Folge ist eine dicke Schicht Mehlstaub auf den meisten Bauteilen zu finden. Aus der Schadenskartierung in Kapitel 4-5 ist zu erkennen, dass sich das Vollgespärre C insgesamt um 16 cm (am Rähm gemessen), im Vergleich zum Vollgespärre B, abgesenkt hat. In der Stuhlsäule kam es zur starken Rissbildung, siehe Abbildung 4-76. Diese Rissbildung könnte infolge der Absenkung der des Vollgespärres C entstanden sein oder auf Quell- und Schwindvorgänge zurückzuführen sein. Der Riss ist nahezu durchgängig von Rähm bis zum Anschluss des Kopfbandes. Mit einer Risstiefe von bis zu 11 cm bei einer Bauteilbreite von 17,5 cm wird der Grenzwert von  $0,6 \times t$  zwar nicht mehr eingehalten. Da es sich bei der Stuhlsäule allerdings vor allem um ein normalkraftbeanspruchtes Bauteil handelt, stellt dieser Riss keine erhebliche Tragfähigkeitsminderung dar.

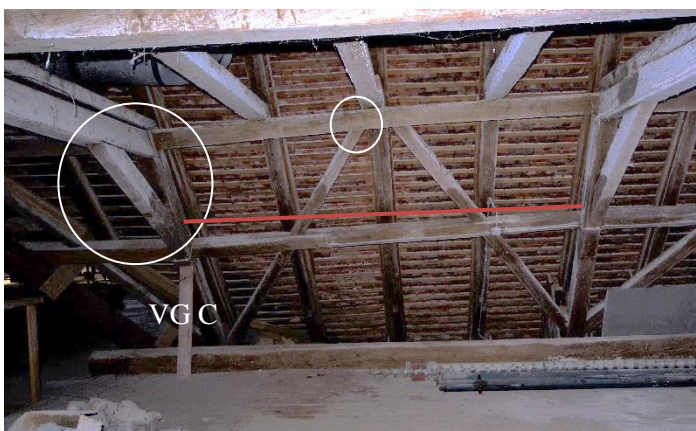


Abbildung 4-76: VG C mit Stuhlwand

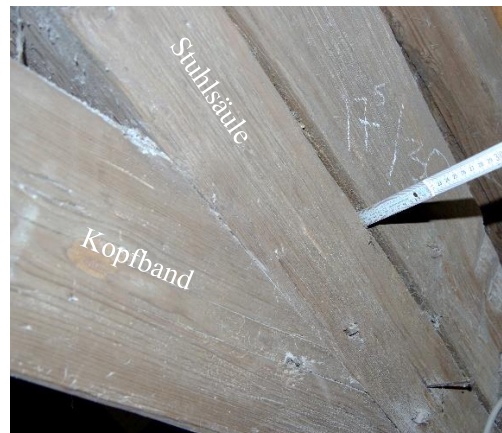


Abbildung 4-77: Riss Stuhlsäule

Des Weiteren kommt es in diesem Bereich, zum einen beim Anschluss des Kopfbands an den Spannriegel und zum anderen beim Anschluss zwischen Windstrebe und Rähm, zu klaffenden Verbindungen. Diese Klaffungen sind in Abbildung 4-78 gut zu erkennen. Die Windstrebe ist hier um 3,5 cm aus dem Rähm herausgezogen und der Holznagel bereits gebrochen.

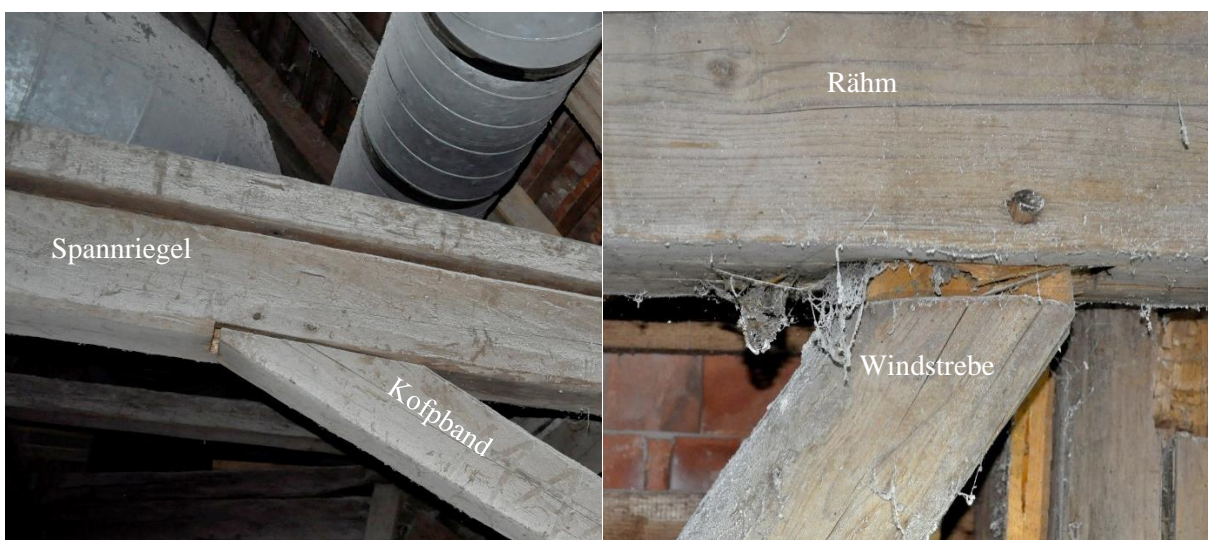
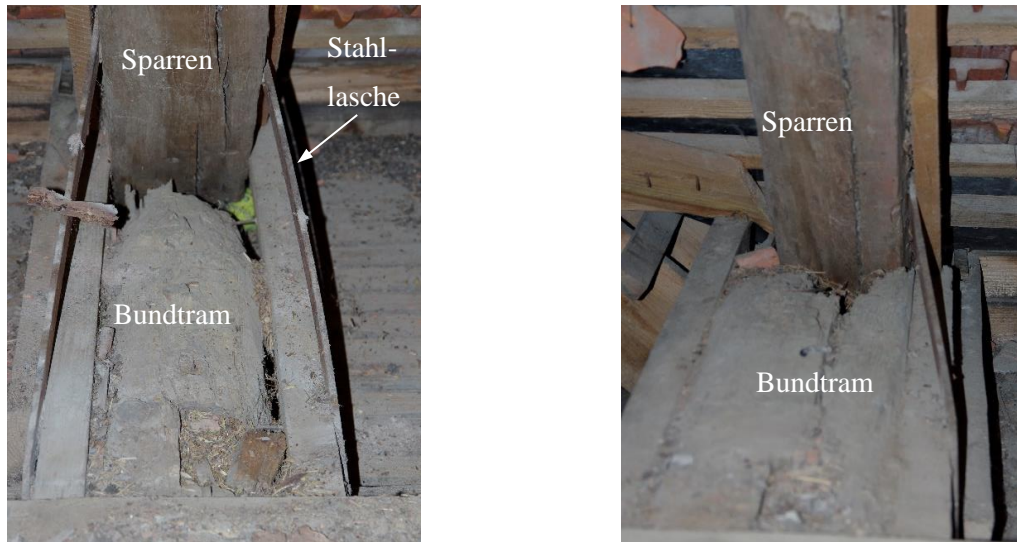


Abbildung 4-78: Klaffende Verbindungen (links: Anschluss Kopfband-Spannriegel, rechts: Windstrebe-Rähm)

### **S04 - B.2, B.3 (E1): Schwere Fäulnisschäden am Bundtram**

An beiden Fußpunkten der Leergespärre ist der Bundtram teilweise (B.3) bzw. vollständig (B.2) zerstört und somit auch die Auflager für die Sparren. Bereits vorhandene fragwürdige Instandsetzungsmaßnahmen lassen darauf schließen, dass es sich dabei nicht um neue Schäden handelt. So wurden als Ersatz für die fehlenden Sparrenaufleger seitlich Laschen angenagelt. Ebenfalls sind die Sparrenknechte nicht mehr vorhanden. Die Sparrenknechte sind mit Stahllaschen ersetzt worden; bei B.2 beidseitig und bei B.3 nur einseitig.



*Abbildung 4-79: Fußpunkte der Leergespärre B.2 (links) und B.3 (rechts)*

### **S05 - Stuhlwand VG 9-10(E1-E2): Nagekäferbefall Brustriegel**

In einigen Bereichen des Dachstuhls wurde ein vermutlich abgeklungener Befall des allgemeinen Nagekäfers festgestellt. An dem Brustriegel der Stuhlwand im Nordwesten zwischen Vollgespärre 9 und 10, siehe Abbildung 4-80, wird aber neben den Fraßgängen am Bauteil noch zusätzlich Bohrmehl am Boden gefunden. Eine Nahaufnahme von der Schadstelle zeigt Abbildung 4-81.

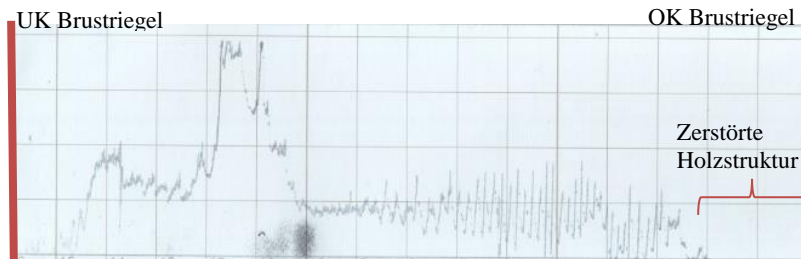


**Abbildung 4-80: Stuhlwand VG 9-VG 10**



**Abbildung 4-81: Nahaufnahme  
Schadstelle**

An dieser Stelle wurde von oben nach unten eine Bohrwiderstandsmessung durchgeführt. Das Messergebnis in Abbildung 4-82. zeigt, dass der Brustriegel bis zu einer Tiefe von 2,5 cm zerstört ist. Das entspricht einer Minderung der tragfähigen Querschnittsfläche um rund 16 % und ist somit als ein oberflächlicher Schaden einzuordnen. Ist der Befall inaktiv, wird die Tragfähigkeit des Dachtragwerkes vermutlich nicht beeinträchtigt.



**Abbildung 4-82: Bohrwiderstandsmessung**

### **S06 -VG 11 (E1): Nagekäferbefall an Stuhlsäule und Kopfband**

Am Vollgespärre 11 auf nordwestlicher Seite wurde an der Stuhlsäule und am Kopfband ein Befall durch den Nagekäfer festgestellt. Ob ein größerer Bereich betroffen ist, war aufgrund der angebrachten Schalung nicht feststellbar. Hier handelt es sich um den zweiten Bereich (vgl. S. 90), bei dem neben den Fraßgängen auch Bohrmehl gefunden wurde. Das am Boden liegende Bohrmehl hatte verschiedene Farbtöne. Zum einen bereits dunkles (lässt darauf schließen, dass es älter ist), aber auch sehr helles, wie in Abbildung 4-83 zu erkennen ist. An dieser Stelle ist zu prüfen, ob es sich um einen aktiven Befall handelt. Ist dies nicht der Fall, handelt es sich auch hier nur um einen oberflächlichen Schaden. Für die Bauzustandsanalyse (Kapitel 4-5.3) wird angenommen, dass der Befall inaktiv ist.



*Abbildung 4-83: Nagekäferbefall am VG 11, rechts: Bohrmehl*

### **S07 - VG 6, VG 7 (E2): Starke Verformung des Rähms**

Der Rähm zwischen Vollgespärre 6 und 7 hat sich auf nordwestlicher Seite sehr stark verformt, wie in Abbildung 4-84 zu sehen ist. Die vertikale Verformung beträgt dabei 16 cm und horizontal ist ebenfalls eine Verformung festgestellt worden. Diese Verformung mit den Details aus den Anschlussknoten (vgl. S. 97) lässt darauf schließen, dass hier vor der Instandsetzung von 1981 vermutlich eine Systemverformung vorlag. Die Ursache hierfür lässt sich zwar nicht mehr genau ermitteln. Aber der Verdacht liegt nahe, dass es im Traufbereich der Ichen schon früher zu Feuchteschäden an den Fußpunkten gekommen ist.



*Abbildung 4-84: Verformung Rähm*



### **S08 - 3.2 (E2-First): Fäulnisschäden**

Beim Leergespärre 3.2 ist im Firstbereich ein Blitzableiter am Dach angebracht. In diesem Bereich ist die Dachhaut undicht und infolgedessen kam es zu Feuchteschäden. Der First mit dem Blitzableiter ist in Abbildung 4-85 zu sehen. Nicht nur die Sparren im Firstbereich sind davon betroffen, sondern auch die darunterliegenden Bauteile, wie der Hahnenbalken und der Kehlbalken. Wobei der Kehlbalken nur sehr oberflächlich betroffen ist.

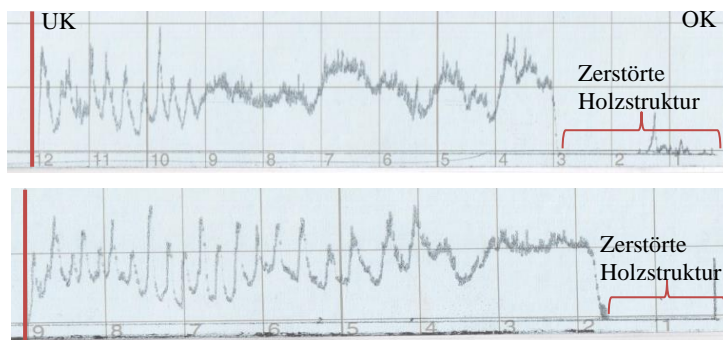


*Abbildung 4-85: First LG 3.2 mit Blitzableiter*



*Abbildung 4-86: Hahnenbalken LG 3.2*

Am betroffenen Hahnenbalken sind zwei Bohrwiderstandsmessungen durchgeführt worden, um den Restquerschnitt des Bauteils zu ermitteln. Diese Messungen sind in Abbildung 4-87 dargestellt. Der Restquerschnitt beträgt rund 47 % der Originalbauteils. Dieser Schaden ist örtlich begrenzt und dürfte somit kaum Auswirkungen auf das Gesamttragssystem haben. Weiterer Feuchteintritt sollte verhindert und der Hahnenbalken ausgetauscht werden.



*Abbildung 4-87: Bohrwiderstandsmessung (oben: vertikal, unten: horizontal gebohrt)*

### **S09-5.2 (E2): Keine Verbindung von Kehlbalken und Sparren**

Die Stuhlwand zwischen Vollgespärre 5 und dem Schnittpunkt mit dem Ichsengespärre wurde vollständig, inklusive des Rähms, durch neue Bauteile ersetzt. Wie in Abbildung 4-88 zu erkennen ist, liegt der Kehlbalken ohne jede Verbindung einfach nur auf dem Rähm auf. Weder ist eine Verkämmung mit dem Rähm vorhanden, noch wurde die ehemalige Verbindung zwischen Kehlbalken und Sparren mittels Zapfen wiederhergestellt.



*Abbildung 4-88: fehlende Verbindung Kehlbalken mit Rähm, Sparren*

### **S10 - 2.1,3.2,3.3 (E2): Instandsetzung Bauteilfügung Neue – Alte Sparren**

Die Sparren der Leergespärre 2.1, 3.2 und 3.3 wurden in der Ebene 1 erneuert. Auf Höhe des Rähms, siehe Abbildung 4-89, ist der Fügepunkt zwischen neuem Bauteil und altem Bauteil. Diese Bauteilfügung wurde ohne zusätzliche Verbindungsmittel mit einem geraden Blatt ausgeführt. Einzig die einseitig seitlich angenagelte Lasche, zum Höhenausgleich der Dachlatten, ist an dieser Stelle vorhanden. Ein gerades Blatt kann keine Biegemomente übertragen, demnach ist das für ein biegebeanspruchtes Bauteil, wie einem Sparren, keine geeignete Verbindung für die Fügung von Bauteilen.



*Abbildung 4-89: Bauteilfügung Sparren LG 3.2*

### **S11 - 5.3,5.4, 7.1 (E3): Instandsetzung Hahnenbalken**

In der Ebene 3 der Leergespärre 5.3 und 5.4 wurde eine fragwürdige Instandsetzung eines Hahnenbalkens aufgefunden. Der Sparren von Leergespärre 5.4 wurde auf der nordwestlichen Seite erneuert und die Verbindung nur mittels seitlich angenagelter Bretter hergestellt. Das Nagelbild lässt kein übliches Muster erkennen. Abbildung 4-90 zeigt diese Instandsetzung. Ebenso ist die starke Verschmutzung (inklusive Mäusekot) gut erkennbar. Bei dem Hahnenbalken von Gespärre 5.3 wurde eine ähnliche Instandsetzung durchgeführt, hier ist aber der Sparren noch ein Originalbauteil und wie auf dem Foto (Abbildung 4-91) erkennbar in diesem Bereich ebenfalls geschädigt. Aufgrund darunter liegender Rohre war dieser Knotenpunkt nicht zugänglich und der Schaden konnte nicht genauer betrachtet werden.



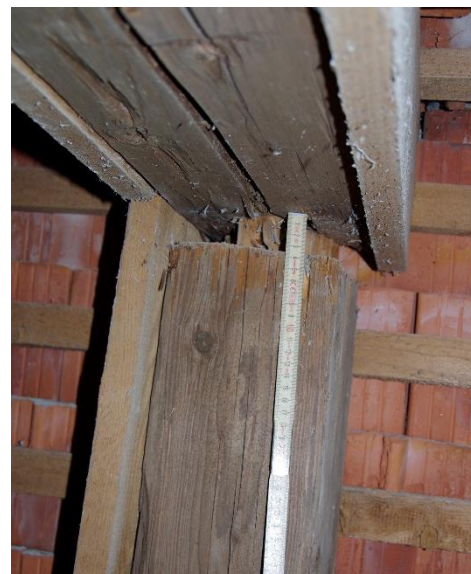
**Abbildung 4-90: Instandsetzung Hahnenbalken 5.4**  
(Ansicht: von oben)



**Abbildung 4-91: Hahnenbalken 5.3**  
(Ansicht: von unten)

### **S12 - VG 3 (First): Klaffende Verbindung Sparren – Sparren**

Die Verbindung der Sparren am Firstpunkt ist ein Scherzapfen mit einem Holznagel zur Lagesicherung. Diese Verbindungen weist an mehreren Firstpunkten nennenswerte Klaffungen auf. Diese kann man der Schadenskartierung Kapitel 4-5 entnehmen. Am Firstpunkt des Vollgespärres 3 ist eine Klaffung von 4 cm vorhanden. Des Weiteren weist der Sparren im Bereich des Zapfenloches einen Riss auf. Die klaffende Verbindung ist in Abbildung 4-92 dargestellt. Eine direkte Ursache kann dieser klaffenden Verbindung nicht zugeordnet werden, da aber die 1981 hinzugefügten Laschen keine Klaffung aufweisen, besteht dieser Schaden vermutlich schon länger.



**Abbildung 4-92: klaffende Verbindung**  
**Firstpunkt VG 3**

### **S13 (E1): Instandsetzungen an Fußpunkten bei A – C**

Im Bereich der ehemaligen Mühle, der Achsen A bis C, wurden nahezu alle Fußpunkte bereits instandgesetzt. Die Sparrenknechte an Leergespärren sind allesamt entfernt worden; die Ursache hierfür ist nicht bekannt. Der Ersatz erfolgt mit Stahllaschen, die entweder beidseitig oder auch nur einseitig angebracht worden sind (vgl. S. 89). Zum Teil wurde auch beidseitig eine schräge Verbretterung angebracht. Diese Art von Instandsetzung wird nicht empfohlen, denn dadurch ist der Fußpunkt nur noch eingeschränkt oder nicht mehr zugänglich. Die Belüftung der Bauteile wird



*Abbildung 4-93: Instandsetzungen Fußpunkte*

verschlechtert und die Nachgiebigkeit ist höher als bei der ehemaligen Konstruktion (vgl. [43], [4]). In Abbildung 4-93 sind die Instandsetzungen auf der nordöstlichen Seite der Achsen Vollgespärre A bis Vollgespärre B zu sehen. Die Stahllaschen und die schräge Verbretterungen sind zu erkennen. Ebenso fehlt eine Windstrebe in der Stuhlwand. Für eine Instandsetzung sollten die Stahllaschen und die schräge Verbretterung wieder entfernt und durch neue Sparrenknechte ersetzt werden. Falls notwendig, sind die Fußpunkte der Sparren und Bundtrame ebenfalls zu erneuern.

### **S14 - Ersatzlos entfernte Bauteile**

In der Dachkonstruktion wurden einige Bauteile ersatzlos entfernt:

- Windstreben in Stuhlwänden A-C (NO), 3-3 (NW)
- Kopfbänder der Ichsengespärre, Zapfenlöcher noch sichtbar
- bei Vollgespärre B wird vermutet, dass ehemals eine Hängesäule mit Streben (wie bei VG 5) vorhanden war; es sind Auskerbungen für einen Stirnversatz im Kehlbalken vorhanden

Abbildung 4-94 zeigt ersatzlos entfernte Bauteile in der Tragstruktur, wie das Kopfband des Ichsengespärres (rechts) oder eine Windstrebe bei Vollgespärre 4 (links). Die Kombination aus fehlender Windstrebe und der Instandsetzung dürfte auch eine Ursache für die festgestellten Verformungen in diesem Bereich sein.



*Abbildung 4-94: links: fehlendes Kopfband I.1, rechts: fehlende Windstrebe*

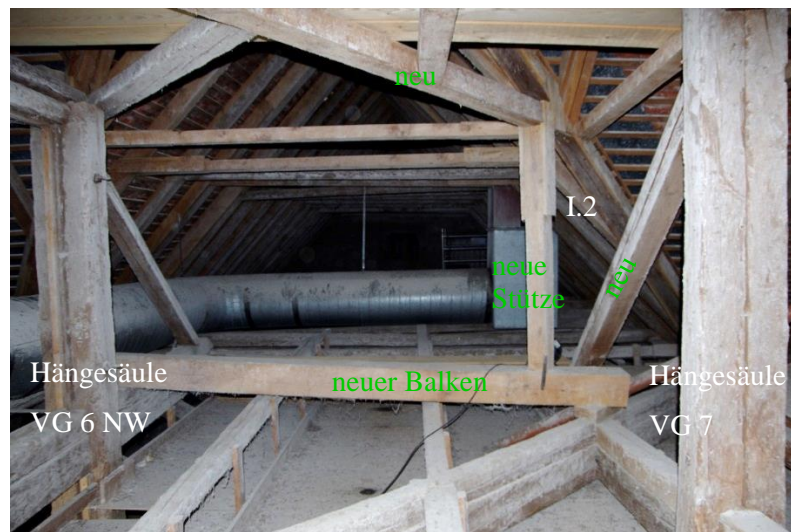
Bei Vollgespärre B wird vermutet, dass dort ehemals eine abgestrebte Hängesäule vorhanden war, ähnlich wie im Vollgespärre 5, zu erkennen an den beidseitig vorhandenen Kerben im Kehlbalken, siehe Abbildung 4-95. Die Ursache für das sehr große Zapfenloch des Stichbalkens ist nicht erkennbar.



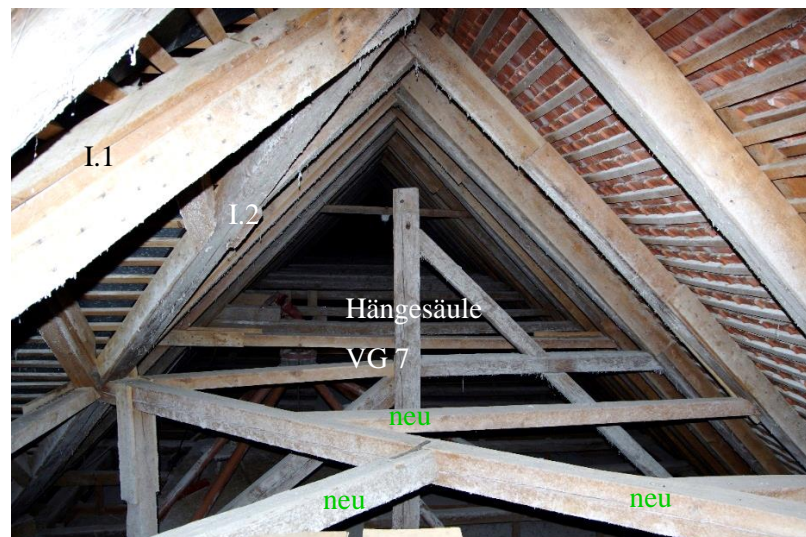
*Abbildung 4-95: ersatzlos entfernte Strebe einer Hängesäule?*

### **S15 - Dachverschneidung: Ichsengespärre, VG 5 – VG 7**

Im Bereich des Anbaus der ehemaligen Mühle auf nordwestlicher Seite wurden zahlreiche Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt. Es wird ebenfalls vermutet, dass in diesen Bereichen die historische Konstruktion verändert wurde. Leider ist nicht mehr nachvollziehbar, wie die originale Konstruktion ausgeführt worden ist. Abbildung 4-96 und Abbildung 4-97 geben einen Überblick über die Konstruktion in diesem Bereich mit einer Kennzeichnung der neuen Bauteile. Wie man erkennen kann, sind sehr viele neue Bauteile in diesem Bereich eingebaut worden, wie zum Beispiel die Stütze mit dem darunterliegenden Balken. Dieser Balken liegt jedoch ohne weitere Verbindung einfach nur auf dem Kehlbalken von VG 6 und VG 7 auf. Nachdem dieser Dachstuhl im Allgemeinen sehr gut durchdacht ist, liegt die Vermutung durchaus nahe, dass diese neuen Bauteile nicht der originalen Konstruktion entsprechen.



*Abbildung 4-96: Kehlbalkenebene (E2), Blickrichtung Nordwesten*



*Abbildung 4-97: Hahnenbalkenebene (E3), Blickrichtung Nordosten*

Ebenfalls die Anschlussbereiche an die Ichsengespärre dürften der historischen Konstruktion nicht mehr entsprechen. Die Anschlussknoten mit den durchgeführten, meist nicht fachgerechten, Instandsetzungen sind in den folgenden Fotos abgebildet. Zunächst in der Kehlbalkenebene (Ebene 2), wobei hier der Anschlussknoten Ichsengespärre I.1 aufgrund von Haustechnik nicht zugänglich ist. Abbildung 4-98 zeigt den Anschlussbereich des Ichsengespärre I.2. Auf dem linken Foto lässt sich die Verformung des Rähms erkennen. Zum Höhenausgleich wurde ein kurzer Holzbalken unter den Ichsensparren gelegt. An dieser Stelle ist auch ein Fügepunkt im Ichsensparren von neu zu alt, welcher im Detail nicht einsehbar ist. Auf dem mittigen Bild ist der Zapfen vom Kehlbalken (des Ichsengespärres) erkennbar,

der keine Verbindung mehr zum Ichsensparren hat. Bei der Ansicht von unten ist ein weiteres „eingeklemmtes“ Holzstück zu sehen; dieses sorgt ebenfalls als Ausgleich für den in horizontaler und vertikaler Richtung verformten Rähm (vgl. S. 91). An dieser Stelle wurde auch das Rähm, kommend von Vollgespärre A, abgeschnitten. Scheinbar ist an diesem Punkt ehemals auch der Schnittpunkt für die Rähme gewesen.



**Abbildung 4-98: Anschlussknoten I.2 (links: Ansicht vorne, Mitte: Ansicht hinten, rechts: Ansicht unten)**

Als nächstes werden die Anschlussknoten in der Ebene der Hahnenbalken (Ebene 3) dokumentiert. Auf der linken Seite in Abbildung 4-99 ist der Anschluss an den Ichsensparren von I.1 zu sehen. Der Ichsensparren ist ein neues Bauteil. Auch hier wurde anstatt der ursprünglichen Fügung mit den alten Bauteilen wieder herzustellen einfach nur ein Holzstück „eingeklemmt“ und der Ichsensparren mithilfe einer neuen Stütze auf den Kehlbalcken des Ichsengespärrs aufgestellt. Auf der rechten Seite ist der Anschluss an den Ichsensparren von I.2 zu sehen. Bei dem Ichsensparren handelt es sich um ein originales Bauteil; das neue anschließende Bauteil wurde passgenau mit einem Zapfen wieder eingefügt (die vorne zu sehende Stütze ist dieselbe wie in Abbildung 4-96).

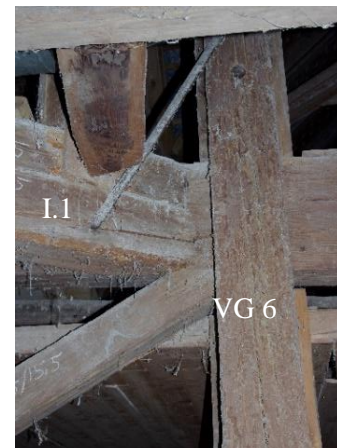


**Abbildung 4-99: Anschlussknoten E 3 (links: I.1, rechts: I.2)**

Für diese Bereiche sollten die kraftschlüssigen Verbindungen der ehemaligen Konstruktion wiederhergestellt werden. Sämtliches „Flickwerk“ sollte entfernt bzw. genau durchdacht werden.

### **S16 - Ichsengespärre I.1 und I.2**

Wie im Bereich der Dachverschneidung sind auch an den Ichsengespärren deutlich die vorangegangenen Instandsetzungen zu erkennen. In der Abbildung 4-100 ist das Ichsengespärre I.1 abgebildet mit dem Anschluss an das Vollgespärre 6 über eine Zapfenverbindung. An den Ichsengespärren I.1 und I.2 wurden einige Verstärkungen angebracht und Bauteile verändert und hinzugefügt. Es wird vermutet, dass die Ichsengespärre ursprünglich einen ähnlichen Aufbau wie die Vollgespärre hatten. Ein halbes Gespärre mit liegendem Stuhl; bestehend aus einem Ichsensparren, einer Stuhlsäule, einem Spannriegel, einem Kehlbalken und einem Kopfband. Die Kopfbänder wurden an beiden Ichsengespärren entfernt, dies ist an den vorhandenen Zapfenlöchern erkennbar. Die seitlichen Verstärkungen aus Laschen sind in den Plänen gekennzeichnet. Die Beschreibung der Anschlusspunkte ist im vorherigen Teil bereits genauer beschrieben worden. Ebenfalls sind die durchgeführten Instandsetzungsmaßnahmen in den Abbildungen erkennbar.



**Abbildung 4-100: Ichsengespärre I.1, oben links: Fußpunkt, oben rechts: Anschluss VG 6  
unten links: Ebene 2 (hinten), unten rechts: Ebene 2 (vorne)**



### **S17 - Bereich Krüppelwalm**

Der Krüppelwalm befindet sich beim Vollgespärre 1 und hat den Firstpunkt bei Leergespärre 1.2, der Beginn ist auf der Hahnenbalkenebene. In diesem Sinnen handelt es sich hier nicht um einen schadhaften Bereich. Die Gratsparren sind am Firstpunkt stumpf gestoßen und nur vereinzelt mit Nägeln verbunden, die Verbindung der Bauteile ist hier nicht passgenau erfolgt.



*Abbildung 4-101: Krüppelwalm VG 1-1.2*

### **S18 - Bereich Fußpunkte zwischen Vollgespärre 4 und 5**

Zwischen Vollgespärre 4 und 5 wurden aus nicht ersichtlichen Gründen die Balkenköpfe der Bundtrame abgeschnitten. Durch die nicht ausreichende Vorholzlänge ist vermutlich die Tragfähigkeit dieses Knotens beeinträchtigt. Es besteht die Möglichkeit, dass die Verbindung versagt und sich der Sparren nach außen verschieben kann.



**Abbildung 4-102: Fußpunkte zwischen VG 4 und VG 5 (NW)**

### **S19 - Klaffungen**

Vor allem bei den Anschlüssen Kehlbalken – Sparren (Ebene 2) und Hahnenbalken – Sparren (Ebene 3) sind zahlreiche Klaffungen bei den Zapfenverbindungen festgestellt worden. Bei den Klaffungen zwischen Bundtram und Sparren (Sp-Bu) handelt es sich großteils um übergroße Zapfenlöcher. Diese Klaffungen können verschiedene Ursachen haben; das Schwinden des Holzes (Einbau erfolgte „nass“ oder „halbtrocken“), nicht passgenaue Ausführungen oder montagetechnische Gründe sind mögliche Ursachen für klaffende Verbindungen (vgl. [12]). Aus statischer Sicht gesehen trägt bei einer klaffenden Verbindung zunächst nur der Holznagel die Last ab, die Wirkung entspricht nahezu einem gelenkigen Anschluss. Mit zunehmender Belastung schließen sich die Klaffungen und über die Kontaktfläche können nun Druck- und Querkräfte, und je nach Ausbildung auch Momente (Blattverbindung) und geringe Torsionsmomente (Zapfen) übertragen werden. Bei einem geschlossenen Dreieck (Sparrendreieck) haben diese Effekte jedoch keine Konsequenzen (vgl. [59]). Abbildung 4-103 zeigt Beispiele für erfasste Klaffungen in Verbindungen im Dachtragwerk.



*Abbildung 4-103: Beispiele für Klaffungen in Verbindungen  
links: Sparren-Bundtram, rechts: Hahnenbalken - Sparren*

## 4-5.3 BAUZUSTANDSANALYSE

Für die folgende Bauzustandsanalyse wird das in Kapitel 3-4 vorgestellte „Punktevergabesystem“ mit einer abschließender „Benotung“ des Dachtragwerkes von MEISEL (vgl. [6]) verwendet. Das Punktevergabesystem besteht aus den drei Hauptkriterien Schadensfolgeklasse, Tragsicherheit und Probelastung. Die Beurteilung erfolgt tabellarisch mit einer kurzen Begründung.

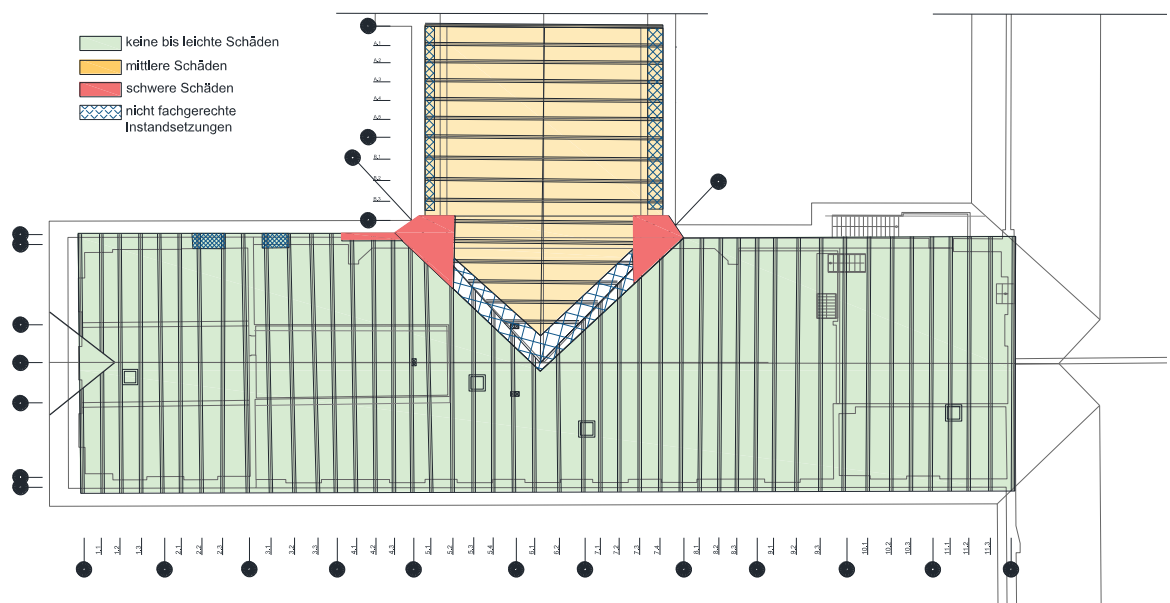
*Tabelle 4-5: Bauzustandsanalyse*

<b>Schadensfolgeklasse</b>	1	Das Wirtschaftsgebäude Nr. 108 gehört zur LFS Grottenhof. In diesem Gebäude sind Klassenräume, Lehrwerkstätten, die Molkerei sowie ein Verkaufsladen untergebracht. Nach EC 0 gehören Schulgebäude zur Schadensfolgeklasse CC3.
<b>Tragsicherheit</b>		
[K1] statische Unbestimmtheit	0	Bei dem Dachstuhl handelt es sich um eine hochgradig statisch unbestimmte Konstruktion mit einer ausgeprägten räumlichen Tragwirkung.
[K2] Umbauten und Instandsetzungen	0,75	Instandsetzungen vermutlich 1980 und später. Vor allem in den Bereichen der Ichsengesparre nicht fachgerechte Instandsetzungen. Bauteile wie Windstreben sind teilweise ersatzlos entfernt worden. Einige Sparren- und Stuhlsäulenfußpunkte mussten in der Vergangenheit instandgesetzt werden. Es bestehen von Stuhl zu Stuhl unterschiedliche Ausbildungen mit teils Laschen oder schmiedeeisernen Klammern. Viele dieser Maßnahmen gelten als nicht fachgerecht. Auch bei anderen ausgetauschten Bauteilen erfolgt die Verbindung neu-alt oft nur mittels angenagelter Laschen, teilweise nur einseitig.
[K3] Holzzerstörung	1	Schwere Fäulnisschäden ohne fachgerechte Instandsetzung in den Bereichen der Ichsengesparre. Bei I.1 ist der Bundtram vollständig zerstört, dadurch hat sich das VG C um 16 cm abgesenkt. Bei dem gefundenen Befall durch Nagekäfer handelt es sich um oberflächennahe Schädigung. Die Minderung der betroffenen tragfähigen Querschnitte bleibt unter den 30 %. Jedoch sind die beiden Fundstellen mit Bohrmehl (Achse 9.1 und 11) zu überprüfen, ob es sich um einen aktiven oder inaktiven Befall handelt.
[K4] Verbindungs- oder Stabversagen	0	Es konnte kein Verbindungs- und oder Stabversagen infolge mechanischer Überbeanspruchung festgestellt werden.
[K5] konstruktive Mängel	0	Die Querschnitte sind nicht unterdimensioniert und es handelt sich nicht um eine Fehlkonstruktion
[K6] große Verformungen	0,5	Zahlreiche Verbindungen weisen Klaffungen auf. Große Verformungen im Bereich des Ichsengesparres I.1 infolge der Fäulnisschäden. Stuhlsäule des VG C von E1 – E 2
[K7] Verschlechterungstendenzen	0,5	Starke Verschmutzungen der Bauhölzer in großen Teilen der Dachkonstruktion. Weiterhin erhöhter Feuchteintritt in den Traufbereichen der Ichsengesparren erwartet.

[K8] weitere Kriterien	-0,25	Dachlattung allgemein in einem guten Zustand, diese trägt gerade in den beschädigten Bereichen der Dachverschnidungen zur Tragwirkung bei.
<b>Probebelastungen</b>	0	Es wurden keine Probebelastungen durchgeführt.
<b>ENDSUMME</b>	<b>3,50</b>	<b>Es liegt ein Handlungsbedarf innerhalb der nächsten Monate bis fünf Jahre vor!</b> Die Instandsetzung der stark beschädigten Traufbereiche der Ichsengespärre und die mangelhaften Instandsetzungen sollten innerhalb der nächsten Monate erfolgen. Weiterhin sollten regelmäßige Inspektions- und Wartungsgänge durchgeführt werden. Eine Instandsetzung im Rahmen eines Dachausbaus ist angedacht.

## Resümee

Bei diesem Dachtragwerk kann allgemein gesagt werden, dass die häufigsten Ursachen für die bestehenden Schäden Feuchtigkeit und nicht fachgerechte Instandsetzungen sind. Die Bewertung für den Dachstuhl nach den „Benotungssystemen“ ergibt im gesamten einen schlechten Zustand. Die schwerwiegendsten Schäden sind im Bereich der Dachverschneidung und an den Fußpunkten der Ichsengespärre. Dies hat Auswirkungen auf die Tragwirkung des gesamten Dachtragwerkes. Besonders kritisch ist auch die Kombination aus den geschädigten Fußpunkten und den nicht fachgemäßen Instandsetzungen in der Kehl- und Hahnenbalkenebene der Ichsengespärre. In den Regelbereichen des Hauptdaches ist der Dachstuhl in einem guten Zustand, kräftig dimensioniert und die Anschlussknoten sind sorgfältig ausgeführt. Abbildung 4-104 zeigt die Bauzustandsbewertung für das vorliegende Tragwerk; dazu wurde die Konstruktion in drei Schädigungsgrade unterteilt. Dabei werden einzelne lokale schwerwiegendere Schäden (beispielsweise S08) nicht berücksichtigt. Es ist jedoch anzumerken, dass es sich hierbei nicht um eine vollständige Bauzustandsbewertung handelt. Aufgrund von unzugänglichen Bereichen und starken Verschmutzungen können weitere Schadstellen nicht ausgeschlossen werden.



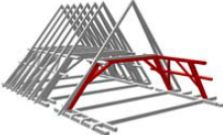

**Abbildung 4-104: Bauzustandsbewertung Übersicht**

Die übersichtliche Darstellung zeigt, dass sich große Bereiche vom Hauptdach in einem guten Zustand befinden. Das Nebendach wurde schlechter bewertet, da dort sehr starke Verschmutzungen vorhanden sind und die Zugänglichkeit in die oberen Ebenen nur punktuell möglich war. Außerdem sind nahezu alle Fußpunkte bereits instandgesetzt worden (siehe Schaden S13). Bestimmend für die Bewertung sind die schweren Schäden in den Traufbereichen der Ichsen. Diese Schäden sind aber kein Hinweis auf eine fehlerhafte Konstruktion des ursprünglichen Dachtragwerkes, sondern wohl eher das Ergebnis jahrzehntelanger fehlender Pflege, Wartung und Instandhaltung. Die Bauzustandsbewertung verdeutlicht die Wichtigkeit von regelmäßigen Inspektionen, Wartungen und Instandhaltungen von historischen Dachtragwerken für einen dauerhaften Erhalt. Ebenso ist die Herstellung der Zugänglichkeit zu sämtlichen Konstruktionshölzern und die Reinigung dieser, wichtige Voraussetzungen für eine verlässliche und umfassende Bewertung des Bauzustandes. Ist dies nicht gewährleistet, wird die Bestands- und Schadenserfassung unnötig erschwert bis unmöglich gemacht.

# KAPITEL 5: STATISCHE ANALYSE DES DACHTRAGWERKES

## 5-1 EINLEITUNG

In diesem Kapitel wird für das Dachtragwerk eine statische Analyse durchgeführt. Aufgrund der vielfältigen Ausführungsvarianten von historischen Holzkonstruktionen ist nahezu jedes Tragwerk als Einzelfall zu betrachten. Historische Dachtragwerke sind oftmals hochgradig statisch unbestimmte Systeme. Durch diese redundante Konstruktion bleiben diese Tragwerke tragfähig, auch wenn einzelne Bauteile und Verbindungen versagen. Für eine bestandsschonende Instandsetzung ist als Grundlage eine statische Analyse erforderlich, bei historischen Dachstützen sind dabei jedoch zahlreiche Besonderheiten zu berücksichtigen, siehe Abbildung 5-1 [6]:

<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">räumliche Lastabtragung</div> 	<p>groß, aber nur bei Dachtragwerken mit firstparallelen Traggliedern</p>	<p>Häufig tragen historische Dachwerke die Lasten räumlich (sparren- und pfeftendachartig) ab. Daher ist die Zerlegung dieser Tragwerke in ebene Teilsysteme oft schwierig bis unmöglich. An den Koppelpunkten ist die Interaktion der Teilsysteme zu berücksichtigen.</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Auflagerbedingungen</div>	<p>zum Teil groß</p>	<p>Die Festlegung zutreffender Auflagerbedingungen ist schwierig.</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">zimmermannsmäßige Verbindungen</div> 	<p>in der Regel groß</p>	<p>In ÖNORM EN 1995-1-1 (2009 Abschnitt 5.1 und 5.4.2) wird die Berücksichtigung der Nachgiebigkeiten und Exzentrizitäten der Verbindungen für die Systemberechnung gefordert. Das mechanische Verhalten der Verbindungen beeinflusst wesentlich den Verlauf und die Größenordnung der Schnittkräfte. Die diesbezüglichen Angaben der Normung und der Literatur sind nicht vollständig.</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Materialkenngrößen</div>	<p>mittel</p>	<p>Die Bestimmung zutreffender Materialkenngrößen ist zerstörungsfrei meist nicht möglich.</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">System- und Querschnittsabmessungen</div>	<p>gering</p>	<p>Die System- und Querschnittsabmessungen weisen - vor allem bedingt durch die handwerkliche Herstellung - große Streuungen auf.</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">weitere Effekte</div>	<p>zum Teil unbekannt</p>	<p>Verformungen aus Kriechen, u. v. m.</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Bezeichnung</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ergebniseinfluss</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Kurzbeschreibung</div>

**Abbildung 5-1: Übersicht der Herausforderung bei der statischen Analyse historischer Dachtragwerke [6].**

Für die Modellbildung gibt es grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten. Stand der Wissenschaft sind das räumliche Volumenmodell (das komplette hölzerne Tragwerk) oder die Kombination aus Volumen- und Stabwerksmodell (Anschlussknoten als Volumenmodell kombiniert mit Balkenelementen). Mit dieser Modellierung kann das mechanische Verhalten der zimmermannsmäßigen Verbindungen genau erfasst werden, wie zum Beispiel die Reibungskräfte, Querholzpressungen oder lokale Querzugspannungen. Bei einem Stabwerksmodell sind Aussagen über diese Effekte in zimmermannsmäßigen Verbindungen nicht möglich. Ein räumliches Volumenmodell ist mit einem sehr hohen Eingabe- und Auswertungsaufwand verbunden und kann derzeit nur von sehr leistungsfähigen Computern mit einem erheblichen Zeitaufwand berechnet werden. Eine weitere Möglichkeit ist ein

räumliches Stabwerksmodell, bei dem das Verhalten der Verbindungen mithilfe von lokalen Volumenmodellen oder durch Prüfungen bestimmt wird.

Die Abbildung als Stabwerksmodell entspricht dem derzeitigen Stand der Technik, dabei kann in eine ebene oder räumliche Abbildung unterschieden werden:

Ebenes Modell (2D): Für statisch bestimmte Ergebnisse liefern ebene Modelle zutreffende Ergebnisse bei geringen Eingabe- und Auswertungsaufwand. Für Tragwerke mit einer räumlichen Lastabtragung ist, zum Teil, mit abweichenden Ergebnissen zu rechnen. Für eine erste Abschätzung und für eine Plausibilitätskontrolle ist diese Modellierung dennoch geeignet.

Ebenes Modell mit nachgiebigen Auflagern bei Kopplungspunkten: Die Kopplung der einzelnen Teilsysteme wird durch nachgiebige Auflager in den Kopplungspunkten berücksichtigt. Diese Kopplung ist jedoch abhängig von der Belastung und hat nicht unbedingt einen linearen Verlauf. Auch Stäbe, welche in mehreren Teilsystemen eine mittragende Wirkung haben, sind schwierig zu modellieren. Die Zerlegung in Teilsystem kann sehr schwierig bis unmöglich werden.

Ebenes Modell mit virtuellen Querschnitten: Die Querschnitte von einem regelmäßigen Bereich werden zu einem virtuellen Querschnitt zusammengefasst. Die Lasteinflussbreite ist damit der Abstand zwischen zwei Vollgespärren. Die Stuhlwände werden in somit als biegesteif modelliert, die Nachgiebigkeit kann durch eine Feder zwischen Kehlbalken und Stuhl zumindest abgeschätzt werden. Geeignet ist diese Modellierung für einfache räumliche Tragwerke, wie beispielsweise ein reines Sparrendach.

Räumliches Modell mit selektiven Schnittkräften: Die ebenen Teilsysteme werden über Koppelpunkte miteinander verbunden. Sofern die Tragwirkung in Längsrichtung bekannt ist und berücksichtigt wird, ist das räumliche Tragverhalten vollständig modellierbar. Es können aber keine Schnittkräfte normal auf die betrachtete Ebene ermittelt werden. Insgesamt benötigt man beispielsweise drei Teilsysteme für die Abbildung einer Pfette, Biegung um die starke und schwache Achse sowie Torsion der Pfette.

Räumliches Modell als Stabwerksmodell: Die Tragkonstruktion muss nicht mehr in ebene Teilsysteme zerlegt werden, sondern wird als räumliches 3D Modell abgebildet. Die Modellierung wird durch 6 Freiheitsgrade sehr komplex damit keine kinematischen Ketten entstehen. Ebenso ist die der Aufwand für die Auswertung und die Kontrolle der Plausibilität sehr groß. Bei automatisierten Querschnittsnachweisen, die bei vielen Programmen möglich ist, ist zu beachten, dass Randbedingungen wie Nettoquerschnittswerte, nicht berücksichtigt werden. Ebenso ergeben sich oftmals unrealistisch hohe Ausnutzungen aus Schubbeanspruchung an kurzen Stabstücken. Aus diesen Gründen sind die Nachweise für Verbindungen und Auflage separat zu berechnen.



## 5-2 ZIEL DER MODELLIERUNG

---

Für die Untersuchung des realen Tragwerks muss dieses durch ein geeignetes Modell abgebildet werden. Dieses kann anschließend nach den Methoden der Baustatik ausgewertet werden. In diesem Modell werden die Konstruktionsglieder (Stäbe), die Holzverbindungen (Kopplung der Stäbe untereinander) und die Auflager (Anschluss an lastabtragende Bauteile wie beispielsweise Mauerwerk) abgebildet. Bei der Modellierung gibt es dabei drei wesentliche Schritte:

- die Lasteinwirkungen und deren Kombination
- die Ermittlung der mechanischen Materialkenngrößen und der geometrischen Struktur
- Festlegung eines statischen Systems

Dabei wird die Tragwirkung als ein voll tragfähiges System ohne Berücksichtigung der vorhandenen Schäden modelliert. Die Lastaufstellung und die Einwirkungskombinationen erfolgen nach dem derzeit gültigen Stand der Normung. Es kann somit eine Beurteilung nach aktuellem Stand der Technik durchgeführt werden.

Das Ziel ist es, das Tragverhalten der Dachkonstruktion mithilfe der statischen Analyse möglichst realitätsnah darzustellen. Berechnungen für regelmäßige Bereiche von Tragsystemen mit liegendem Stuhl sind in der Literatur zu finden (vgl. [60], [12], [53], [13], [61]) Die wesentliche Effekte der Tragwirkung sind somit bekannt und können zur Verifikation der Ergebnisse herangezogen werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch ein Dachtragwerk untersucht, welches aufgrund der Dachverschneidung einen sehr großen unregelmäßigen Bereich aufweist. Der globale Einfluss der Ichsengespärre und der Dachverschneidung soll daher untersucht werden. In einem zweiten Schritt wird das Ausfallszenario in den Traufbereichen der Ichsens simuliert.

Der Bereich der Dachverschneidung ist sehr komplex und weist ein ausgeprägt räumliches Verhalten auf. Bei einer Modellierung als ein räumliches Stabmodell können die gegenseitigen Auswirkungen der Bauteile und der Auflagerbedingungen berücksichtigt werden. Deshalb wird für die Modellbildung ein räumliches Stabwerksmodell mit der Statik-Software *DLUBAL RSTAB 8.20* erstellt.

## 5-3 LASTAUFSTELLUNG UND LASTKOMBINATIONEN

Als Grundlage für die nachfolgende Lastaufstellung dienen die aktuellen Normen:

- ÖNORM B 1991:2017 Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau
- ÖNORM EN 1991:2011 Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten
- ÖNORM EN 1991:2011 Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten
- ÖNORM B 1991:2011 Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen

Nicht untersucht werden Brandfall (Teil 1-2), Temperatur (Teil 1-5), Bauausführung (Teil 1-6) und Außergewöhnliche Einwirkungen (Teil 1-7).

### 5-3.1 LASTAUFSTELLUNG

#### 5-3.1.1 Eigengewicht

Normen: ÖNORM EN/B 1991-1-1 (vgl. [62], [63])

Das Eigengewicht der hölzernen Dachkonstruktion, inklusive der Dachlatten, wird bereits intern im Statikprogramm *Dlubal RSTAB 8.20* berücksichtigt (vgl. [64]).

Lastannahme für die Dacheindeckung (vgl. ÖNORM B 1991-1-1: Tabelle A.11 – Dachdeckungen aus Ziegeln):

$$g_{\text{Ziegel,k}} = 0,90 \text{ kN/m}^2 \text{ (Biberschwanzziegel, Doppeldeckung)}$$

Der Eigengewichtslastfall ist unter der Lastfallnummer LF 1 zu finden.

Anmerkung: Einbauten der Haustechnik, die Überreste der alten Mühle und sonstige zusätzliche Lasten (z.B. vorhandenes Lagergut) sind nicht berücksichtigt worden.

#### 5-3.1.2 Nutzlasten

Normen: ÖNORM EN/B 1991-1-1 (vgl. [62], [63])

Das Dachtragwerk ist in die Nutzungskategorie H einzuordnen, das Dach ist nur für Wartungs- und Instandsetzungszwecken zugänglich.

$$Q_k = 1,50 \text{ kN}$$

$$q_k = 1,0 \text{ kN/m}^2 \text{ (auf max. Fläche von } 18 \text{ m}^2 \text{ in ungünstigster Position anzusetzen).}$$

Nach Abschnitt 3.3.2(1) der ÖNORM EN 1991-1-1:2011 müssen die Nutzlasten nicht mit Schnee und/oder Wind kombiniert werden. Somit werden die Nutzlasten vernachlässigt.

### 5-3.1.3 Windlasten

Normen: ÖNORM EN/B 1991-1-4 (vgl. [65], [66])

Für die Ermittlung der Windlast wird das Dachtragwerk in zwei Grundrisse aufgeteilt. Das Hauptdach (in Längsrichtung) ist ein Satteldach mit Krüppelwalm. Das Nebendach (ehemalige Mühle) ist ein Satteldach.

Standortspezifische Einflussparameter für die Windlastberechnung:

- Standort: Graz
  - Dachneigung:  $46^\circ$
  - Geländekategorie: III (Vorstadt, Stadtrand)
  - $z = 14$  m (Gebäudehöhe)
  - Basisgeschwindigkeit:  $v_{b,0} = 20,4$  m/s
  - Basisgeschwindigkeitsdruck  $q_{b,0} = 0,26$  kN/m<sup>2</sup>

Die Dachneigung wird für alle Dachflächen vereinfacht als gleich angenommen, mit  $46^\circ$  Dachneigung.

Für die Geländekategorie wird der charakteristische Böengeschwindigkeitsdruck wie folgt ermittelt (vgl. ÖNORM B 1991-1-4, Tabelle 2):

$$\frac{q_p}{q_{b,0}} = 1,75 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,29} \quad \rightarrow \quad q_p = q_{b,0} \cdot 1,75 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,29}$$

$$q_{p(z)} = 0,26 \cdot 1,75 \cdot \left(\frac{14}{10}\right)^{0,29} = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

Die globale Windeinwirkung wird folgendermaßen berechnet:

$$w_k = q_{p(z)} \cdot (c_{pe} - c_{pi})$$

mit:

$w_k$  ...globale Windeinwirkung in kN/m<sup>2</sup>

$q_{p(z)}$  ...Böengeschwindigkeitsdruck

$c_{pe}$  ...aerodynamischer Außendruckbeiwert

$c_{pi}$  aerodynamischer Innendruckbeiwert

Die Einteilung der Dachflächen ist von der Dachform abhängig. In Abbildung 5-2 ist die Einteilung nach ÖNORM 1991-1-1 (Bild 7.8) dargestellt:

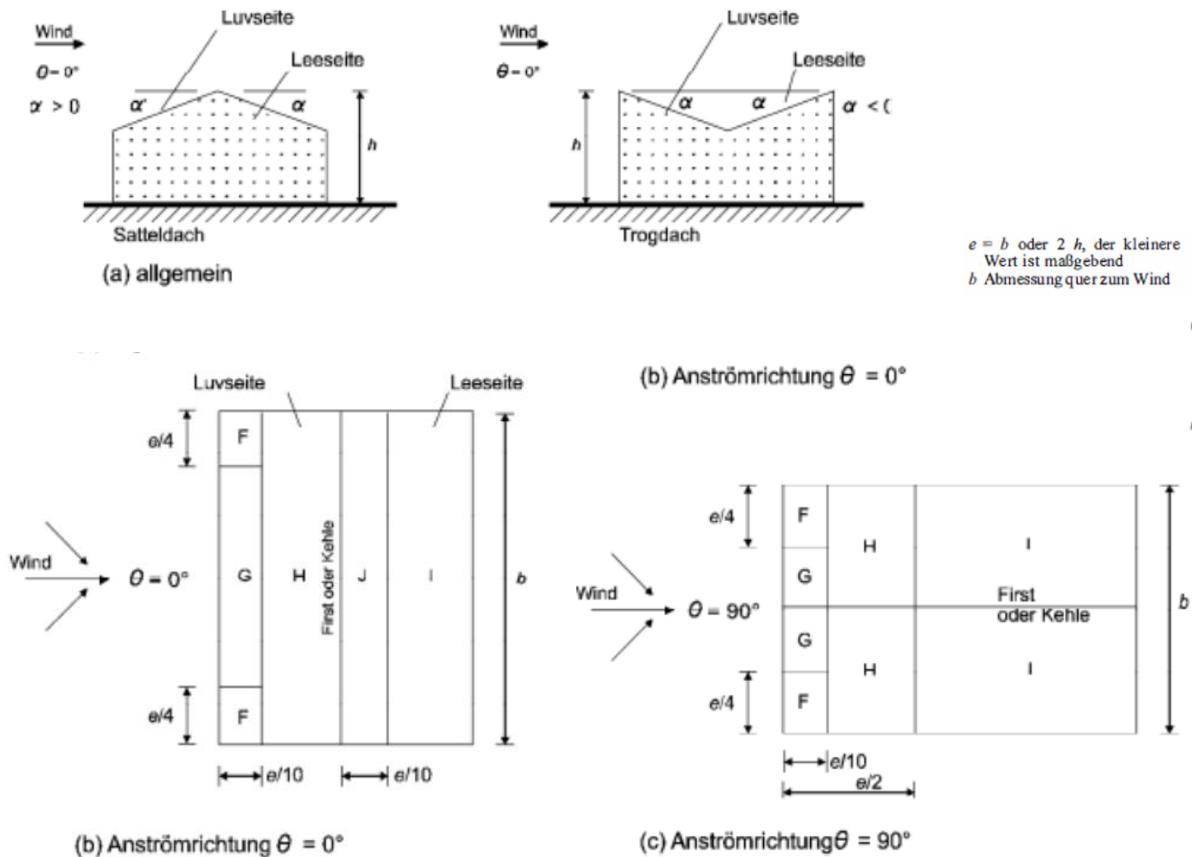


Abbildung 5-2: Einteilung der Dachflächen für Satteldach

Ebenfalls sind die Außendruckbeiwerte abhängig von der Dachform und der Anströmrichtung des Windes. Diese Werte werden in der Norm als Tabelle angegeben. Die Anströmrichtung  $\Theta = 90^\circ$  gilt für Wind kommend aus Südwesten bzw. Nordosten. Dementsprechend für  $\Theta = 0^\circ$  anströmender Wind aus Nordwesten bzw. Südosten. Diese Werte gelten für das Hauptdach, für das Nebendach müssen die Anströmrichtungen entsprechen getauscht werden. Die Tabelle 5-1 enthält die Außendruckbeiwerte für das Dachtragwerk.

Tabelle 5-1: Außendruckbeiwerte

Anströmrichtung	Dachflächenbereiche									
	Hauptdach					Nebendach				
	F	G	H	I	J	F	G	H	J	I
$\Theta = 0^\circ$	0,7	0,7	0,6	-0,2	-0,3	-1,1	-1,4	-0,9	-0,5	-
$\Theta = 90^\circ$	-1,1	-1,4	-0,9	-0,5	-	0,7	0,7	0,6	-0,2	-0,3

Für den Innendruckbeiwert wird die vereinfachte Annahme nach Norm getroffen, wobei der jeweils ungünstige Wert mit der Windlast überlagert wird. Für Innendruck ist der Beiwert  $c_{pi} = +0,2$  und für Innensog ist der Beiwert  $c_{pi} = -0,3$  anzusetzen. Dabei darf ein entlastend wirkender Innendruck nicht angesetzt werden. Die Belastung durch Winddruck ist dann die Resultierende aus Außendruck und Innendruck.

Nach der EN 1994-1-4 wäre der Ansatz der Windlasten für jeden Dachflächenbereich extra zu erstellen, was einen unverhältnismäßig hohen Bearbeitungsaufwand bedeuten würde. MEISEL [21] und HARRAUER [67] zeigen, dass es für hinreichend genaue Ergebnisse ausreicht, die Werte der Dachflächen zusammenzufassen und als gemittelten Winddruck anzusetzen. Für den anströmenden Wind aus südwestlicher Richtung, wurde die Dachflächen F, G und H zusammengefasst mit der Einzugsfläche bis Vollgespärre 3 und für die restliche Dachfläche ist I, siehe Tabelle 5-2.

**Tabelle 5-2: vereinfachte Dachflächenbereiche**

Anströmrichtung	Dachflächenbereiche									
	Hauptdach					Nebdach				
	F	G	H	I	J	F	G	H	J	I
$\Theta = 0^\circ$	0,67			-0,25		-1,13			-0,5	-
$\Theta = 90^\circ$	-1,13		-0,5		-	0,67		-0,25		

Nachfolgend eine beispielhafte Berechnung für eine Windlast. Lastfall 1 ist Windlast aus LF Wind SO (iS) für die Dachflächenbereiche F, G, H. Lastfall 2 ist LF Wind SO (iD) für die Dachflächenbereiche I, J.

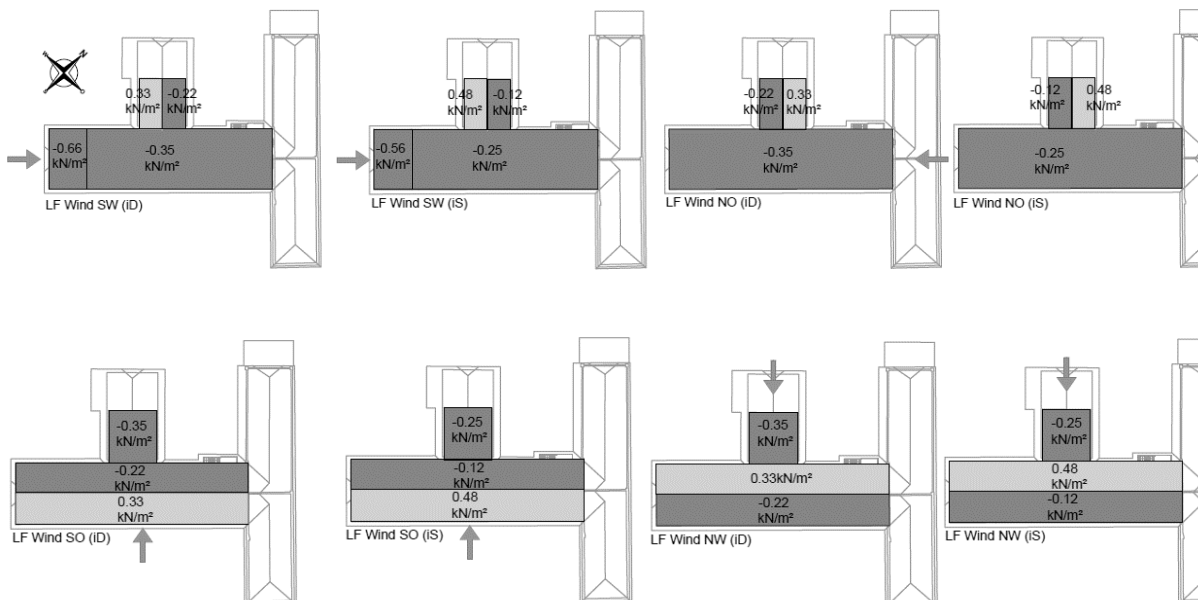
Lastfall 1 (Außendruck mit Innensog überlagert):

$$w_k = q_{p(z)} \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,5 \cdot (0,67 - (-0,3)) \approx + 0,48 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Lastfall 2 (Außensog mit Innendruck überlagert):

$$w_k = q_{p(z)} \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 0,5 \cdot (-0,25 - 0,2) \approx -0,22 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Insgesamt ergeben sich für die Windbelastung 8 Lastfälle, dargestellt in Abbildung 5-3:



**Abbildung 5-3: Lastaufstellung Windlast (iD... Innendruck, iS... Innensog)**

Die Windlastfälle sind unter den Lastfallnummern LF 2 bis LF 9 zu finden.

### 5-3.1.4 Schneelast

Normen: ÖNORM EN/B 1991-1-3 (vgl. [68], [69])

Die Schneelasten werden nach den Bestimmungen für Satteldächer festgelegt. Die charakteristische Schneelast ist für den Standort Graz in Tabelle A.1 (ÖNORM B 1991-1-3) angegeben:

- Ort: Graz - Wetzelsdorf
- Seehöhe: 369 m ü.NN
- Lastzone: 2
- Schneelast  $s_k$ : 1,65 kN/m<sup>2</sup>

Für ein Satteldach mit einer Dachneigung von  $DN = 46^\circ$  ergeben sich nach Tabelle 2 folgende Formbeiwerte:

$$\mu_1 = 0,8 \cdot \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ} = 0,8 \cdot \frac{(60 - 46)}{30} \approx 0,37$$

$$\mu_2 = 1,0 \cdot \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ} = 1,0 \cdot \frac{(60 - 46)}{30} \approx 0,47$$

$$\mu_3 = 1,6$$

An der Dachfläche ist, zumindest auf südöstlicher Seite, ein durchgehendes Schneegitter am unteren Ende der Dachhaut befestigt, deshalb werden die Formbeiwerte entsprechend der Forderung in der Norm höher festgelegt:  $\mu_1 = \mu_2 = 0,8$ .

Nach ÖMORM EN 1991-1-3 müssen für ein Satteldach folgende Laststellungen untersucht werden, wie in Abbildung 5-4 dargestellt ist:

$$s_{k,symmetrisch} = \mu \cdot s_k \cdot C_t \cdot C_e = 0,8 \cdot 1,65 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$= 1,32 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

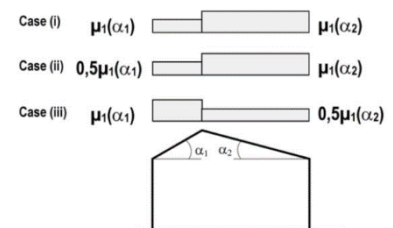
$$s_{k,unsym.} = 0,5 \cdot \mu \cdot s_k \cdot C_t \cdot C_e = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1,65 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$= 0,66 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

mit:

$C_t = 1,0$  ... Temperaturbeiwert

$C_e = 1,0$  ...Beiwert Geländegegebenheit (üblich)



**Abbildung 5-4: Laststellung Schneelast**

Das Nebendach besitzt ebenfalls die gleiche Dachneigung und hat ein Satteldach, also werden hier ebenfalls dieselben Werte angesetzt. Bei den Kehlen werden keine höheren Lasten angesetzt, da es sich nicht um eine Kehle wie bei Scheddächern oder aneinandergereihten Satteldächern handelt. Der Schnee kann abrutschen.

Die Schneelastfälle sind unter den Lastfallnummern LF 10 bis LF 12 zu finden.

## 5-3.2 LASTFÄLLE UND LASTKOMBINATIONEN

Aus der Lastaufstellung ergeben sich 12 Lastfälle, in Tabelle 5-3 zusammengefasst:

*Tabelle 5-3: Lastfälle*

Lastfall	LF-Bezeichnung
LF 1	Eigengewicht
LF 2	Wind Südwest, kombiniert mit Innendruck.
LF 3	Wind Südwest, kombiniert mit Innensog.
LF 4	Wind Nordwest, kombiniert mit Innendruck.
LF 5	Wind Nordwest, kombiniert mit Innensog.
LF 6	Wind Südost, kombiniert mit Innendruck.
LF 7	Wind Südost, kombiniert mit Innensog.
LF 8	Wind Nordost, kombiniert mit Innendruck.
LF 9	Wind Nordost, kombiniert mit Innensog.
LF 10	Schnee, Volllast
LF 11	Schnee, Halblast Südost
LF 12	Schnee, Halblast Nordwest

Aus der Kombination dieser Lastfallgruppen ergeben sich insgesamt 160 Lastkombinationen.

Für diese Lastkombination gelten folgende Teilsicherheits-, Kombinations- und Modifikationsbeiwerte (für die Nutzungsklasse 2), zusammengefasst in Tabelle 5-4:

*Tabelle 5-4: Teilsicherheits-, Kombinations- und Modifikationsbeiwerte:*

Lastfälle	$\gamma_{G,g} / \gamma_{Q,q}$	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	$k_{mod}$
Eigengewicht $g_k$	1,35	-	-	-	0,6
Schneelast $s_k$	1,50	0,50	0,20	0	0,9
Windlast $w_k$	1,50	0,60	0,20	0	0,9

### 5-3.3 EINWIRKUNGSKOMBINATIONEN

Normen: ÖNORM EN 1990, ÖNORM EN/B 1995-1 (vgl. [70], [71], [72])

**Tabelle 5-5: Lastkombinationen Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)**

Lastfallkombination ULS	Überlagerung
Eigengewicht	$E_d = 1,35 \cdot g_k$
Schnee führend.	$E_d = 1,35 \cdot g_k + 1,50 \cdot s_k + 1,50 \cdot (0,60 \cdot w_k)$
Wind führend.	$E_d = 1,35 \cdot g_k + 1,50 \cdot w_k + 1,50 \cdot (0,50 \cdot s_k)$

Die Schnee- und Windlastfälle sind ungünstig zu überlagern.

**Tabelle 5-6: Lastfallkombinationen Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS)**

Lastfallkombination SLS	Überlagerung
charakteristische Kombination	$w_{inst} = w_1 + w_2 \leq 1/300 \cdot \text{Stützweite}$
häufige Kombination	$w_{fin} = w_2 + (w_1 + w_2) \cdot k_{def} \leq 1/200 \cdot \text{Stützweite}$
quasi-ständige Kombination	$w_{net,fin} = (w_1 + w_3) \cdot (1 + k_{def}) - w_0 \leq 1/250 \cdot \text{Stützweite}$

- w...Durchbiegung:
- $w_0$  Überhöhung
  - $w_1$  infolge  $\Sigma G_{k,i}$
  - $w_2$  infolge  $\Sigma \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} + Q_{k,1}$
  - $w_3$  infolge  $\Sigma \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

Anmerkung: Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit muss bei historischen Tragwerken nicht geführt werden, das vorliegende Dachtragwerk hat mit seinem Alter von mehr als 200 Jahren seine Gebrauchstauglichkeit bereits bewiesen (vgl. [12]).



## 5-4 MODELLBILDUNG

---

Der Dachstuhl wird als räumliches Stabtragwerk modelliert. Die Verfeinerung der Modellierung erfolgte schrittweise, beginnend mit einem vereinfachten räumlichen Modell. Eine Zerlegung in ebene Teilsysteme ist für den Bereich der Dachverschneidung nicht sinnvoll möglich. Folglich wurde der gesamte Dachstuhl modelliert, damit der Einfluss der Ichsengespärre auf das Tragverhalten beurteilt werden kann.

### 5-4.1 ALLGEMEINE ANNAHMEN

Die Stabachsen werden für alle Stäbe als ideal gerade abgebildet. Mit dem Ersatzstabverfahren werden geometrische und materielle Imperfektionen bei der Nachweisführung berücksichtigt.

#### 5-4.1.1 Vereinfachungen

Nachfolgend sind die wichtigsten Vereinfachungen zusammengefasst:

- Die Modellierung erfolgt für ein schadenfreies System.
- Die unregelmäßigen Achsabstände werden vernachlässigt, der Sparrenabstand ist der Mittelwert mit  $e = 1,08$  m; Ausnahme ist der Achsabstand zwischen Vollgespärre A und B, da hier 5 Leergespärre dazwischen liegen wird der geringerer Wert  $e = 0,97$  m gewählt.
- Die unterschiedliche Ausbildung der Leergespärre A.1 – A.5 wird vernachlässigt.
- Es handelt sich um gehackte Querschnitte und diese haben somit keinen regelmäßigen Querschnitt. Die Querschnitte werden gemittelt, berücksichtigt werden die konischen Sparren.
- Schmiedeeiserne Verbindungsmittel bleiben unberücksichtigt, da diese nur sehr vereinzelt im Dachtragwerk vorkommen.
- Der Rähm wird in die Stabachse des Spannriegels verschoben, der Brustriegel in die Stabachse der Stuhlsäule.
- Bei den zimmermannsmäßigen Verbindungen werden keine Klaffungen angenommen. (siehe S. 102, S19).
- Exzentrizitäten in den zimmermannsmäßigen Verbindungen werden nicht berücksichtigt.

#### 5-4.1.2 Theorie I. Ordnung und Nichtlinearitäten

Die Berechnung der Schnittkräfte erfolgt nach der Theorie I. Ordnung am unverformten System.

Wenn das statische System abhängig ist von Art und Größe der Belastung handelt es sich um ein nichtlineares System und das Superpositionsprinzip ist nicht mehr gültig. Grundsätzlich kann zwischen der materiellen Nichtlinearität (werkstoffbedingt) und strukturellen Nichtlinearität (geometrisch bedingt) unterschieden werden. Die strukturelle Nichtlinearität würde eine Berechnung nach Theorie II. oder III. Ordnung bedeuten, das heißt, die Geometrie des statischen Systems ändert sich je nach Belastung. Bei den durchgeführten Berechnungen nach Theorie I. Ordnung wird dies nicht weiter beachtet. Die materielle Nichtlinearität hat einen großen Einfluss auf die Schnittkraftermittlung. Gerade die zimmermannsmäßigen Verbindungen weisen oftmals ein nichtlineares Tragverhalten, wie z. B. der Ausfall einer Zapfenverbindung aufgrund von Zugbeanspruchung, auf.

#### 5-4.1.3 Lastfall- und Ergebniskombinationen

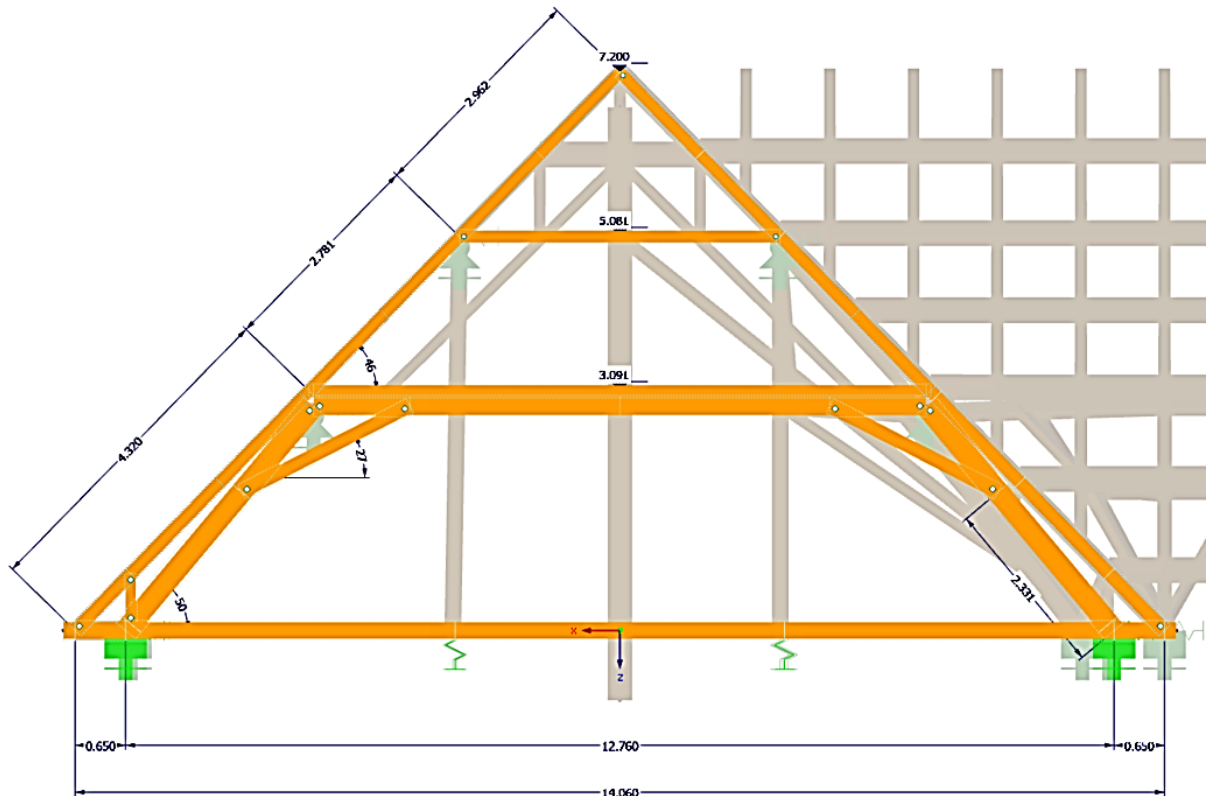
*siehe Kapitel 5-3.2*

Da in dem Modell nichtlineare Elemente vorhanden sind, wurden zur Berechnung Lastkombinationen gebildet. Die Lastfälle werden berechnet und mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten (nach Eurocode 0) zu Lastkombinationen überlagert. Die Lastkombinationen wurden von *RSTAB* automatisch erzeugt (man kann diese auch manuell erstellen). Diese Lastkombinationen werden anschließend zu Ergebniskombinationen zusammengefasst. Für das Dachtragwerk ergeben sich insgesamt 160 Lastkombinationen (siehe Anhang, LK 1 – LK 160) und 4 Ergebniskombinationen (siehe Anhang D, EK 1-EK 4).

## 5-4.2 SYSTEMGEOMETRIE

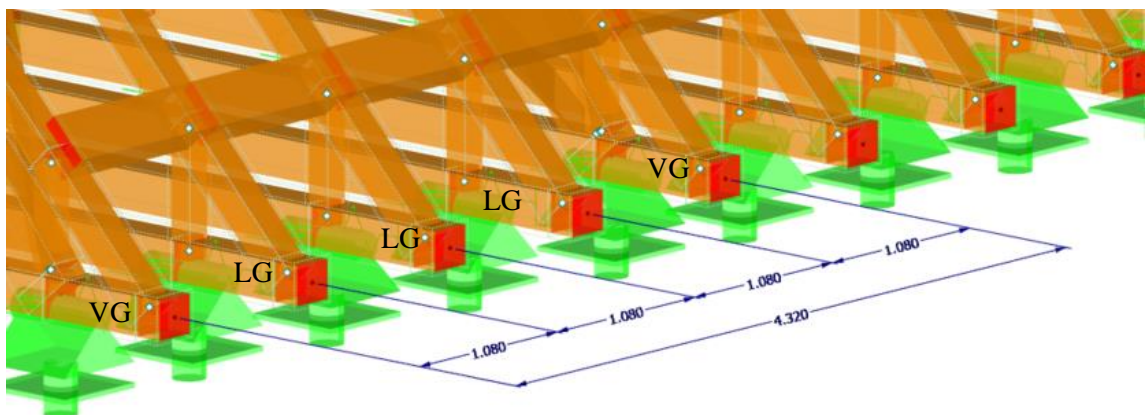
Die Tragwerksgeometrie der Dachkonstruktion mit den genauen Abmessungen und Ausführungen der Vollgespärre, Leergespärre, Stuhlwänden und Grundrissen kann den Plänen in Anhang B entnommen werden.

Das Regelgespärre mit den gemittelten Geometrieangaben ist Abbildung 5-5 dargestellt. Grundsätzlich haben alle Gespärre die gleichen Geometrieparameter, die teilweise gemessenen Höhenunterschiede und unterschiedlichen Winkel wurden nicht berücksichtigt.



*Abbildung 5-5: Regelgespärre für Modellbildung*

Auch für den Achsabstand der Gespärre wird ein Mittelwert verwendet. Der Achsabstand  $e = 1,08$  m ergibt in den Regelbereichen mit drei Leergespärren einen Vollgespärreabstand von 4,32 m, siehe Abbildung 5-6. Die unterschiedliche Anzahl von Leergespärren wurde berücksichtigt.



*Abbildung 5-6: Achsabstände im Regelbereich*

In Abbildung 5-7 ist das räumliche Stabmodell im globalen Koordinatensystem dargestellt, erstellt mit RSTAB 8.20.

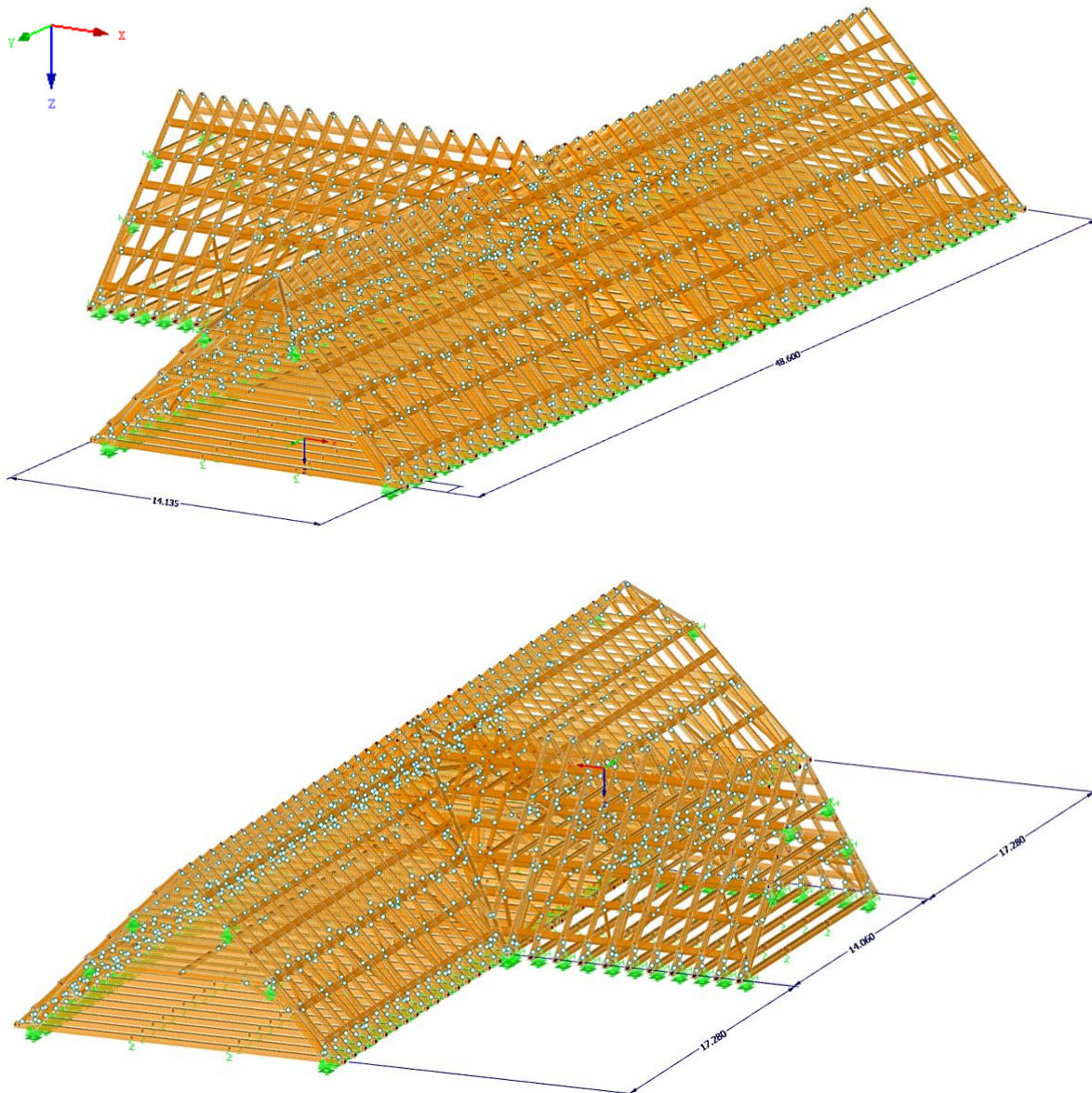


Abbildung 5-7: Isometrische Ansichten des statischen Modells (oben: Ansicht Nord-Ost, unten: Ansicht Süd-West)

### 5-4.3 QUERSCHNITTE

Die Konstruktionshölzer im Dachstuhl wurden einer Festigkeitsklasse zugeordnet mit entsprechender Steifigkeit und Elastizitätsmodul. Die Steifigkeiten innerhalb eines Systems beeinflussen bei einem statisch unbestimmtem System die Schnittkraftverläufe. Für eine realitätsnahe statische Analyse müsste somit jedes Bauteil den jeweiligen Abmessungen berücksichtigt werden, um eine exakte Steifigkeitsverteilung darzustellen. Die große Anzahl der unterschiedlichen Querschnittsabmessungen in dem vorliegenden Dachtragwerk wäre sehr unübersichtlich und damit auch fehleranfälliger. Die Bauteilabmessungen werden für die Modellbildung gemittelt. Bei Bauteilen wie Bundtram, Mauerbank, Sparrenknecht und Kehlbalken wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen Vollgespärre und Leergespärre festgestellt, deshalb werden hier die gleichen Querschnitte modelliert. Bei den Sparren wurden die Querschnitte jeweils am Fußpunkt und am Firstpunkt gemessen und der konische Querschnitt somit berücksichtigt. Die Konizität der Stuhlsäule wurde nicht berücksichtigt, da die Breite konstant ist und sich nur die Höhe im Querschnitt ändert. In Tabelle 5-7 sind die Querschnittsgeometrien der Holzbauteile für die Modellierung zusammengefasst.

*Tabelle 5-7: Querschnitte für Modellbildung*

Bezeichnung	Breite	Höhe
	b [cm]	h [cm]
<b>Mauerbank</b>	24,0	18,0
<b>Bundtram</b>	21,5	21,0
<b>Sparrenknecht</b>	13,5	13,0
<b>Stuhlsäule</b>	18,5	29,0
<b>Brustriegel</b>	15,0	17,0
<b>Windstrebe</b>	12,5	14,5
<b>Kopfband</b>	13,0	18,0
<b>Spannriegel</b>	18,0	23,5
<b>Rähm</b>	15,0	23,0
<b>Kehlbalken VG</b>	16,0	15,0
<b>Kehlbalken LG</b>	15,5	14,5
<b>Sparren Fußpunkt.</b>	17,0	15,0
<b>Sparren - First</b>	15,0	14,0
<b>Hahnenbalken VG</b>	15,5	14,0
<b>Hahnenbalken LG</b>	12,5	12,0
<b>Längsunterzug</b>	17,5	16,5

## 5-4.4 MECHANISCHE MATERIALEIGENSCHAFTEN

Die visuelle Sortierung bei den eingebauten Holzbauteilen in Anlehnung an die ÖNORM DIN 4074-1, siehe Kapitel 4-4.2.5, ergibt eine mögliche Zuordnung zur Festigkeitsklasse C24. Die mechanischen Materialeigenschaften für das verwendete Bauholz sind in Tabelle 5-8 zusammengefasst:

Tabelle 5-8: Materialeigenschaften C24 [73]:

Festigkeitseigenschaften [N/mm <sup>2</sup> ] C24			Bemessungswert für KLED „kurz“ und NKL 2	
<b>Biegung</b>	$f_{m,k}$	24,0	$f_{m,d}$	16,62
<b>Zug</b>	$f_{t,0,k}$	14,5	$f_{t,0,d}$	10,04
	$f_{t,90,k}$	0,4	$f_{t,90,d}$	0,28
<b>Druck</b>	$f_{c,0,k}$	21,0	$f_{c,0,d}$	14,54
	$f_{c,90,k}$	2,5	$f_{c,90,d}$	1,73
<b>Schub und Torsion</b>	$f_{v,k}$	2,3	$f_{v,d}$	1,59
<b>Rollschub</b>	$f_{r,k}$	1,0	$f_{r,d}$	0,69
Steifigkeitseigenschaften [N/mm <sup>2</sup> ]				
<b>Elastizitätsmodul</b>	$E_{0,mean}$	11.000	Bemessungswert: $\gamma_M = 1,30$ $X_d = \frac{k_{mod} \cdot X_k}{\gamma_M}$	
	$E_{90,mean}$	370		
	$E_{0,05}$	7.400		
<b>Schubmodul</b>	$G_{0,mean}$	690		
	$G_{90,mean}$	69		
	$G_{0,05}$	460		
Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]				
<b>Rohdichte</b>	$\rho_k$	350		
<b>Mittelwert d. Rohdichte</b>	$\rho_{mean}$	420		

## 5-4.5 AUFLAGER

### 5-4.5.1 Bundtramaufleger

Die Mauerbänke liegen „frei“ auf der Ziegelmauer auf. Durch das Dacheigengewicht ist gesichert, dass der Dachstuhl bei Windsog nicht abgehoben wird. Die Kraftübertragung erfolgt dabei vertikal über Druckkräfte und horizontal über Reibung. Die Reibung ist abhängig von der Rauigkeit des Ziegelmauerwerks und der Steifigkeit des Holzbauteiles. Eine genaue Untersuchung dieses Zusammenwirkens für die horizontale Bettung wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Auch in der Literatur gibt es hierfür keine Anhaltspunkte. Deshalb wird die horizontale Steifigkeit in Anlehnung an das Forschungsprojekt Holz-Holz-Verbindungen [61] iterativ mit dem Stabwerksprogramm RSTAB 8.20 ermittelt. Für den Lastfall Eigengewicht müssen die horizontalen Kräfte zu mindesten 97 % vom Bundtram aufgenommen werden. Abbildung 5-8 zeigt, dass die horizontalen Kräfte zu über 98 % im Lastfall Eigengewicht vom Bundtram aufgenommen werden.

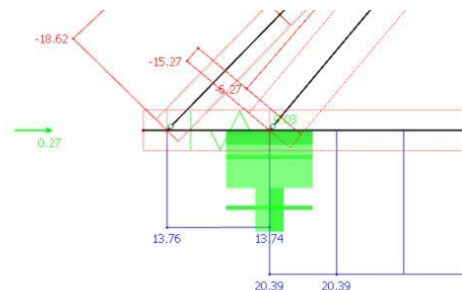


Abbildung 5-8: Auflagerkräfte und Normalkräfte im Lastfall Eigengewicht

Ein weiteres Kriterium ist, dass sich ungünstige Windlasten, je Gespärre, zu gleichen Teilen auf die Auflager verteilen. Die horizontale Steifigkeit in Gespärre-richtung wurde mit 60 kN/m ermittelt. Für die Auflagersteifigkeit in Längsrichtung wurde wie in dem Forschungsbericht Holz-Holz-Verbindungen (vgl. [61], S. 177) die Annahme von 10 kN/m getroffen. Die Ermittlung erfolgte für das Hauptdach, vereinfacht werden diese Werte auch für die Bundtramauflager im Nebendach angesetzt. Die vertikale Auflagerung wird in globaler Z-Richtung als „starr“ angenommen. Für die maximal zulässige Auflagerverschiebung wurde als Grenzwert folgendes festgelegt:

$$u_{\text{Auflager}} = \frac{b_{\text{Bundtram}}}{2} - 4 \text{ [cm]}$$

**Tabelle 5-9: Auflagerbedingungen**

Lager	Lagerdrehung [°]				Stütze	Stützung bzw. Feder [kN/m]			Einspannung bzw. Feder [kNm/rad]			Auflager	
	Nr.	Folge	um X	um Y		um Z	in Z	u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	u <sub>z</sub>	j <sub>x</sub>		j <sub>y</sub>
3	XY Z	0	0	0	starr		60	10	✓	starr	✓	starr	Bundtramauflager Hauptdach
8	XY Z	0	0	0	starr		10	60	✓	✓	starr	starr	Bundtramauflager Nebendach

### 5-4.5.2 Zwischenauflager Bundtram

Der Bundtram spannt nicht über die gesamte Gebäudebreite. Jeweils in den Drittelpunkten sind unterstützende Unterkonstruktionen angeordnet. Im Bereich bis Vollgespärre 3 sind Stahlunterzüge angeordnet; ab Vollgespärre 10 erfolgt die Auflagerung auf einer Zwischenmauer. In den Bereichen dazwischen sind Stuhlwände vorhanden (Siehe Schnitt G-G` und H-H`). Für den Bereich des Nebendaches ist nicht bekannt, ob und welche Zwischenauflager für den Bundtram vorhanden sind. Vereinfachend wurde in der Modellierung an den Drittelpunkten ein steifes vertikales Federelement angenommen.

## 5-4.6 VERBINDUNGEN

Die Modellierung des Dachtragwerkes erfolgte grundsätzlich mit der Ausbildung von gelenkigen Anschlüssen für alle zimmermannsmäßigen Verbindungen. Nach ÖNORM EN 1995-1-1 (Abschnitt 5.1, 5.4.2) wird die Berücksichtigung der Nachgiebigkeiten und Exzentrizitäten von Verbindungen gefordert, jedoch liefert die Norm wenig Angaben (für Versätze sind Angaben vorhanden) zur Ermittlung dieser für zimmermannsmäßige Verbindungen. Ein Großteil der zimmermannsmäßigen Verbindungen ist nicht mit einfachen Rechenmodellen berechenbar. Einige Gründe hierfür werden von MEISEL in [6] zusammengefasst:

- Die meisten zimmermannsmäßige Verbindungen weisen ein nichtlineares Verhalten auf. Abhängig von der Belastung ergeben sich unterschiedliche Nachgiebigkeiten, Exzentrizitäten und Bemessungswiderstände.
- Das Gesamttragverhalten der zimmermannsmäßigen Verbindungen ist oftmals von der Interaktion verschiedener Verbindungsmittel und deren Steifigkeitsverhältnissen abhängig.
- Es können sich lokal große Querkzug-, Querkdruck- und Rollschubbeanspruchungen, bedingt durch die Anschlussgeometrie, ergeben.
- Bei zimmermannsmäßigen Verbindungen ergeben sich ebenfalls durch die Geometrie Exzentrizitäten bei der Lasteinleitung, diese können auch abhängig vom Lastfall sein.
- Verbindungen übertragen erst nach Abbau des Schlupfes Kräfte.

Für die Modellierung des mechanischen Verhaltens von zimmermannsmäßigen Verbindungen sind also die Kenntnis über die Nachgiebigkeiten, die Tragfähigkeit und die Exzentrizitäten notwendig.

### 5-4.6.1 Nachgiebigkeiten

Wie bereits erwähnt, übertragen zimmermannsmäßige Verbindungen Kräfte vorwiegend über Reibung und Kontaktdruck, häufig über Druck quer oder schräg zur Faser. Bedingt durch die Anisotropie des Holzes ist die Steifigkeit in Faserrichtung für Nadelholz C24 fast 30-mal höher als quer zur Faser. Die Steifigkeiten der meisten Verbindungen sind somit deutlich geringer als die der Bauteile. Jedoch erlaubt das elastisch duktile Verhalten der Verbindungen die Dissipation von Energie. Aus diesen Gründen sollten nach Empfehlung von MEISEL [6] die ungefähre Größenordnung der Nachgiebigkeiten bei der Modellbildung berücksichtigt werden.

Für die Ermittlungen der Nachgiebigkeiten können zum einen Literaturwerte herangezogen werden, diese sind mit der entsprechenden Publikation von MEISEL in ([6], S. 88) zusammengefasst.

Die Nachgiebigkeiten können auch über Bauteilprüfungen und FE-Analysen ermittelt werden. Auch einige einfache ingenieurmäßige Modelle stehen zur Ermittlung der Nachgiebigkeiten zur Verfügung. Beispielsweise hat MEISEL in [21] ein ingenieurmäßiges Modell für einen Querkdruckanschluss auf einen Biegebalken entwickelt, siehe Abbildung 5-9.

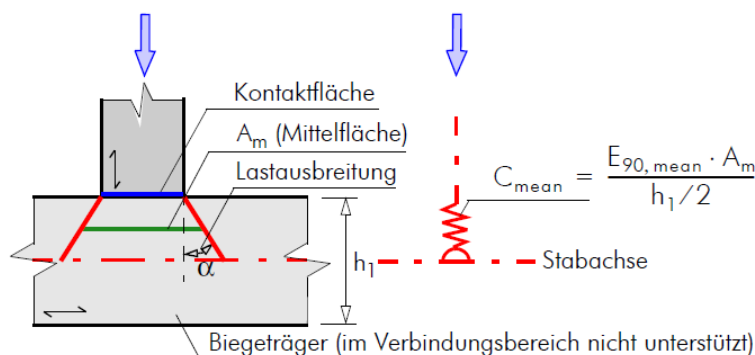


Abbildung 5-9: Ingenieurmäßiges Lastausbreitungsmodell [21]

### 5-4.6.2 Analyse der Verbindungen im Dachtragwerk

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Nachgiebigkeiten einzelner Verbindungen ermittelt und die statische Modellbildung beschrieben. Ebenso werden die getroffenen Vereinfachungen erläutert.

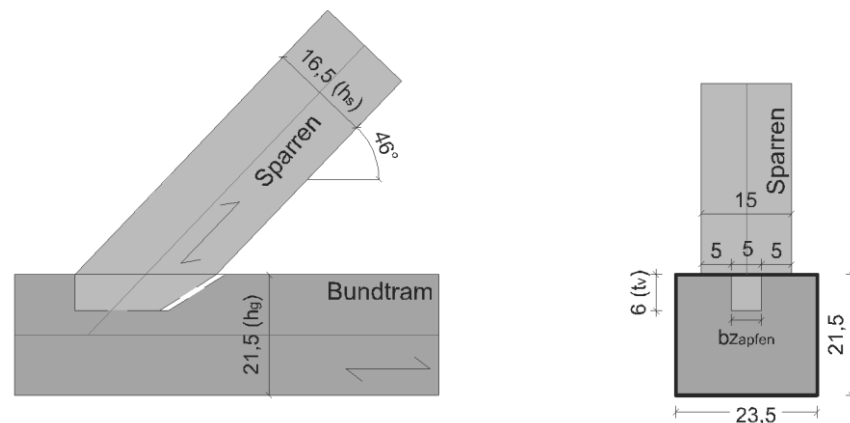
Konstruktionsglieder, wie Hängesäule und Streben, welche nur an drei Vollgespärre vorkommen, werden vereinfacht mit Vollgelenken und Scherengelenken modelliert. Die weiteren Abmessungen der Anschlussknoten sind den Detailzeichnungen aus Kapitel 4-4.6.2 zu entnehmen.

#### **Detail Fußpunkt (D02):**

##### Auflager

Die Modellierung der Auflager wurde in Kapitel 5-4.5 bereits beschrieben.

##### Sparren – Bundtram.



**Abbildung 5-10: Verbindung Sparren-Bundtram**

Der Sparren schließt mit einem schrägen Zapfen an den Bundtram an. Da bei dieser Verbindung kein Holznagel vorhanden ist, können nur Druckkräfte übertragen werden. Die Torsion des Sparrens wird durch den schrägen Zapfen verhindert. Der Knoten wird als Vollgelenk modelliert und fällt bei Zugkräften aus. Zusätzlich werden die vertikalen und horizontalen Nachgiebigkeiten in dem Stabendgelenk vom Sparren für den schrägen Zapfen modelliert. Die Berechnung wird nach dem Vorschlag von KOCH [74] durchgeführt:

Berechnung der horizontalen Steifigkeit:

$$C_{h,cal} = \frac{t_v \cdot b_{Zapfen} \cdot E_\alpha}{\frac{h_s}{\sin \gamma}} \cdot \left( 0,86 \cdot \frac{h_s}{2 \cdot t_v \cdot \sin \gamma} + 2,2 \right) \cong 48.500 [N/mm]$$

$$E_\alpha = \frac{E_0 \cdot E_{90}}{E_0 \cdot \sin^3 \gamma + E_{90} \cdot \cos^3 \gamma} \cong 965 [N/mm^2]$$

mit:

$$\gamma = 46^\circ \text{ (Anschlusswinkel)}$$

$$h_s = 165 \text{ mm (Höhe Sparren)}$$

$$t_v = 60 \text{ mm (Zapfentiefe)}$$

$$b_{Zapfen} = 50 \text{ mm (Zapfenbreite)}$$

$$E_0 = 11.000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{90} = 370 \text{ N/mm}^2$$



Berechnung der horizontalen Steifigkeit:

$$C_{v,cal} = \frac{2 \cdot \tan \varphi}{\ln \left( 2 \cdot \frac{k}{m} \cdot \tan \varphi + 1 \right)} \cdot \frac{b_{Netto}}{2} \cdot E_{90} \cong 57.800 [N/mm]$$

$$k = \frac{h_G}{b_{Netto}} = 1,30; \quad m = \frac{\frac{h_s}{\sin \gamma}}{b_{Netto}} = 1,39$$

mit:

$$\varphi = 45^\circ \text{ (Lastausbreitungswinkel)}$$

$$b_{Netto} = 165 \text{ mm (Höhe Sparren)}$$

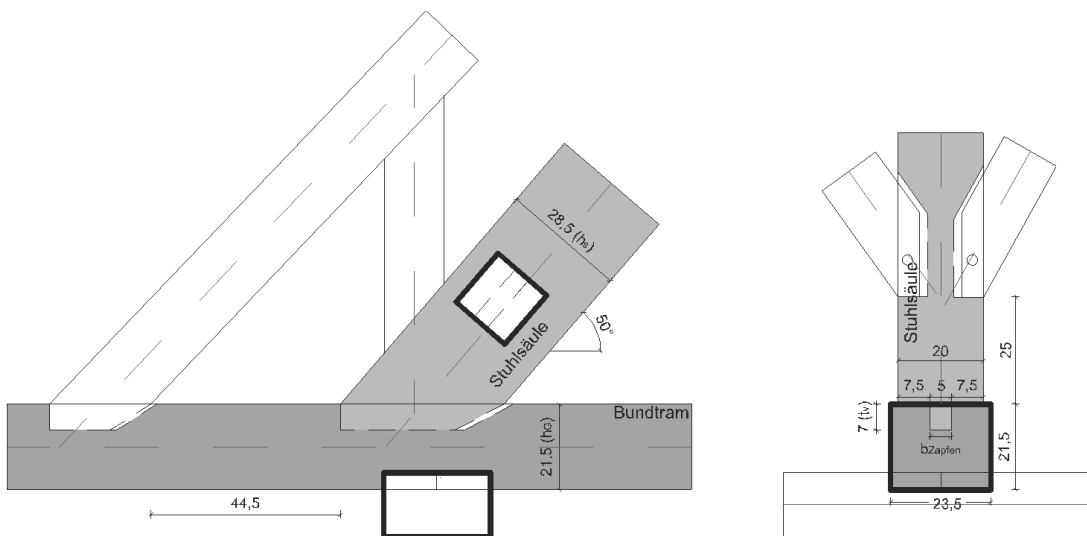
$$h_G = 215 \text{ mm (Höhe Bundtram)}$$

Diese Steifigkeiten sind für die globale Z- und X-Richtung berechnet. Die Modellierung im Stabendgelenk des Sparrens ist in *RSTAB* nur für die lokalen Stabachsrichtungen zulässig, deshalb wird eine Koordinatentransformation in das lokale Achssystem des Sparrens durchgeführt:

$$C_x = 75.300 \text{ N/mm (Steifigkeit in Stablängsrichtung)}$$

$$C_z = 5.300 \text{ N/mm}$$

### Stuhlsäule – Bundtram



**Abbildung 5-11: Verbindung Stuhlsäule-Bundtram**

Der Anschluss ist gleichartig ausgebildet wie der Anschluss Sparren – Bundtram. Die Modellierung erfolgt ebenfalls als Vollgelenk mit Ausfall bei auftretenden Zugkräften. Die Berechnung der Anschlusssteifigkeiten erfolgt analog zur Verbindung Sparren – Bundtram nach KOCH [74]:

Berechnung der horizontalen Steifigkeit:

$$C_{h,cal} = \frac{t_v \cdot b_{Zapfen} \cdot E_\alpha}{\frac{h_s}{\sin \gamma}} \cdot \left( 0,86 \cdot \frac{h_s}{2 \cdot t_v \cdot \sin \gamma} + 2,2 \right) \cong 35.000 [N/mm]$$

$$E_\alpha = \frac{E_0 \cdot E_{90}}{E_0 \cdot \sin^3 \gamma + E_{90} \cdot \cos^3 \gamma} \cong 807 [N/mm^2]$$

mit:

$$\gamma = 50^\circ \text{ (Anschlusswinkel)}$$

$$h_s = 285 \text{ mm (Höhe Stuhlsäule)}$$

$$t_v = 70 \text{ mm (Zapfentiefe)}$$

$$b_{\text{Zapfen}} = 50 \text{ mm (Zapfenbreite)}$$

$$E_0 = 11.000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{90} = 370 \text{ N/mm}^2$$

Berechnung der horizontalen Steifigkeit:

$$C_{v,cal} = \frac{2 \cdot \tan \varphi}{\ln \left( 2 \cdot \frac{k}{m} \cdot \tan \varphi + 1 \right)} \cdot \frac{b_{\text{Netto}}}{2} \cdot E_{90} \cong 138.000 [\text{N/mm}]$$

$$k = \frac{h_G}{b_{\text{Netto}}} = 0,75; \quad m = \frac{\frac{h_s}{\sin \gamma}}{b_{\text{Netto}}} = 1,31$$

mit:

$$\varphi = 45^\circ \text{ (Lastausbreitungswinkel)}$$

$$b_{\text{Netto}} = 285 \text{ mm (Höhe Sparren)}$$

$$h_G = 215 \text{ mm (Höhe Bundtram)}$$

Koordinatentransformation in das lokale Achssystem der Stuhlsäule:

$$C_x = 128.200 \text{ N/mm (Steifigkeit in Stabslängsrichtung)}$$

$$C_z = 61.800 \text{ N/mm}$$

### **Detail Bereich Kehlbalkenebene (D03, D04)**

#### Kopfband – Stuhlsäule und Kopfband – Spannriegel

Der Anschlussknoten ist mit einem schrägen Zapfen mit abgesetztem Versatz realisiert. Über diese Verbindung werden Druckkräfte, Torsionsmomente und geringe Zugkräfte (Holznagel) übertragen. Da die Kopfbandanschlüsse im Tragwerk keine Beschädigung durch Zugbelastungen aufweisen wird auf einen vollständigen Zugausfall dieser Verbindung verzichtet. Die Verbindung wird als ein Vollgelenk modelliert. Die Nachgiebigkeiten werden vereinfacht nur in Stabslängsrichtung angesetzt.

Die Berechnung der Nachgiebigkeiten erfolgt nach HEIMESHOF/KÖHLER [75] und der Anpassung aus [61] zur Berücksichtigung des Versatzes. Daraus folgt die allgemeine Formel:

$$C = (45,2 - 42,1 \cdot \sin^2 \alpha) \cdot \frac{b^*}{12} \cdot \left( 1 + \frac{t_v^* - 2,34}{2,34} \cdot 0,1 \right)$$

$$b^* = b_{\text{Kopfband}} - b_{\text{Zapfen}}$$

$$A^* = b_{\text{Kopfband}} \cdot t_{v,\text{Versatz}} - b_{\text{Zapfen}} \cdot t_{v,\text{Zapfen}}$$

$$t_v^* = A^* / b_{\text{Kopfband}}$$

mit:

$$\alpha \quad \dots \text{Neigung Kopfband}$$

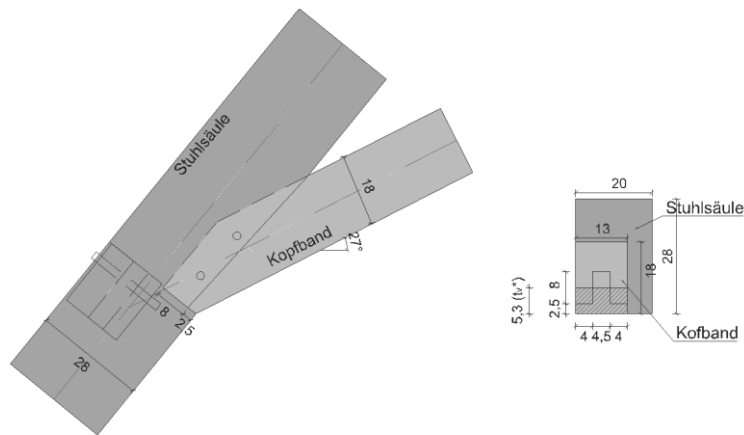
$$b_{\text{Kopfband}} \quad \dots \text{Breite Kopfband [mm]}$$

$$b_{\text{Zapfen}} \quad \dots \text{Breite Zapfen [mm]}$$

$$t_{v,\text{Versatz}} \quad \dots \text{Versatztiefe [mm]}$$

$$t_{v,\text{Zapfen}} \quad \dots \text{Tiefe Zapfen [mm]}$$

Verbindung Stuhlsäule – Kopfband



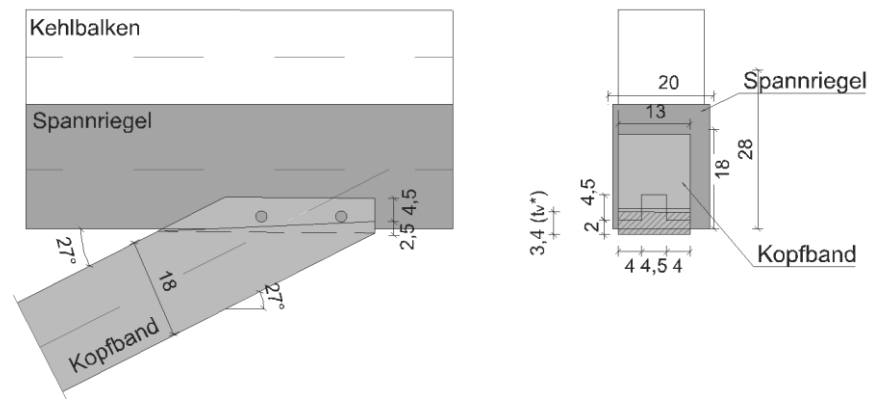
**Abbildung 5-12: Verbindung Kopfband-Stuhlsäule**

$$C = (45,2 - 42,1 \cdot \sin^2 \alpha) \cdot \frac{b^*}{12} \cdot \left( 1 + \frac{t_v^* - 2,34}{2,34} \cdot 0,1 \right) = 30.000 \text{ [N/mm]}$$

Geometrie:

$\alpha$	= 26°	$b^*$	= 130 - 45 = 85 [mm]
$b_{\text{Kopfband}}$	= 130 mm	$A^*$	= 130 · 25 + 45 · 80 = 6850 [mm <sup>2</sup> ]
$b_{\text{Zapfen}}$	= 45 mm	$t_v^*$	= 6850 / 130 = 53 [mm]
$t_{v, \text{Versatz}}$	= 25 mm		
$t_{v, \text{Zapfen}}$	= 80 mm		

Verbindung Kopfband – Spannriegel



*Abbildung 5-13: Verbindung Kopfband-Spannriegel*

$$C = (45,2 - 42,1 \cdot \sin^2 \alpha) \cdot \frac{b^*}{12} \cdot \left( 1 + \frac{t_v^* - 2,34}{2,34} \cdot 0,1 \right) = 29.000 \text{ [N/mm]}$$

Geometrie:

$\alpha$	= 26°	$b^*$	= 130 – 40 = 90 [mm]
$b_{\text{Kopfband}}$	= 130 mm	$A^*$	= 130 · 20 + 40 · 45 = 4400 [mm <sup>2</sup> ]
$b_{\text{Zapfen}}$	= 40 mm	$t_v^*$	= 4400 / 130 = 34 [mm]
$t_{v,\text{Versatz}}$	= 20 mm		
$t_{v,\text{Zapfen}}$	= 45 mm		

## Stuhlsäule – Rähm

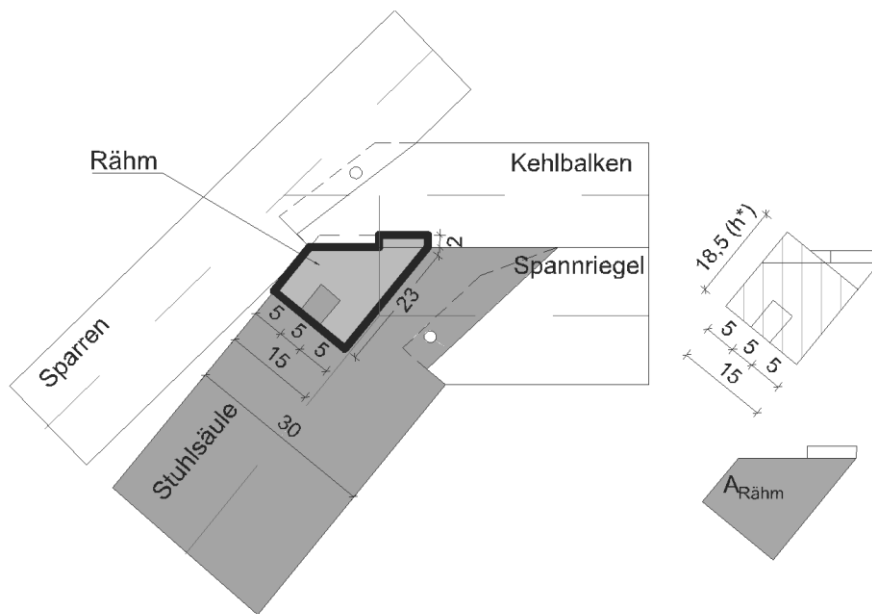


Abbildung 5-14: Verbindung Rähm-Stuhlsäule

Die Verbindung vom Rähm an die Stuhlsäule erfolgt über einen einfachen Zapfen mit einseitigem Hals. Diese Verbindung kann Druckkräfte und über den Zapfen Torsionsmomente übertragen. Deshalb wird für diese Verbindung ein Vollgelenk mit Nachgiebigkeiten in Stablängsrichtung der Stuhlsäule modelliert. Bei Zugkräften fällt diese Verbindung aus. Die Steifigkeit wird nach dem folgenden Berechnungsansatz ermittelt:

$$C_{Druck} = E_{90} \cdot \frac{A_{Netto}}{h^*} \cong 38.000 \text{ [N/mm]}$$

$$A_{Netto} = (50+50) \cdot 190 = 19.000 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$E_{90} = 370 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

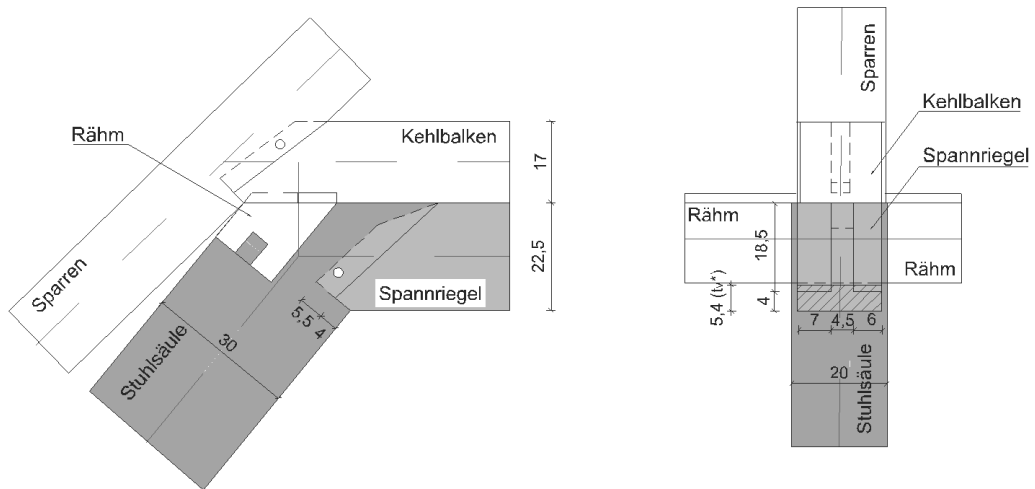
Für den ungleichmäßigen Querschnitt des Rähms muss eine Annahme für die wirksame Höhe  $h$  getroffen werden. Diese Annahme erfolgt nach [61]:

$$A_{Rähm} = 27.750 \text{ mm}^2$$

$$b^* = 150 \text{ mm}$$

$$h^* = A_{Rähm} / b^* = 185 \text{ mm}$$

Spannriegel – Stuhlsäule



*Abbildung 5-15: Verbindung Spannriegel-Stuhlsäule*

Der Spannriegel ist mit einem Riegelzapfen an die Stuhlsäule angeschlossen. Die Kraftübertragung erfolgt über Druckkräfte und Torsionsmomente, gegen gering auftretende ist die Verbindung mit einem Holznagel gesichert. Modelliert wird die Verbindung mit einem Vollgelenk und Nachgiebigkeit in Stablängsrichtung des Spannriegels.

Die Berechnung erfolgt nach HEIMESHOFF u. KÖHLER [75]:

$$C = (45,2 - 42,1 \cdot \sin^2 \alpha) \cdot \frac{b}{12} \cdot \left( 1 + \frac{t_v - 2,34}{2,34} \cdot 0,1 \right)$$

Nachgiebigkeit in [kN/mm], Abmessungen der Geometrie in [cm] angeben.

Da die Formel den abgesetzten Versatz nicht berücksichtigt, wurde die Formel entsprechend nach [61] angepasst:

$$C = (45,2 - 42,1 \cdot \sin^2 \alpha) \cdot \frac{b^*}{12} \cdot \left( 1 + \frac{t_v^* - 2,34}{2,34} \cdot 0,1 \right) \cong 26 \text{ [kN/mm]} \cong 26.000 \text{ [N/mm]}$$

$$b^* = b_{\text{Spannriegel}} - b_{\text{Zapfen}} = 180 - 45 = 135 \text{ mm} = 13,5 \text{ cm}$$

$$A^* = b_{\text{Spannriegel}} \cdot t_{v,\text{Versatz}} - b_{\text{Zapfen}} \cdot t_{v,\text{Zapfen}} = 180 \cdot 40 + 45 \cdot 55 = 9675 \text{ mm}^2$$

$$t_v^* = A^* / b_{\text{Spannriegel}} = 54 \text{ mm} = 5,4 \text{ cm}$$

$$\alpha = 50^\circ$$

## Kehlbalken – Sparren

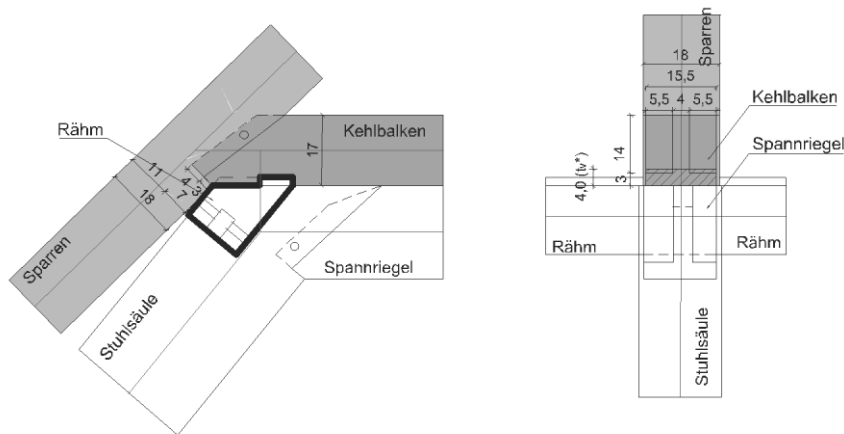


Abbildung 5-16: Verbindung Kehlbalken-Sparren

Der Kehlbalken ist ebenfalls mit einem Riegelzapfen an den Sparren angeschlossen. Die Kraftübertragung erfolgt über Druckkräfte und Torsionsmomente, gegen gering auftretende Zugkräfte ist die Verbindung mit einem Holznagel gesichert. Modelliert wird die Verbindung mit einem Vollgelenk und Nachgiebigkeit in Stablängsrichtung des Spannriegels.

Die Berechnung erfolgt nach HEIMESHOFF/KÖHLER [75] mit entsprechend angepasster Formel nach [61] :

$$C = (45,2 - 42,1 \cdot \sin^2 \alpha) \cdot \frac{b^*}{12} \cdot \left( 1 + \frac{t_v^* - 2,34}{2,34} \cdot 0,1 \right) \cong 24 \text{ [kN/mm]} \cong 24.000 \text{ [N/mm]}$$

$$b^* = b_{\text{Spannriegel}} - b_{\text{Zapfen}} = 155 - 40 = 115 \text{ mm} = 11,5 \text{ cm}$$

$$A^* = b_{\text{Spannriegel}} \cdot t_{v,\text{Versatz}} - b_{\text{Zapfen}} \cdot t_{v,\text{Zapfen}} = 155 \cdot 30 + 40 \cdot 40 = 6.250 \text{ mm}^2$$

$$t_v^* = A^* / b_{\text{Spannriegel}} = 40,3 \text{ mm} = 4,03 \text{ cm}$$

$$\alpha = 46^\circ$$

### Detail Stuhlwand (D08):

Die Verbindung Brustriegel – Stuhlsäule ist ein einfacher Zapfen, welcher wegen der untergeordneten Bedeutung aus statischer Sicht vereinfacht als Vollgelenke modelliert wird. Windstrebe – Rähm sowie Windstrebe - Stuhlsäule werden als Vollgelenke mit Nachgiebigkeiten modelliert. Für die Verbindungen der Windstreben mit dem Rähm und der Stuhlsäule, jeweils ein schräger Zapfen mit Holznagel, wird vereinfacht  $C_v = C_h = 100 \text{ kN/mm}$  nach KOCH [74] angesetzt. Die Windverbände sind mit einer Kreuzüberblattung mit dem Brustriegel verbunden. Bei dieser Verbindung können Druck- und Zugkräfte, aber keine Momente übertragen werden, weshalb hier ein Scherengelenk modelliert wird.

### Dachlatten

Das Tragvermögen der Dachlatten kann vor allem in Bereichen von Ichen, Gaupen und Walmen einen starken Einfluss auf das globale Tragverhalten haben. Es können hierbei zwei wichtige Effekte unterschieden werden, die Scheibentragswirkung (in der Ebene) und die Plattentragswirkung (normal auf die Ebene). Das Tragvermögen entsteht dabei durch die Dehnsteifigkeit in Richtung der Dachlatten (vgl. [6]).

Das Dachtragwerk kann im Bereich der Dachverschneidung ohne die Dachlatten nicht realitätsnah modelliert werden. Einige Leergespärre würden einfach „umkippen“. Da der Eingabeaufwand sehr hoch wäre, jede Dachlatte einzeln einzufügen, werden diese zu virtuellen Querschnitten zusammengesoben. Insgesamt werden 6 Dachlatten je Dachseite modelliert. Die Modellbildung der Knotenpunkte Dachlatte – Sparren erfolgt wie von MEISEL in [6] vorgeschlagen.

Bei den in [6] durchgeführten Versuchen wird als äquivalente Drehfedersteifigkeit für zwei Holznägel (im Abstand von 8 cm) folgender Wert ermittelt:  $C_s \approx 2500 \text{ Nm/rad}$ .

Für die Nachgiebigkeit eines Holznagels nach ÖNORM EN 1995-1-1 (Tabelle 7.1) gilt:

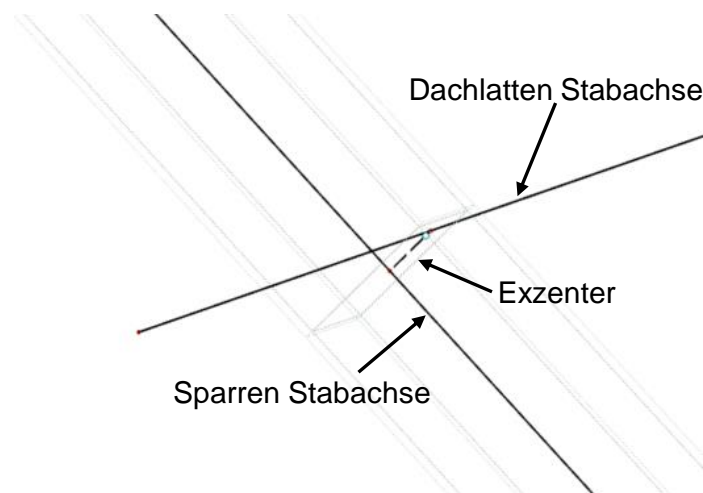
$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \cdot d^{0,8}}{30} = \frac{420^{1,5} \cdot 3,1^{0,8}}{30} \approx 710 \text{ [N/mm]}$$

mit:

$$\rho_m = 420 \text{ kg/m}^3$$

$$d = 3,0 \text{ mm (Annahme)}$$

Die Dachlatten werden mithilfe eines Exzenterstabes, definiert als Starrstab, angeschlossen. Starrstäbe können als Kopplung für die Verschiebungen zwischen zwei Knotenpunkten verwendet werden. In den Stabendgelenken lassen sich Federsteifigkeiten und Nichtlinearitäten modellieren. Numerische Probleme werden durch die Anpassung der Steifigkeiten an das System verhindert. Die Modellierung von Dummy-Stäben ist somit nicht mehr erforderlich (vgl. [64]). Der Anschluss an den Sparren ist „steif“ und wird am Stabendgelenk, wie in Abbildung 5-17 dargestellt ist, modelliert.



$u_x$	$u_y$	$u_z$	$\varphi_x$	$\varphi_y$	$\varphi_z$
starr	$K_{ser}$	$K_{ser}$	$C_s$	gelenkig	gelenkig

**Abbildung 5-17: Modellbildung Knotenpunkt Sparren-Dachlatte**

Der virtuelle Querschnitt der Dachlatte entspricht in etwa 10 „zusammengesobenen“ Dachlatten, dadurch ergibt sich für die berechneten Federsteifigkeiten eine Parallelschaltung und diese können addiert werden. Somit ergibt sich für  $K_{ser} = 7100 \text{ N/mm}$  und für die Drehfedersteifigkeit  $C_s = 25000 \text{ Nm/rad}$ .



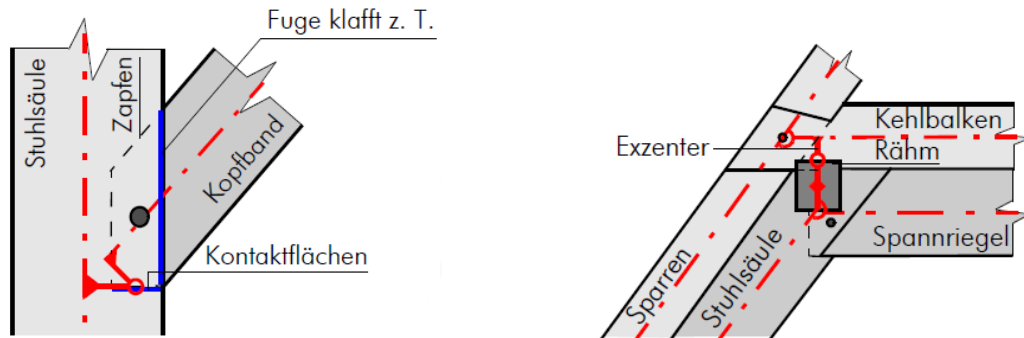
## 5-4.6.3 Zusammenfassung der Anschlusssteifigkeiten

Tabelle 5-10: Anschlusssteifigkeiten

Gelenk Nr.	Bezug System	Axial/Quer-Gelenk bzw. Feder [kN/m]			Momentengelenk bzw. Feder [kNm/Rad]			Anschlussknoten
		$u_x$	$u_y$	$u_z$	$\varphi_x$	$\varphi_y$	$\varphi_z$	
1	Lokal x,y,z	starr	starr	starr	starr	✓	✓	Vollgelenk
2	Global X,Y,Z	starr	starr	starr	Scheren	Scheren	Scheren	Windstreben, Hängesäulen (Überblattungen)
4	Lokal x,y,z	Fest falls N negativ	starr	starr	starr	✓	✓	Ausfall bei Zug, Sparrenknechte (stumpfer Stoß, Zapfen)
5	Lokal x,y,z	starr	7100	7100	25	0,010	✓	Dachlatten Nagelverbindung
6	Lokal x,y,z	31000	starr	starr	starr	✓	✓	Kopfband-Stuhlsäule/Spannriegel (schräger Zapfen mit abgesetzten Versatz und Holznägel)
7	Lokal x,y,z	24000	starr	starr	starr	✓	✓	Kehlbalken-Sparren (Riegelzapfen mit Holznagel)
8	Lokal x,y,z	24000	starr	starr	starr	✓	✓	Spannriegel-Rähm (Riegelzapfen mit Holznagel)
9	Lokal x,y,z	75300	starr	5300	starr	✓	✓	Sparren-Bundtram (schräger Zapfen, Ausfall bei Zug)
11	Lokal x,y,z	128200	starr	61800	starr	✓	✓	Stuhlsäule-Bundtram (schräger Zapfen, Ausfall bei Zug)
12	Lokal x,y,z	41800	starr	starr	starr	✓	✓	Stuhlsäule-Rähm (einseitiger Hals mit einfachen Zapfen, Ausfall bei Zug)
13	Lokal x,y,z	137000	starr	34000	starr	✓	✓	Windstreben-Stuhlsäule/Rähm (schräger Zapfen mit Holznagel)

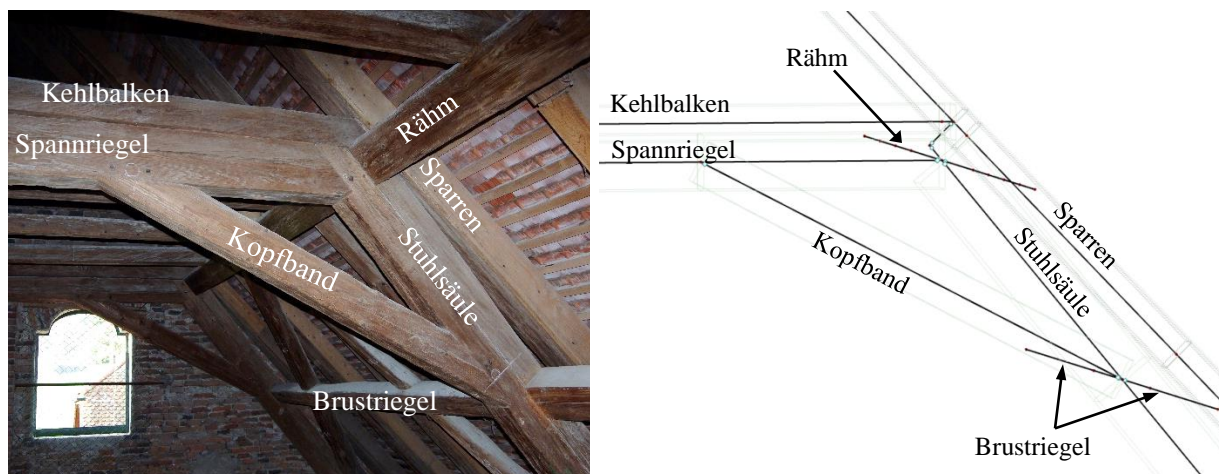
#### 5-4.6.4 Exzentrizitäten

Nach Eurocode 5 [70] sind die Exzentrizitäten von Verbindungen zu berücksichtigen. Exzenter kommen zur Anwendung, wenn durch die Exzentrizitäten in den Verbindungsknoten zusätzliche Biegemomente zu erwarten sind oder die Systemgeometrie diese erforderlich machen. Abbildung 5-18 zeigt die Anwendung von Exzentrern in der Modellbildung, links für eine zimmermannsmäßige Verbindung und rechts erfordert die Geometrie den Einsatz von Exzentrern.



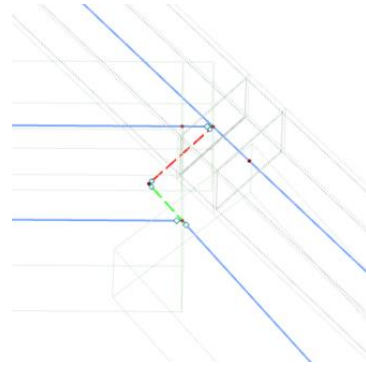
**Abbildung 5-18: Anordnung von Exzentrern**  
(Links: Kopfband mit zwei Kontaktflächen, Rechts: Knoten Rähm liegender Stuhl)

Nahezu alle zimmermannsmäßigen Verbindungen besitzen Exzentrizitäten und die Lasteinleitung erfolgt oftmals über mehrere Flächen. Auch sind bei den Exzentrern verschiedene Modelle für Zug- und Druckkräfte erforderlich. Für regelmäßige Bereiche wurden in [60], [61] Kahlbalkendächer mit liegenden Stühlen konsequent mit Exzentrizitäten und Nachgiebigkeiten der Verbindungen modelliert. Für einen gleichmäßigen Bereich, bereits mit entsprechenden Vereinfachungen, ist der Eingabeaufwand noch vertretbar. Für das vorliegende unregelmäßige Dachtragwerk, vor allem für den Bereich der Ichsensparre, wäre die Berücksichtigung der Exzentrizitäten mit einem sehr hohen Eingabeaufwand verbunden und würde zu einem sehr unübersichtlichen Modell führen. Des Weiteren waren gerade die Knotenpunkte der Ichsensparre nicht zugänglich. In diesen Bereichen befinden sich auch zahlreiche nicht fachgerechte Instandsetzungen. Die genauen Anschlussgeometrien der Verbindungen war deshalb großteils nicht ermittelbar bzw. teilweise auch gar nicht mehr vorhanden. Aus diesen Gründen wird auf den Einsatz von Exzentrern für die zimmermannsmäßigen Verbindungen bei der Modellbildung verzichtet. Eine Ausnahme sind die Knotenpunkte Sparren-Dachlatten. Diese wurden mithilfe eines Exzentrers modelliert. Ebenso war die Anwendung von Exzentrern aus geometrischen Gründen in der Rahmenecke des liegenden Stuhles notwendig, da sich hier die Systemlinien der Bauteile nicht schneiden. Abbildung 5-19 zeigt die Rahmenecke des liegenden Stuhles in der Wirklichkeit und die vereinfachte Modellbildung.



**Abbildung 5-19: Wirklichkeit und vereinfachte Modellbildung.**

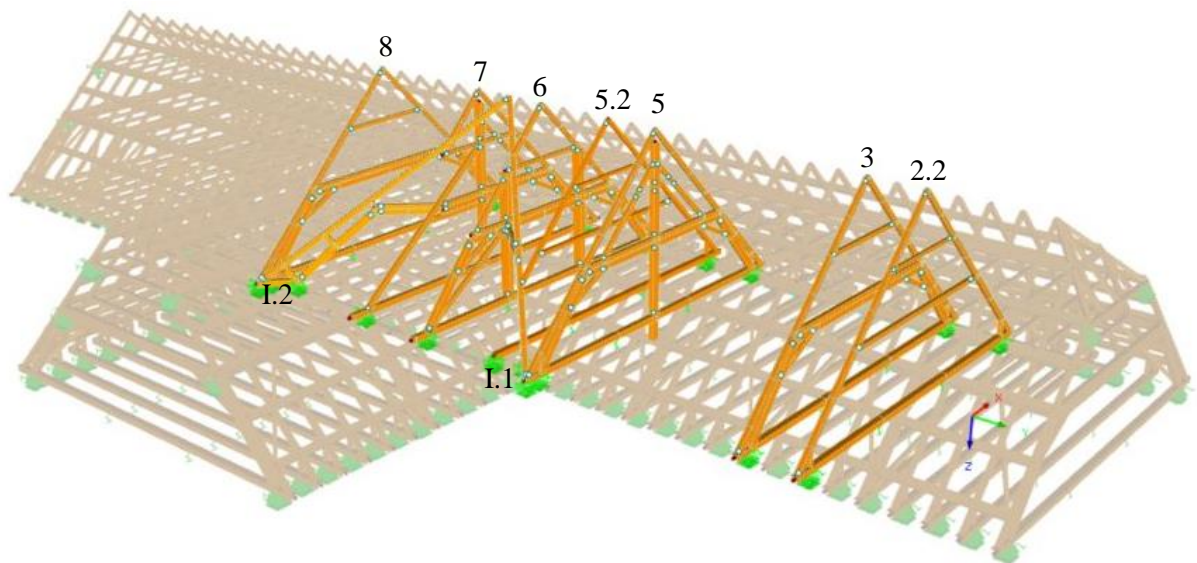
Für die Kopplung zwischen Kehlbalken und liegenden Stuhl wird der Stabtyp „Kopplung“ verwendet. Dieser Stabtyp ist ein virtueller, sehr steifer Stab. Die Eigenschaften können als gelenkig oder steif modelliert werden (vgl. [76]). Die Kopplung wird mit zwei Koppelstäbe modelliert. Der erste Koppelstab (grün) stellt die Stabachsenverlängerung der Stuhlsäule dar und schließt mit dem zweiten Koppelstab (rot) normal an den Sparren an. Der Koppelstab wird nicht vertikal zum Kehlbalken geführt, da an dieser Stelle sonst ein sehr kleiner Querschnitt des Kehlbalkens eine sehr große Schubbelastung erfährt, die in der Realität so nicht vorhanden ist. Eine vereinfachte Modellierung mit nur einem Koppelstab (von Kopfpunkt der Stuhlsäule schräg zum Sparren verlaufend) würde durch die Exzentrizität zu ungewollten Normalkraftsprung in dem Bereich des Kehlbalkens führen.



*Abbildung 5-20: Kopplung  
liegender  
Stuhl.*

## 5-5 ERGEBNISSE UND INTERPRETATION

Die genauen Berechnungsergebnisse der maßgebenden Lastkombinationen für Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS-EK 1) und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS-EK 2-4) befinden sich im Anhang D. Die Ergebniskombinationen (EK) sind dabei eine Umhüllende der überlagerten Lastfallkombinationen, mit jeweils den maximalen und minimalen Werten. Die Darstellung am gesamten Modell ist aufgrund der Komplexität nicht möglich, deshalb werden repräsentative Achsen für die Auswertung ausgewählt. Für den Regelbereich wird das Vollgespärre 3 und das Leergespärre 2.2, für den Bereich der Dachverschneidung wird Vollgespärre 6 mit I.1 und 7 mit I.2 ausgewählt. Des Weiteren wird das Vollgespärre 5, 5.2 und 8 genauer betrachtet, da dort die größten Auswirkungen aus dem Ichnsbereich auftreten. Die ausgewählten repräsentativen Achsen sind in Abbildung 5-21 dargestellt.



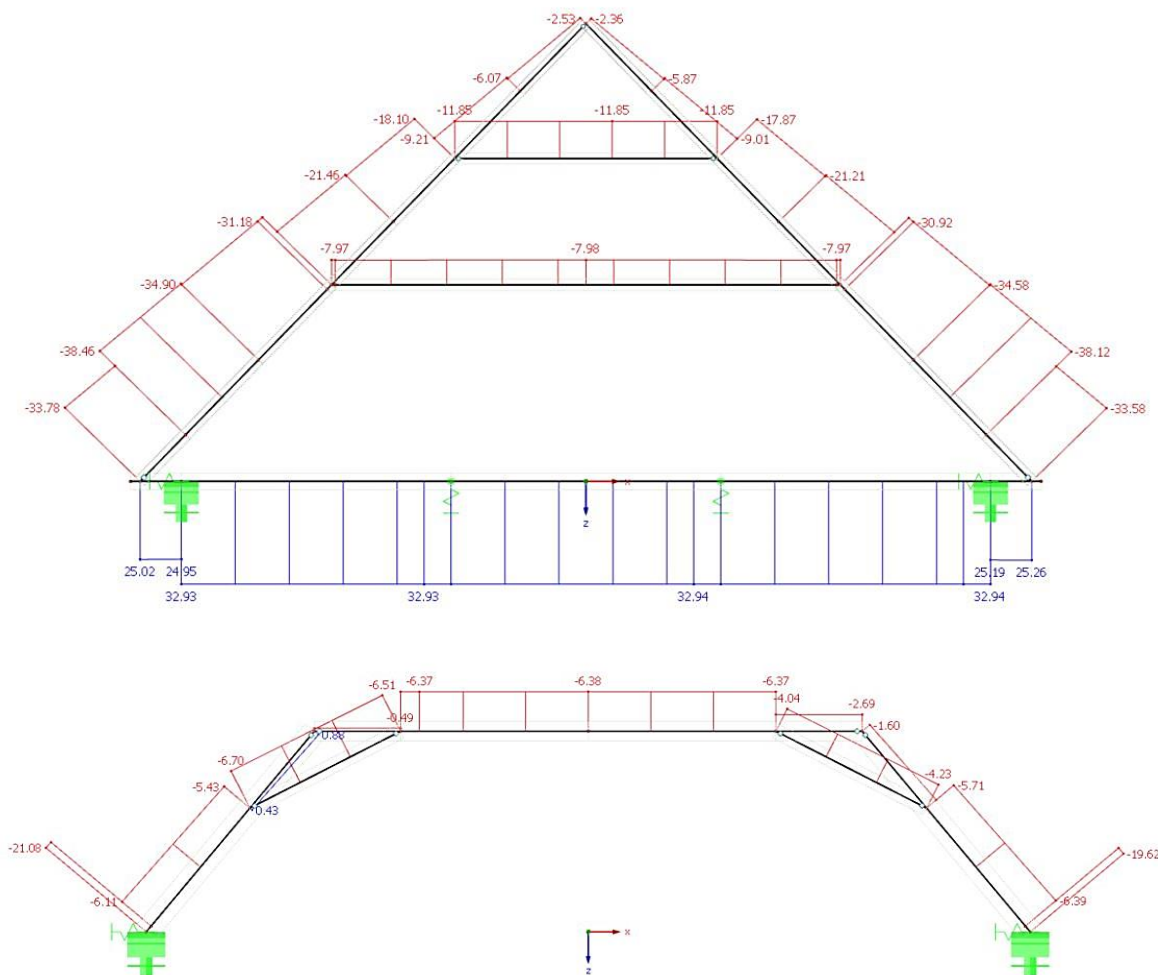
*Abbildung 5-21: Repräsentative Achsen*

Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse aus der Auswertung der statischen Analyse zusammengefasst. Wie bereits erwähnt erfolgt die Modellbildung im ersten Schritt für ein schadenfreies System (IST-Zustand).

## 5-5.1 GLOBALES TRAGVERHALTEN DER REGELBEREICHE

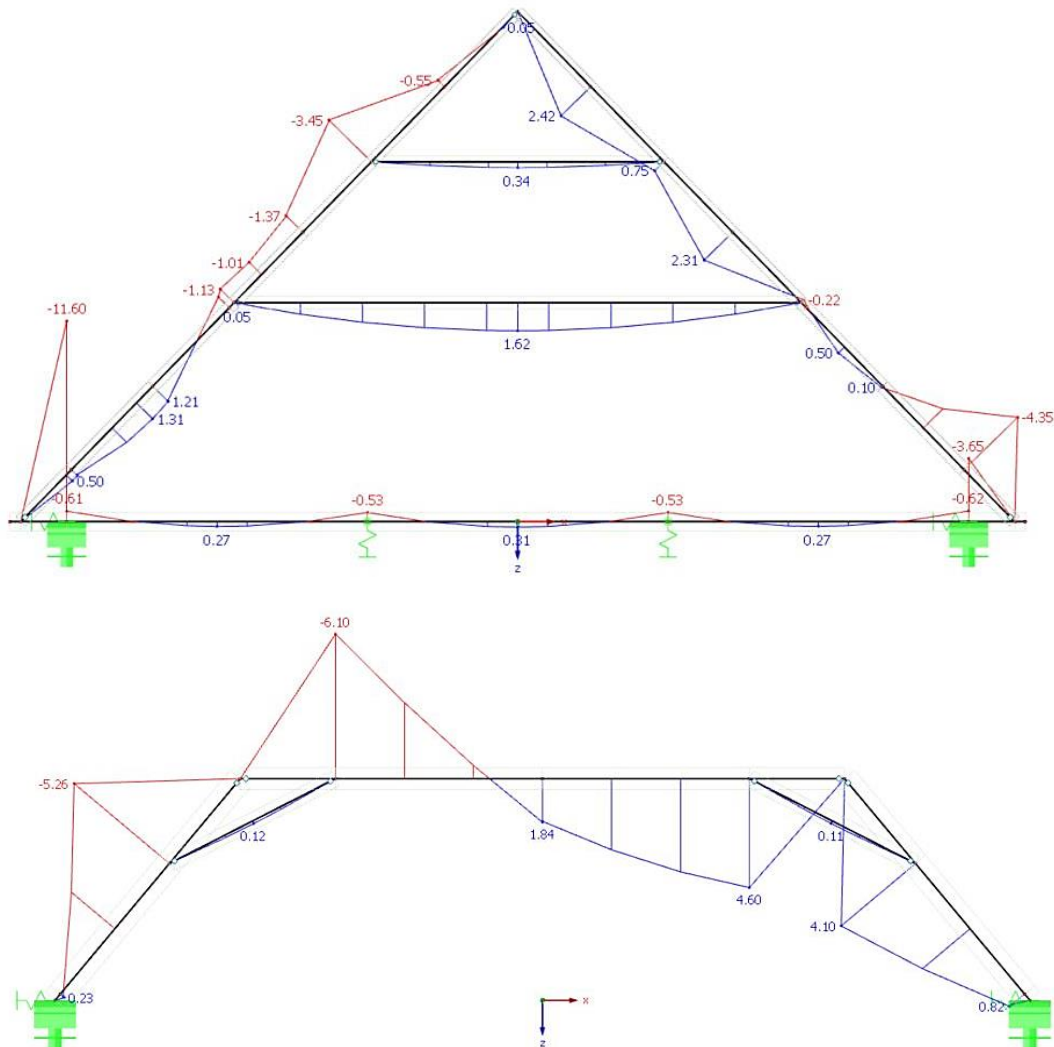
Zuerst wird die Tragwirkung von dem Dachtragwerk in den Regelbereichen untersucht. Die globale Lastabtragung ist ein Mischsystem aus sparren- und pfettendachartiger Lastabtragung. Das Dachtragwerk besitzt firstnormale und firstparallele Konstruktionsteile. Abhängig von dem Steifigkeitsverhältnis zwischen liegendem Stuhl und Kehlbalkendach, ähnelt die Lastabtragung eher einem Sparren- oder einem Pfettendach. Zusätzlich hängt die Lastabtragung von der Art der Belastung ab, symmetrisch oder asymmetrisch.

Bei symmetrischer Belastung ist die Lastabtragung weitgehend sparrendachartig. Die wesentliche Belastung der Sparren sind Drucknormalkräfte und Biegemomenten. Die Sparren und der Bundtram bilden gemeinsam ein unverschiebliches Dreieck. Die horizontalen Auflagerkräfte werden im Bundtram kurzgeschlossen; dieser erhält somit Zugkräfte. Der liegende Stuhl, trotz deutlich massiverer Querschnitte, übernimmt kaum Lasten bei symmetrischer Belastung. Die Ursache davon ist die komplizierte Lasteinleitung in den liegenden Stuhl, bei welchem die Lastweiterleitung oftmals unterbrochen wird, dadurch ist dieser Anschluss „weicher“ als der durchlaufende Sparren. Die Lastabtragung für symmetrische Belastung ist in Abbildung 5-22 für die Lastfallkombination LK 30 (Eigengewicht und Schnee Volllast) von Vollgespärre 3 dargestellt.



**Abbildung 5-22: Lastabtragung Regelgespärre**  
*Oben: Normalkraftverlauf Bundtram, Sparren, Kehlbalken, Hahnenbalken*  
*Unten: Normalkraftverlauf an liegendem Stuhl.*

Der liegende Stuhl wird vorrangig bei asymmetrischen Lasten aktiviert. Die horizontalen Lasten werden über die Verkämmung zwischen Kehlbalken und Rähm in den liegenden Stuhl weitergeleitet. Somit werden die Sparren entlastet und die Verformungen dieser reduzieren sich ebenfalls. Der Momentenverlauf  $M_y$  für die asymmetrische Lastfallkombination LK 7 (Eigengewicht und Wind) bei Vollgespärre 3 ist in Abbildung 5-23 dargestellt.



**Abbildung 5-23: Lastabtragung asymmetrischen Belastung Momentenverlauf  $M_y$   
 oben: Bundtram, Sparren, Kehlbalken, Hahnenbalken, unten: liegender Stuhl.**

Diese Ergebnisse stimmen mit bereits durchgeführten Untersuchungen zum Tragverhalten von Kehlbalkendächern mit liegenden Stühlen qualitativ überein (vgl. [53], [12], [6] [60]).

Die Leergespärre in den Regelbereichen werden durch den liegenden Stuhl kaum beeinflusst, da die Stuhlwand parallel zum Sparren verläuft und somit nur Momente um ihre schwache Achse aufnehmen kann. Bei einem Vergleich war zwischen den Schnittkräften kaum ein Unterschied feststellbar, ob das Leergespärre mit dem Rähm gekoppelt ist oder nicht. Auf die Tragwirkung der Leergespärre wird an dieser Stelle nicht genauer erörtert, detailliertere Ergebnisse können jedoch dem Anhang D entnommen werden.

## 5-5.2 TRAGVERHALTEN DER ICHSEN

Die Ichsengespärre entsprechen grundsätzlich dem Konstruktionsprinzip der Vollgespärre. Beim Tragverhalten ergibt sich eine sparrendachartige Lastabtragung, wobei auch der Stuhl einen wesentlichen Anteil der Drucknormalkräfte übernimmt. Bei dem Momentenverlauf zeigt sich eine ähnliche Lastabtragung wie bei den Vollgespärren. Die Sparren erhalten die wesentliche Belastung aus Drucknormalkräften und Biegemoment, während die Ichsenstühle kaum Momentenbeanspruchung erhalten. Durch die räumliche Lage der Ichsengespärre ist die Unterscheidung in symmetrische bzw. unsymmetrische Belastung nicht mehr möglich. Ebenfalls werden die Schnittkraftverläufe durch den asymmetrisch Anschluss an das Hauptdach beeinflusst. Der Normalkraftverlauf und die Verformung infolge LK 30 ist in Abbildung 5-24 dargestellt. Es ist eine leichte Verformung der Ichsengespärre nach links zu erkennen, obwohl LK 30 grundsätzlich eine Lastkombination mit symmetrischen Lastbild ist.

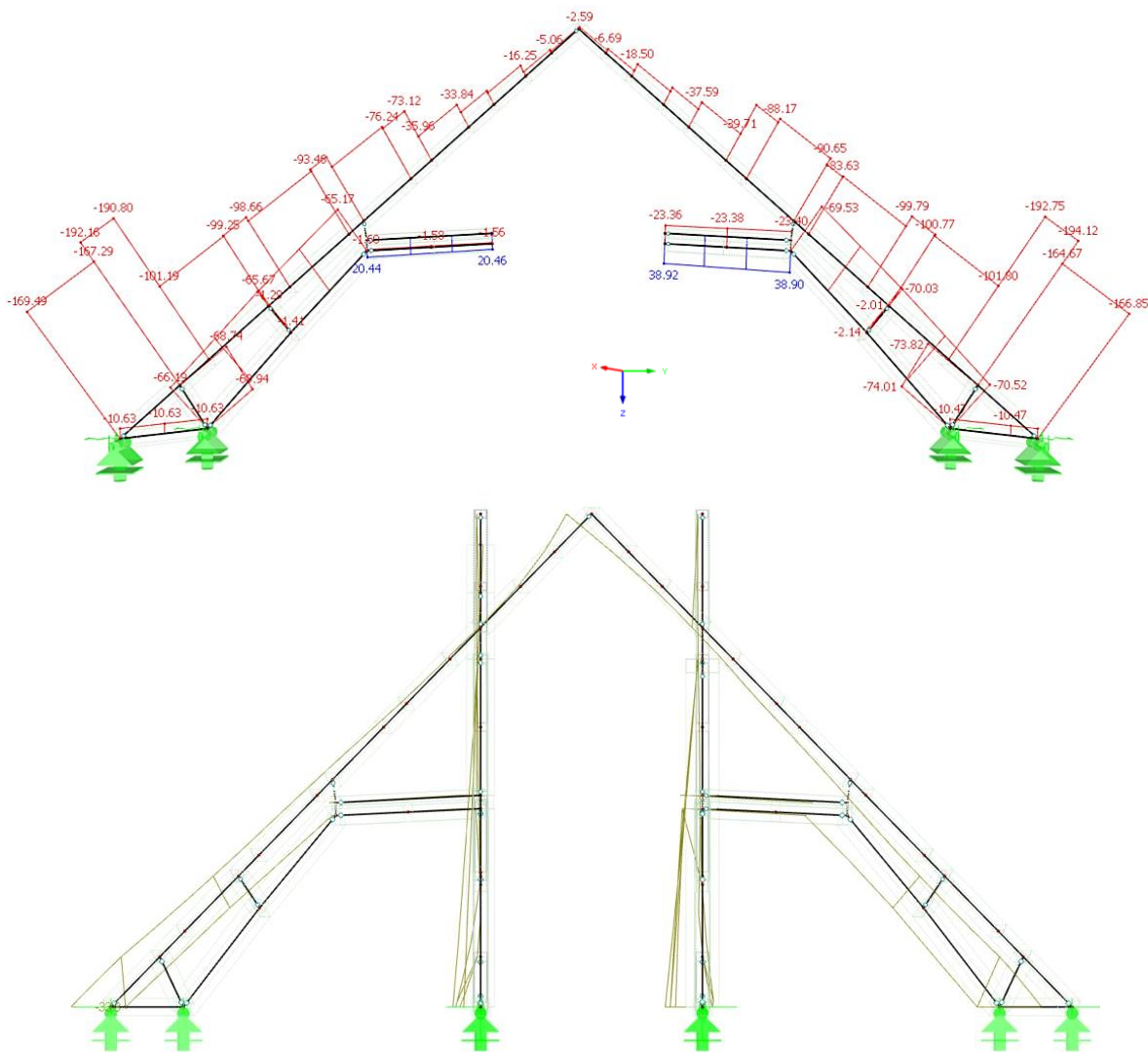


Abbildung 5-24: Normalkraftverlauf (oben) und Verformung (unten) der Ichsengespärre I.1, I.2 infolge LK 30

Die Lasten aus den Ichsensparren werden zum Teil über die Ichsenstuhlsäulen abgetragen und zum anderen Teil in den Spannriegel und Kehlbalken der Vollgespärre 6 und 7 übertragen. Genau genommen sind beide Ichsengespärre an das Vollgespärre 6 angeschlossen, obwohl dieses nicht mittig des Anbaus bzw. nicht exakt in dessen Firstlinie liegt. Da das Vollgespärre 6 mit den beiden Hängesäulen und der zusätzlichen Strebe wesentlich steifer ist, als das Vollgespärre 7, muss dieses mehr Lasten übertragen. Die genaue Kopplung zwischen Ichsensparren und Ichsenstuhl war aufgrund der fehlenden Zugänglichkeit nicht feststellbar.

Bei der Verformung zeigen sich bereits große Unterschiede, während die Verformung für Vollgespärre 3 bei etwa 32 mm liegt, ist diese beim Firstpunkt der Ichsengespärre bei etwa 123 mm. Hier ist jedoch anzumerken, dass durch die vereinfachte Modellierung der Dachlatten größere Verformungen im Firstpunkt der Ichsens möglich sind. Die Ichsengespärre schließen im Hauptdach an die Vollgespärre 6 und 7 in der ersten Kehlbalkenebene an, wobei das Vollgespärre 7 „abgeschnitten“ (siehe Abbildung 4-34) ist und das Ichsengespärre I.2 ebenfalls an das Vollgespärre 6 anschließt. Der Anschluss der Ichsengespärre an das Hauptdach ist dementsprechend asymmetrisch ausgebildet, was vermutlich auch die Ursache für die ermittelte asymmetrische Verformung ist.



### 5-5.3 EINFLUSS DES ICHSENGESPÄRRES AUF DAS GLOBALE TRAGVERHALTEN

Das vorliegende Tragwerk ist kein regelmäßiges Tragwerk, das globale Lastabtragungsverhalten wird maßgeblich von der Dachverschneidung beeinflusst. In dem Bereich der Ichsengespärre treten auch die größten Verformungen auf. In Abbildung 5-25 sind die globalen Verformungen infolge der Ergebniskombination EK 4 (quasi-ständig) dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, wie sich das Nebendach an das Hauptdach „anlehnt“. Infolgedessen ergibt sich für das Dachtragwerk auch eine deutliche Verformung in globaler X-Richtung im Bereich der Dachverschneidung. Ebenso „schiebt“ das Nebendach die Konstruktion nach außen, wie im Grundriss zu erkennen ist. Anhand der Verformungen wird deutlich, dass die Dachverschneidung nicht nur lokale Auswirkungen hat, sondern das gesamte Tragsystem beeinflusst.

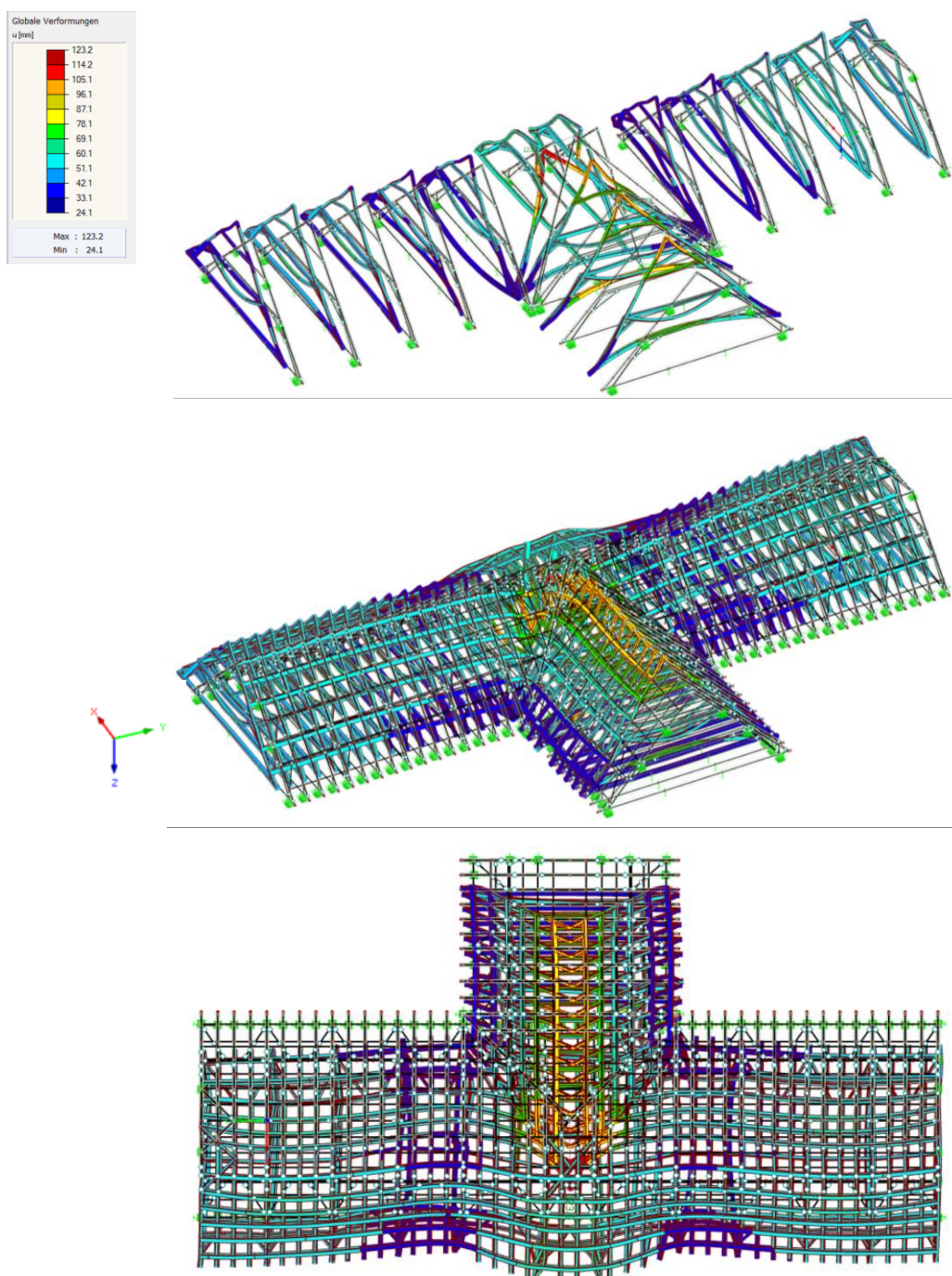


Abbildung 5-25: globale Verformung infolge EK 4 (Max-Werte, 50-fach überhöht)  
 Oben: Primärtragwerk, Mitte: Gesamtes Tragsystem, unten: Verformung Grundriss

Das Tragwerk ist durch die Dachverschneidung asymmetrisch ausgebildet. Besonders die Leergespärre in dem Bereich zwischen Vollgespärre 5 und 6 bzw. 7 und 8 bilden keine unverschieblichen Sparrendreiecke mehr aus. In Abbildung 5-26 sind links die Schnittkräfte infolge der Lastfallkombination LK 30 (Eigengewicht und Schnee) des Leergespärres 2.2 (Regelbereich) und rechts des Leergespärres 5.2 dargestellt. Bei dem Vergleich der Normalkraftbeanspruchung ist bei LG 2.2 die sparrendachartige Lastabtragung gut zu erkennen. Mit dem unverschieblichen Dreieck erfahren die Sparren hauptsächlich eine Beanspruchung aus Drucknormalkräften. Bei LG 5.2 betragen die Druckkräfte nur noch ein Drittel und da kein Dreieck mehr besteht, können die Horizontalkräfte nicht im Bundtram kurzgeschlossen werden. In diesem Bereich erfolgt die Lastabtragung über die firstparallelen Konstruktionsglieder (Rähm, Dachlatten, Stuhlwand). Dadurch nimmt die pfettedachartige Lastabtragung bzw. die auftretenden Biegemomente zu.

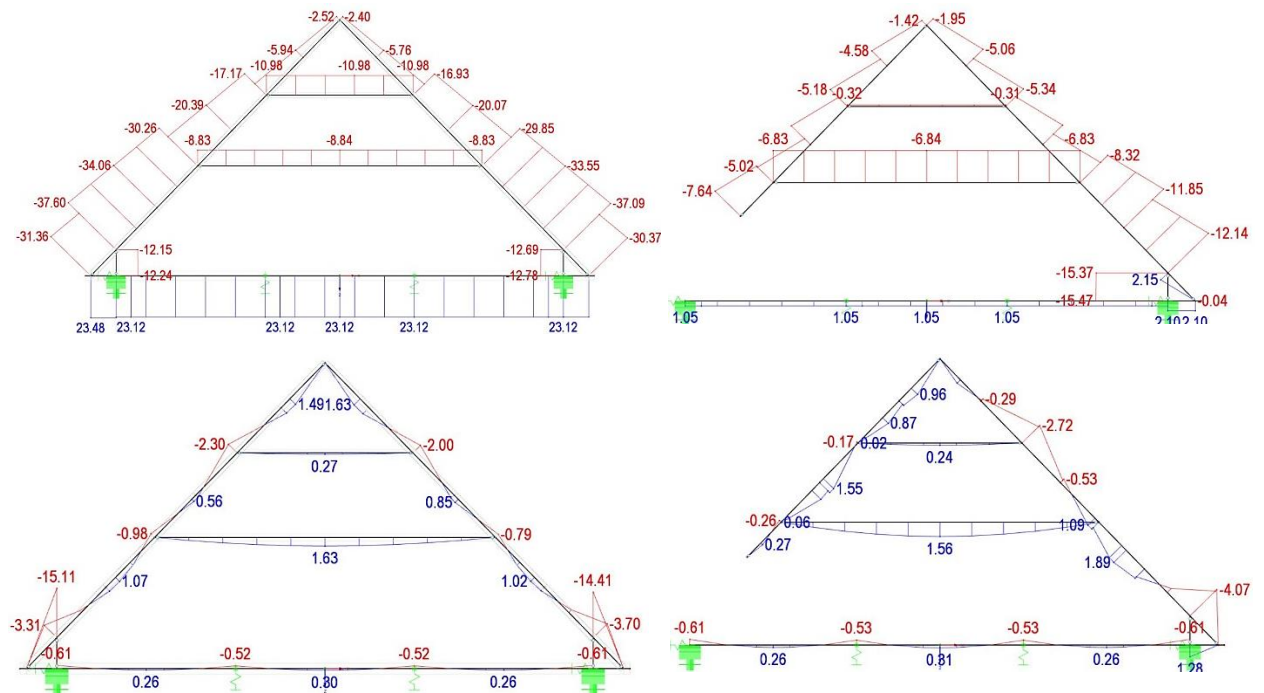


Abbildung 5-26: Normalkraftverlauf  $N$  (oben) und Momentenverlauf  $M_y$  (unten) infolge LK 30 (links: Leergespärre 2.2, rechts: Leergespärre 5.2)

Diese Veränderung der Tragwirkung von vorwiegend sparrendachartig hin zu einer eher pfettendachartigen Abtragung, ist auch am Biegemomentenverlauf im Rähm erkennbar. Die Biegebeanspruchung im Rähm ist zwischen Vollgespärre 5 und 8 wesentlich größer als in den regelmäßigen Bereichen. Die Biegebeanspruchung für den Rähm ist in Abbildung 5-27 für die Lastfallkombination LK 1 (Eigengewicht) dargestellt.

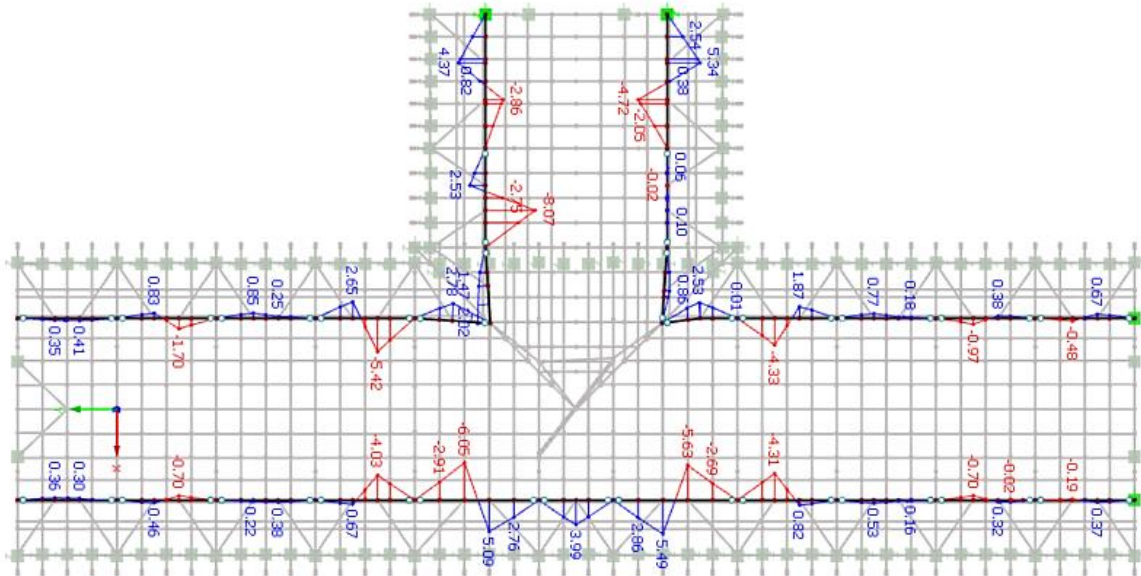


Abbildung 5-27: Momentenverlauf  $M_y$  (LK 1)

Ebenso weisen die anderen Konstruktionsglieder in firstparalleler Richtung im Bereich der Dachverschneidung ein anderes Tragverhalten auf, als in den Regelbereichen. Abbildung 5-28 zeigt den Momentenverlauf  $M_z$  der Dachlatten (auf Höhe der Kehlbalkebene, südöstliche Seite) infolge von LK 1. Auch hier sind deutlich die Auswirkungen der Dachverschneidung zu erkennen.

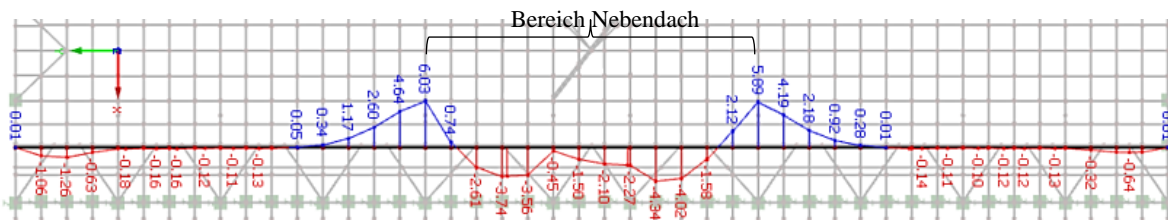


Abbildung 5-28: Momentenverlauf ( $M_z$ ) der mittigen Dachlatten infolge LK 1

Die Biegebeanspruchung der Dachlatten steigt zunehmend vom First  $M_{z,Max} = 5,45$  kNm, über die mittigen Dachlatten mit  $M_{z,Max} = 6,03$  kNm (siehe Abbildung 5-28) zum Fußpunkt mit  $M_{z,Max} = 6,33$  kNm. Die Schnittkraftverläufe der Dachlatten zeigen auch, dass eine Berechnung unter Vernachlässigung der Tragwirkung zu keinen realitätsnahen Ergebnissen führen würde.

Im Dachtragwerk erhalten Vollgespärre 5 und 8 und die Ichsgespärre die größten Belastungen. Aufgrund der zunehmenden pfettendachartigen Lastabtragung in diesem Bereich werden die Lasten über die firstparallelen Bauteile (hauptsächlich auf Biegung beansprucht) wie Rähm und Dachlatten an die Vollgespärre 5 und 8 übertragen. Die Leergespärre, welche keine kraftschlüssigen Dreiecke mehr bilden, „weichen“ der Belastung aus.

Abschließend soll das globale Tragverhalten im Bereich der Ichen (infolge LK 1) anhand von Abbildung 5-29 kurz zusammengefasst werden. Die Ichen „lehnen“ sich auf das Hauptdach an. Dadurch, dass bei den Leergespärren kein geschlossenes Dreieck mehr zum Lastabtrag vorhanden ist, erfolgt dieser vorrangig über firstparallele Konstruktionsglieder. Diese Lasten werden an die Vollgespärre 5 und 8 übertragen (auf der südöstlichen Seite). Auf der anderen Seite werden zusätzliche Lasten aus den Leergespärren und Dachlatten aus zwei Richtungen über die Ichen in die Auflager weitergeleitet. Zwar sind die Ichenstühle in der Kehlbalkenebene an die Vollgespärre 6 und 7 angeschlossen, diese können aber die Lasten nicht effektiv abtragen, da konstruktionsbedingt kein geschlossenes stabiles Dreieck vorhanden ist. Das Vollgespärre 6 wird durch die beiden stehenden Hängesäulen und eine zusätzliche Strebe ausgesteift und kann somit Lasten vom Ichengespärre aufnehmen. Dies ist auch erkennbar am Normalkraftsprung im Ichenparren I.1 in positive Richtung, siehe Abbildung 5-30 (rechts). Das Vollgespärre 7 dagegen ist nur ein halbes Vollgespärre und hat eine zu geringe Steifigkeit, um das Ichengespärre zu „stützen“. Die Folge ist ein Normalkraftsprung in negative Richtung im Ichenparren I.2, siehe Abbildung 5-30 (links).

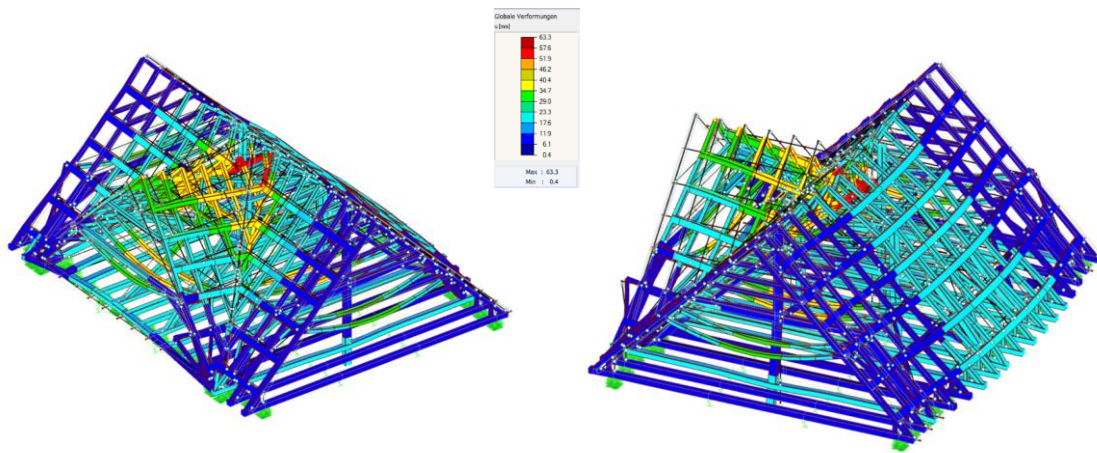


Abbildung 5-29: globale Verformung im Ichenbereich infolge LK1

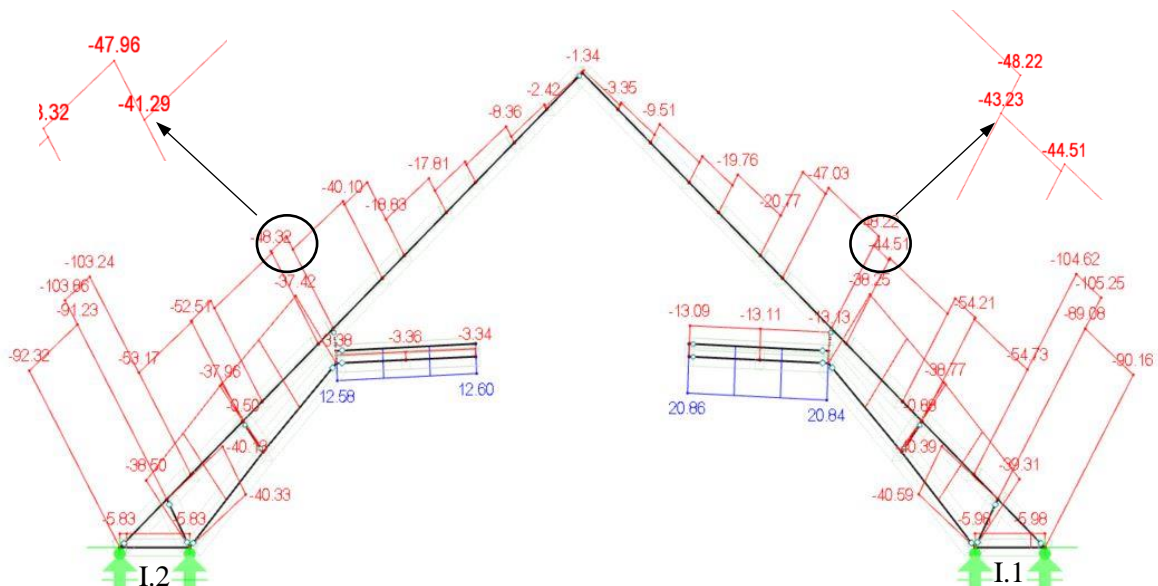


Abbildung 5-30: Normalkraftsprung im Ichenparren (links: I.2, rechts: I.1), LK 1

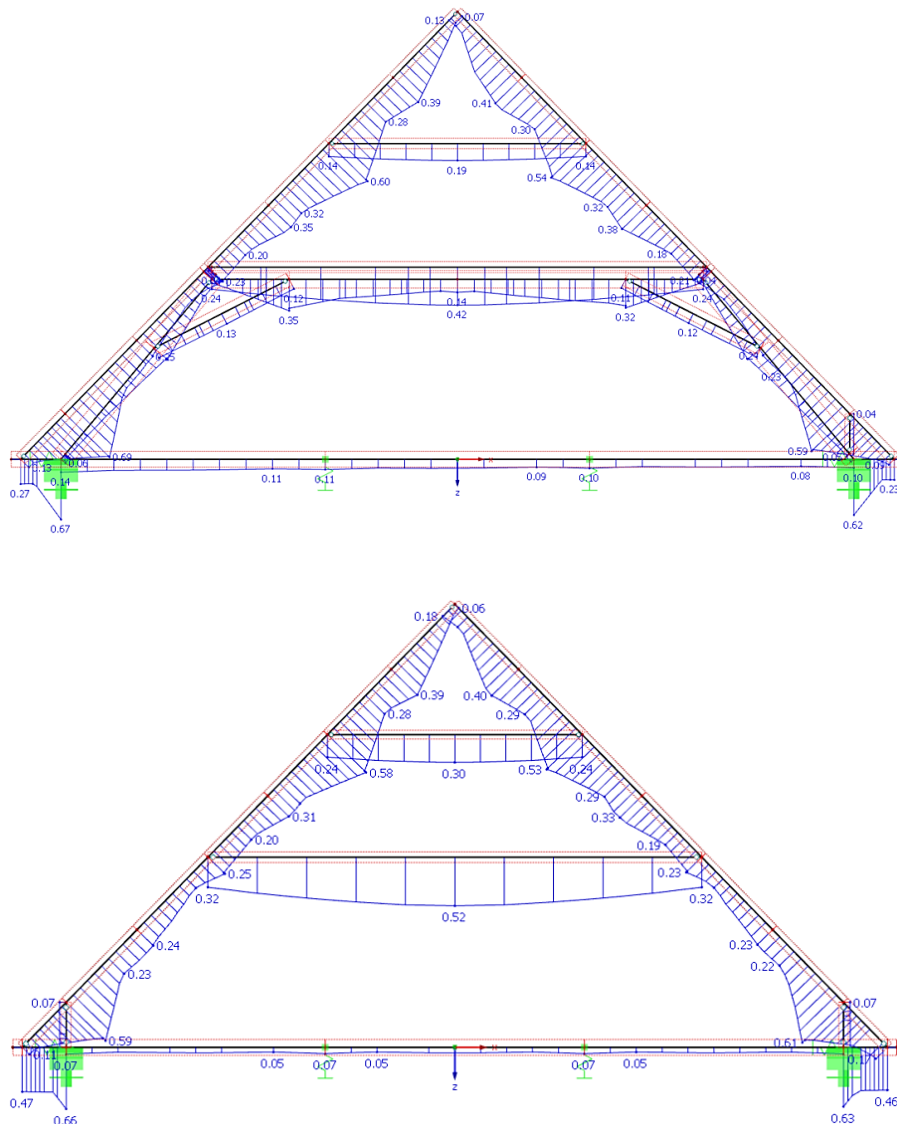
## 5-5.4 BAUTEILNACHWEISE

Mithilfe des Zusatzmoduls *RF-Holz Pro* ist es in *RSTAB 8.20* mit verhältnismäßig geringem Aufwand möglich, Bauteilnachweise nach Eurocode 5 zu führen. Auf die verschiedenen Einstellmöglichkeiten innerhalb des Moduls wird hier nicht weiter eingegangen.

Für das gesamte Dachtragwerk liegt die Ausnutzung bei  $\eta_{\text{Max}} = 2,24$ . Die größten Ausnutzungsgrade treten dabei in den Bundstramen von Vollgespärre 5 und 8 auf. Grundsätzlich sind höhere Ausnutzungsgrade bei historischen Holzbauten nichts Ungewöhnliches. Die Tragwerke wurden anhand von Erfahrungswerten errichtet und entsprechen oftmals nicht den aktuellen Anforderungen aus den Normen. Ausnutzungsgrade bis 2,5, ohne das Auftreten von Schäden, wie Brüchen, ist dennoch plausibel erklärbar, da der Sicherheitsfaktor für den Holzbau bei etwa bei 2,5 liegt. Das Sicherheitsniveau entspricht jedoch nicht mehr den aktuell anerkannten Regeln der Technik.

### 5-5.4.1 Bauteilnachweise Regelgespärre

Für die Regelgespärre liegen die Ausnutzungsgrade im Hauptdach für das Vollgespärre 3 bei  $\eta_{\text{max}} = 0,69$  und für das Leergespärre 2.2 bei  $\eta_{\text{max}} = 0,66$ , dargestellt in Abbildung 5-31. Für die regelmäßigen Bereiche des Hauptdaches sind die Anforderungen nach aktuellem Stand der Technik somit erfüllt.



**Abbildung 5-31: Ausnutzungsgrad Regelbereich**  
oben: Vollgespärre 3, unten: Leergespärre 2.2

### 5-5.4.2 Bauteilnachweise Dachverschneidung

Die maximalen Ausnutzungsgrade befinden sich bei den Bundtramen von Vollgespärre 5 und 8. Der Ausnutzungsgrad  $\eta_{\max} = 2,24$  ist eine Überbeanspruchung infolge von Querkraft. Für auflagernahe Einzellasten darf nach ÖNORM B 1995-1-1 (Abschnitt 6.1.7) die Querkraft abgemindert werden:

$$V_{z,red} = \frac{V_z \cdot e}{2 \cdot h}$$

mit:

$V_{z,red}$  ...reduzierte Querkraft [kN]  
 $V_z$  ...vorhandene Querkraft [kN]  
 $e$  ...Abstand der Einzellast  
 $h$  ...Höhe Bundtram

Des Weiteren müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- auflagernahe Last muss an der Oberseite angreifen
- das Bauteil darf keine Ausklinkung (auflagerseitig besitzen)
- $0 < e < 2 \cdot h$

Diese Voraussetzungen werden erfüllt und die reduzierte Querkraft kann wie folgt berechnet werden:

$$V_{z,red} = \frac{V_z \cdot e}{2 \cdot h} = \frac{79,69 \cdot 30}{2 \cdot 21,5} = 55,60 \text{ [kN]}$$

Daraus ergibt sich die Schubspannung:

$$\tau_{v,d} = 1,50 \cdot \frac{V_{z,red}}{b \cdot h} = \frac{55,60}{23,5 \cdot 21,5} \cong 0,167 \text{ [kN/cm}^2\text{]}$$

Nachweis:

$\eta = \left( \frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} \right) + \left( \frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 = 0 + \left( \frac{0,01}{0,16} \right)^2 + \left( \frac{0,167}{0,16} \right)^2 \cong 1,09$  Durch die Reduktion der Querkraft im Auflagernahen Bereich ist der Schubspannungsnachweis nahezu erfüllt. Bei der Schadenserfassung wurde für diesen Bundtram auch kein Schaden festgestellt.

In weiterer Folge werden die betroffenen Bundtrame bei den Bauteilnachweisen bzw. den folgenden Abbildungen vernachlässigt. Für das gesamte Dachtragwerk ergibt sich somit ein maximaler Ausnutzungsgrad von  $\eta_{\max} = 1,52$  im Fußpunktbereich der Ichsensparren I.1 bzw. I.2. In Abbildung 5-32 sind die Ausnutzungsgrade für das Tragwerk im Bereich der Dachverschneidung dargestellt. Die zuvor angesprochenen Bereiche der Bundträme des Vollgespärres 5 und 8 sind dabei ausgeblendet.

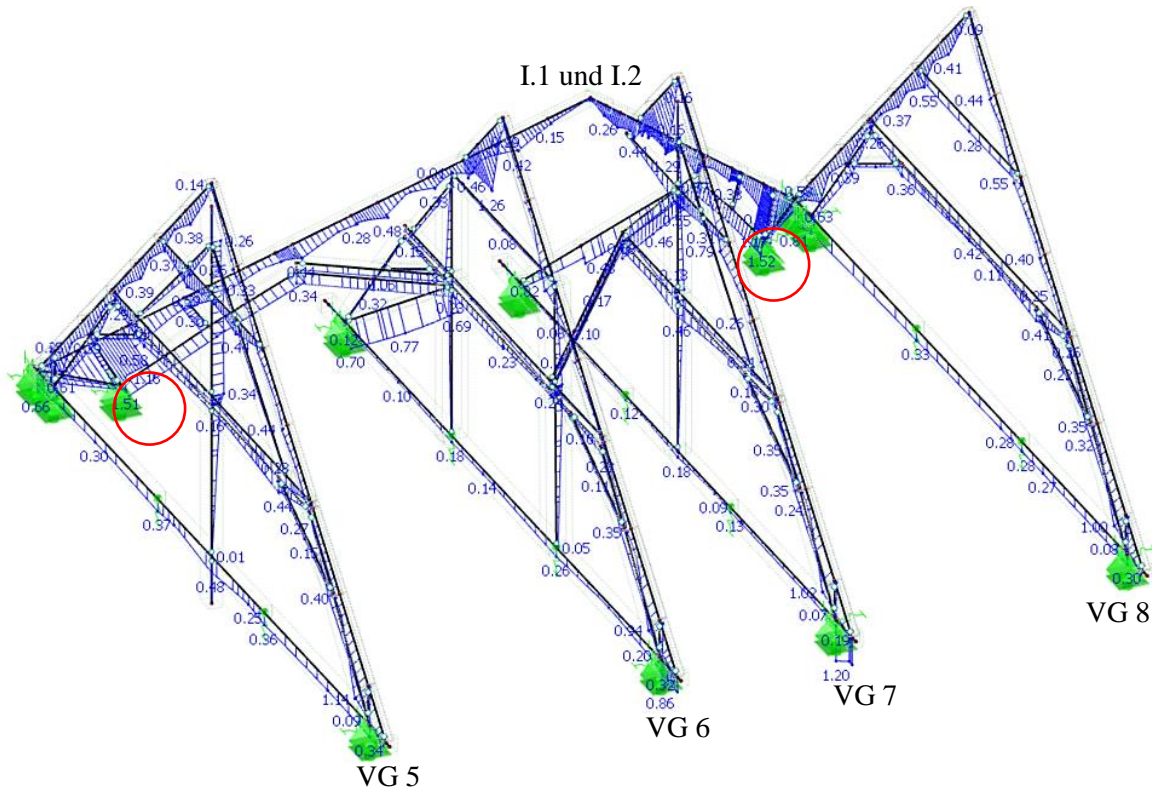
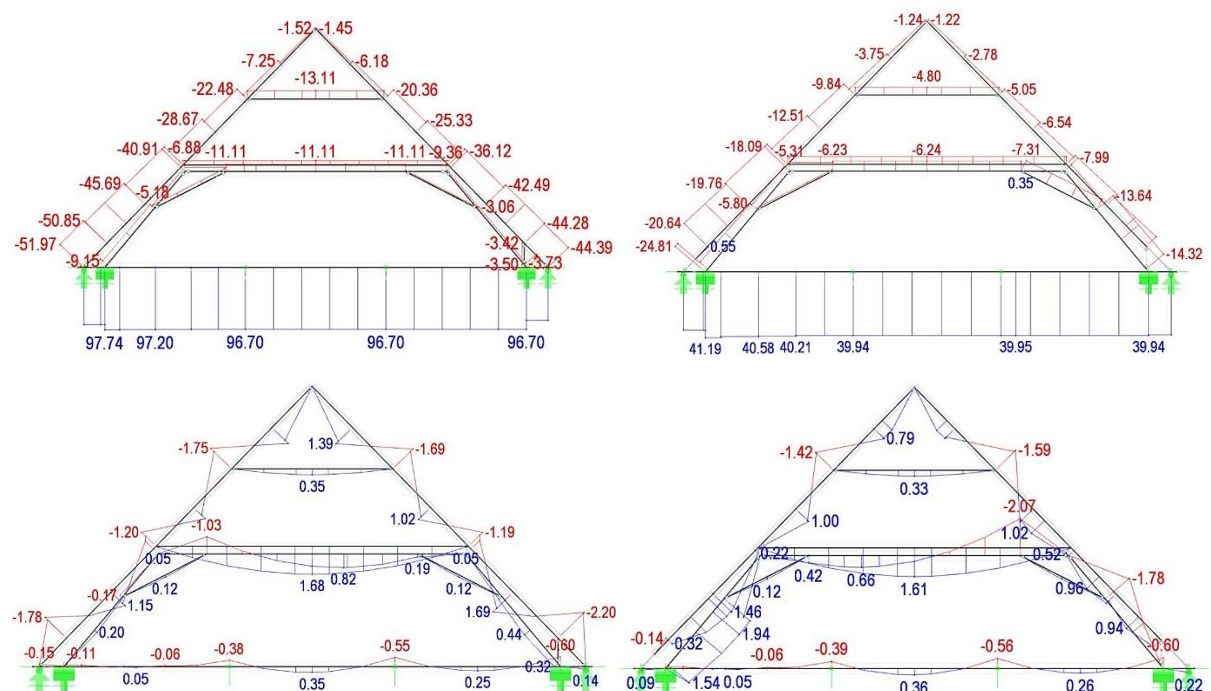


Abbildung 5-32: Ausnutzungsgrad im Bereich Dachverschneidung (nach Reduktion der Querkraft)

## 5-5.5 AUSFALLSZENARIO FUßPUNKT ICHSENGESPÄRRE

Die bisherige statische Analyse bezieht sich auf ein schadenfreies System. Da historische Dachtragwerke meist sehr redundante Konstruktionen sind (statisch hochgradig unbestimmt) bleiben diese meist auch tragfähig bei einem Ausfall einzelner Verbindungen und/oder Konstruktionsgliedern. So kann beispielsweise mit dem liegenden Stuhl ein wirksames Subsidiärtragwerk für einen beschädigten Sparrenfußpunkt ausgebildet werden. An den Fußpunkten in den Bereichen der Ichsengespärre wurden schwerwiegende Schäden festgestellt. Bei einem geschädigten Fußpunkt müssen die Lasten umgelagert werden. Nachfolgend werden die entsprechend geschädigten Bauteile bei den Fußpunkten durch Nullstäbe ersetzt; dadurch lässt sich die Lastumlagerung im Modell verfolgen. Vereinfacht fallen diese betroffenen Verbindungen vollständig aus, obwohl diese vermutlich noch eine Resttragfähigkeit besitzen. Ausfallende Bauteile sind beim Ichsengespärre I.1 der Sparren am Fußpunkt und beim VG C der Sparren, der Sparrenknecht und die Stuhlsäule.

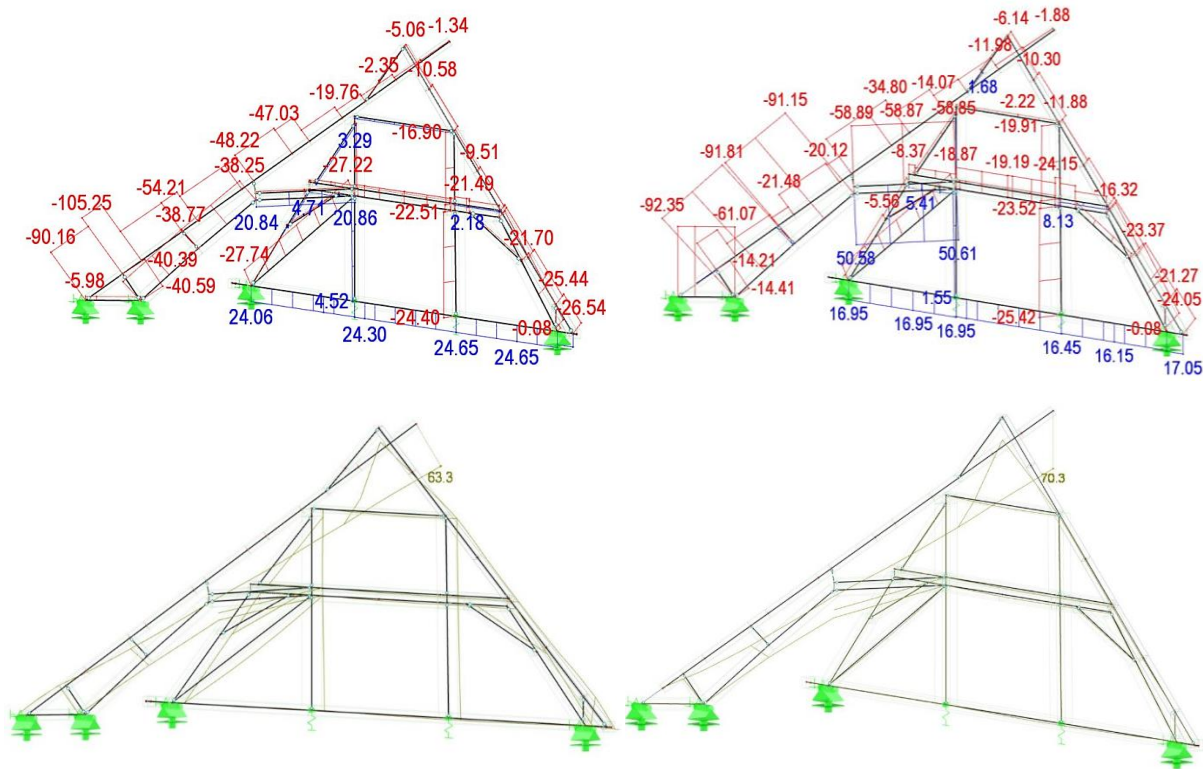
Durch den Ausfall der Fußpunkte steigt der Ausnutzungsgrad auf  $\eta_{\text{Max}} = 2,78$ . Der Ausfall bewirkt eine deutliche Lastumlagerung. Das Nebdach „lehnt“ sich noch stärker an das Hauptdach. Nachfolgend ist ein Vergleich der Schnittkraftverläufe infolge LK 1 (Eigengewicht) vom Vollgespärre C für den unbeschädigten Fußpunkt (links) und die beschädigten Fußpunkte (rechts) dargestellt. Als Folge der beschädigten Fußpunkte nimmt die Normalkraftbeanspruchung in den Sparren ab, da kein unverschiebliches Dreieck zur Lastabtragung mehr zur Verfügung steht. Bei der Momentenbeanspruchung  $M_y$  erkennt man die Lastumlagerung in die liegenden Stuhlsäulen, während die Momentenbeanspruchung für die unbeschädigten Fußpunkte in den liegenden Stuhlsäulen gering ist. Die Schädigungen auf der nordöstlichen Seite des VG C ist besonders kritisch, da hier auch der Fußpunkt der Stuhlsäule betroffen ist und somit kein wirksames Subsidiärtragwerk für den ausfallenden Sparren gebildet werden kann.



**Abbildung 5-33: Schnittkraftverläufe VG C infolge LK 1 (oben: N, unten:  $M_y$ )  
links: unbeschädigter Fußpunkt, rechts: ausfallende Fußpunkte**

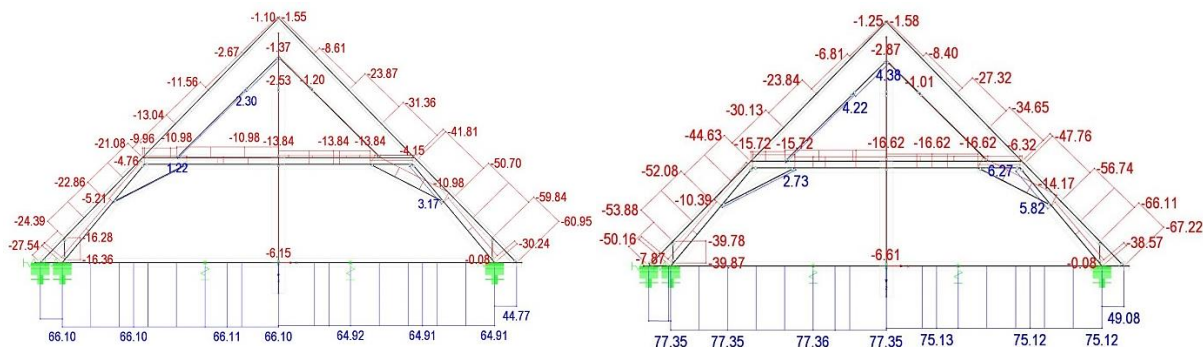
In Abbildung 5-34 sind die Auswirkungen für den Ausfall des Sparrenfußpunktes des Ichsengespärre I.1 mit dem Anschluss an das Vollgespärre 6 dargestellt. Die Normalkraftbeanspruchung des Ichsensparren nimmt ab und es erfolgt eine Lastumlagerung in den liegenden Stuhl des Ichsengespärres. Wie erwartet nehmen die Verformungen in diesem Bereich bei einem ausfallenden Fußpunkt zu.





**Abbildung 5-34: Schnittkraftverläufe (N) und Verformungen an VG 6 und I.1 infolge LK 1**  
links: unbeschädigter Fußpunkt, rechts: ausfallende Fußpunkte

Wie bereits beim Einfluss der Ichnen auf das globale Tragverhalten festgestellt wurde, ändert sich die Tragwirkung im Bereich der Dachverschneidung und die Lastabtragung erfolgt verstärkt über die firstparallelen Bauteile. Durch diese Effekte wird die Belastung in Vollgespärre 5 und 8 größer, wie am Normalkraftverlauf in Abbildung 5-35 erkennbar ist.



**Abbildung 5-35: Schnittkraftverläufe (N) VG 5 infolge LK 1**  
links: unbeschädigter Fußpunkt, rechts: ausfallende Fußpunkte

Auch die firstparallelen Bauteile erfahren eine größerer Biegebeanspruchung beim Ausfall der Fußpunkte. Für die Rähme ist das größte Moment infolge LK 1  $M_y = -8,29$  kNm, während es im unbeschädigten Fall  $-6,04$  kNm sind (vgl. Abbildung 5-27). Bei den Dachlatten beträgt das Moment  $M_z = 7,16$  kNm, im Vergleich zu  $6,03$  kNm im unbeschädigten Zustand (vgl. Abbildung 5-28). Das entspricht einer Erhöhung der Biegebeanspruchung um rund 37 % im Rähm bzw. 18 % in der Dachlattung.

## 5-5.6 PLAUSIBILITÄT UND RESÜMEE

### 5-5.6.1 Überprüfung der Berechnungsergebnisse

Nach MEISEL [6] werden folgende Kriterien für realitätsnahe Ergebnisse angegeben:

- i. Übereinstimmung der berechneten Verformungen mit den tatsächlich vorhandenen Verformungen im Tragwerk.
- ii. nachvollziehbare Schnittkräfte und Verformungen (qualitativ)
- iii. keine Ausnutzungsgrade über 3 für Stäbe bzw. Verbindungen, welche im Bestand keine Anzeichen von Überbeanspruchung zeigen.

zu i: Die während der Bauaufnahme gemessenen Verformungen stimmen mit den auftretenden Verformungen im statischen Modell in den Regelbereichen gut überein. Beispielsweise beträgt die gemessenen Durchbiegungen der Spannriegel bei Vollgespärre 2 und 9 etwa 3-4 cm, im Modell beträgt die vertikale Durchbiegung  $u_z \approx 3$  cm bei diesen Bauteilen. Die gemessenen Firsthöhen (Bezugspunkt Bundtram Vollgespärre 2) sind im Bereich der Vollgespärre 5 und 6 deutlich niedriger. Vollgespärre 6 weist 13 cm weniger als die durchschnittliche Firsthöhe auf. Diese Messungen würden gut mit dem Modell übereinstimmen. In diesem Bereich treten auch dort die größten Verformungen auf. Für die Beurteilung der gesamten verformten Tragstruktur müssten weitere Untersuchungen, beispielsweise mithilfe eines 3D Laserscanners, durchgeführt werden.

zu ii: Die qualitativen Schnittkraftverläufe sind nachvollziehbar und sind vergleichbar mit bereits durchgeführten Untersuchungen an Dachstühlen mit ähnlichen Tragsystemen (vgl. [12], [61], [53]). Für besondere Fälle kann auch eine Verifizierung mittels In-situ-Messung erfolgen.

zu iii: Die Ausnutzungsgrade liegen deutlich unter 3.

### 5-5.6.2 Resümee

Eine realitätsnahe statische Modellierung von historischen Dachtragwerken ist mit besonderen Herausforderungen und erheblichen Unsicherheiten verbunden. Diese resultieren vor allem aus den Unsicherheiten bezüglich der mechanischen Materialeigenschaften, der zimmermannsmäßigen Verbindungen und der Auflagerung. Dadurch erweist sich auch oft die Anwendung von Normen nach aktuellem Stand der Technik auf historische Holzbauwerke als schwierig. Zwar kann man die meisten Dachtragwerke bestimmten Konstruktionsprinzipien zuordnen, aber die Ausführung ist oft regional unterschiedlich und deshalb ist es erforderlich jedes Tragwerk individuell zu untersuchen.

Bei den geregelten Bereichen erfolgte die Lastabtragung weitgehend über das Dreieck, welches aus den Sparren und dem Bundtram gebildet wird, während die Stühle vor allem zur Systemaussteifung und der Lastabtragung von asymmetrischen Lasten dienen. Diese Erkenntnisse werden sowohl in der Literatur bestätigt und auch von einer Kraftmessung, die im Stift Zwettel (vgl. MEISEL [6]) durchgeführt worden ist.

Die bisherigen Untersuchungen beziehen sich jedoch meist auf Dachtragwerke mit geregelten Bereichen. Das untersuchte Dachtragwerk ist unregelmäßig in Grund- und Aufriss. Das vorliegende Tragsystem hat ein ausgeprägt räumliches Tragverhalten und die Ichsen beeinflussen die Lastabtragung in der gesamten Dachkonstruktion. Besonders in dem Bereich zwischen Vollgespärre 5 und 8. Hier bilden die Leergespärre keine Dreiecke mehr weichen aufgrund der geringen Steifigkeit der Belastung aus. Die Lastabtragung erfolgt nun verstärkt über die firstparallelen Konstruktionsglieder wie Rähm und Dachlatten. Die Ergebnisse der statischen Analyse bestätigen, dass eine Zerlegung in ebene Teilsysteme für dieses unregelmäßige Dachtragwerk nicht sinnvoll möglich ist. Die Lastabtragung muss anhand eines räumlichen Modells untersucht werden. Obwohl zu Beginn der Modellierung einige Vereinfachungen festgelegt wurden (regelmäßige Achsabstände, keine Exzentrizitäten in den zimmermannsmäßigen Verbindungen, virtueller Querschnitt für die Dachlatten, ...) entstand in Summe ein sehr komplexes Modell.

Die Ausnutzungsgrade über 100 % sind jedoch plausibel für historische Dachtragwerke. Der Sicherheitsfaktor im Holzbau liegt etwa bei 2,5. Folglich bedeutet dies, dass eine statische Ertüchtigung nicht zwingend notwendig ist, sondern dass das Sicherheitsniveau nicht mehr den anerkannten Regeln der Technik entspricht. Für eine Nutzungsänderung ist eine Anpassung an die gültigen Normen vermutlich unumgänglich bzw. erforderlich. Abschließend ist noch darauf hinzuweisen, dass aufgrund des Alters der Tragkonstruktion davon auszugehen ist, dass die bemessungsrelevanten Lasten während der Bestandsdauer bereits aufgetreten sind und die Holzbauteile ausreichend dimensioniert worden sind (vgl. Vertrauensgrundsatz der ONR 24009 [77]).

## KAPITEL 6: INSTANDSETZUNG

### 6-1 INSTANDSETZUNGSKONZEPTE UND VORGEHENSWEISE

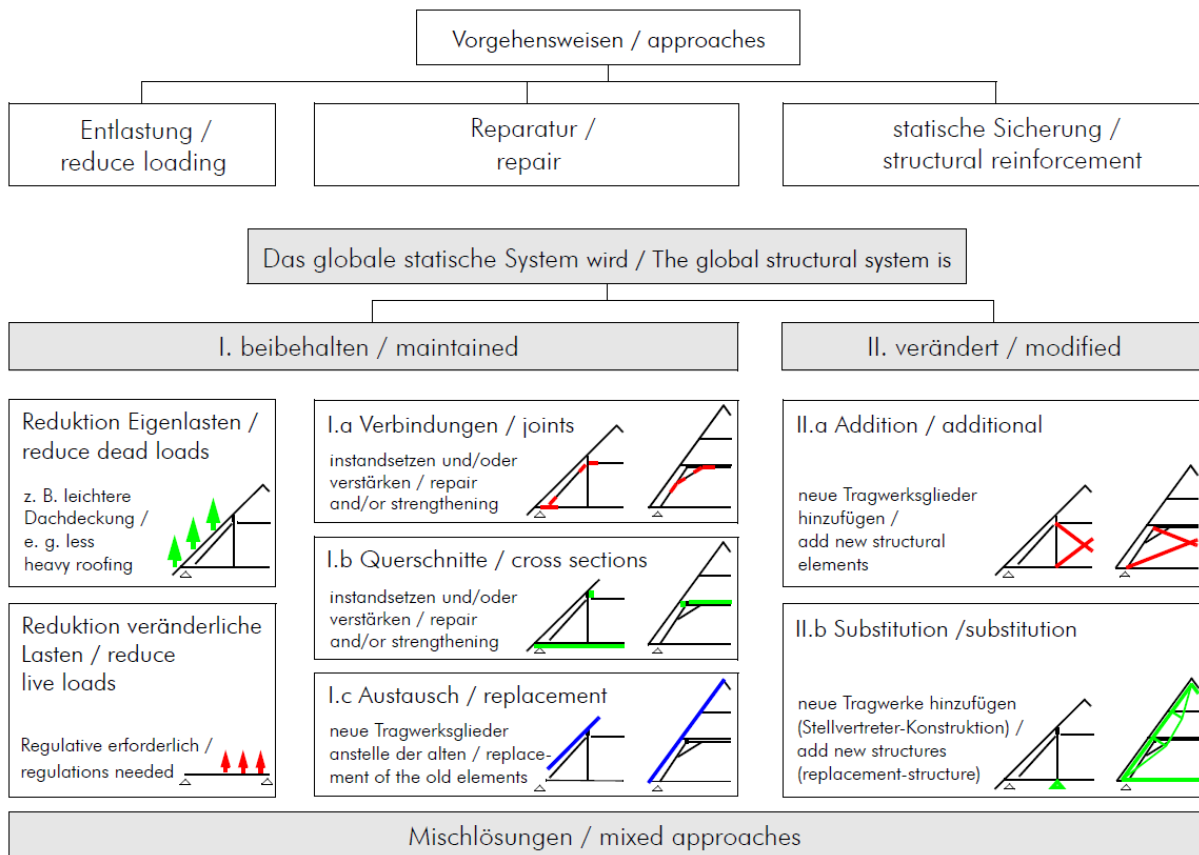
---

Die Voraussetzung für die Planung von Instandsetzungsmaßnahmen ist eine ausführliche Bestands- und Schadenserfassung und die Bauzustandsanalyse. Bei Schäden, Mängeln und/oder Veränderungen der Tragstruktur sind Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich. Für eine fachgerechte und bestandsschonende Planung von Instandsetzungen sollte neben den grundlegenden Anforderungen der ÖNORM EN 1990 noch weitere Grundsätze berücksichtigt werden. Die grundlegenden Forderungen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik sind Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit, Brandschutz und Robustheit. Ein nicht fachgerechter Umgang führt zum Verlust der historischen Bausubstanz.

Zusätzlich zu diesen allgemeinen Forderungen gemäß Eurocode, sind für historische Holztragwerke noch weitere Grundsätze zu beachten damit die Geschichtszeugnisse und die bauhistorischen Werte bewahrt werden können:

- Grundlagen:
  - Bestandserfassung
  - Schadenserfassung und -analyse
- Vorarbeiten:
  - Konstruktionshölzer reinigen.
  - Zugänglichkeit herstellen.
- Nicht fachgerechte Instandsetzungen und Flickwerke entfernen.
- Besondere Fachkenntnisse im Bereich historischer Holztragwerke.
- Ausführung:
  - bestandsschonende Vorgehensweise
  - vorhandene Bausubstanz nach Möglichkeit weitestgehend erhalten
  - bestehende Konstruktionshölzer möglichst nicht/wenig schwächen
  - Verformungen belassen, falls notwendig stabilisieren
  - statisches System beibehalten, um eine Änderung des Kraftflusses zu vermeiden
  - einfache Fügungen zwischen neuen und alten Bauteilen
  - reversible Lösungen bevorzugen (eine Holz-Betonverbundlösung kann beispielsweise nicht erneut instandgesetzt werden)
  - Pilzgeschädigte Bereiche gesund schneiden (nach DIN 68 800-4), bzw. falls möglich nur Bebeilen
  - Aktiven Insektenbefall bekämpfen
  - Zugänglichkeit nicht durch Instandsetzungsmaßnahmen verhindern/erschweren (beispielsweise sind schräge Verbretterungen an Fußpunkten von Sparren nicht empfehlenswert)
  - Einbauholzfeuchte neuer Holzbauteile sollte dieselbe aufweisen wie im Bestand.
  - passgenaue und kraftschlüssige Instandsetzungen
- Dauerhaftigkeit und Kontrolle:
  - Korrosionsschutz für Eisenbauteile
  - Anschlussknoten kontrollieren auf Passung.
  - Verschmutzung des Dachtragwerks vermeiden

Für die Instandsetzung historischer Holztragwerke kann nach MEISEL [6] in drei grundsätzliche Vorgehensweisen unterschieden werden. Die „Entlastung“, die „Reparatur“ und die „statische Sicherung“. Dabei bleibt bei den ersten beiden Vorgehensweisen das statische System erhalten, während dieses bei der dritten Variante verändert wird. Oftmals sind auch gemischte Lösungen aus diesen Varianten möglich und sinnvoll. In Abbildung 6-1 sind die möglichen Vorgehensweisen für Instandsetzungsmaßnahmen zusammengefasst:



**Abbildung 6-1: Mögliche Gliederung der Vorgehensweise bei Instandsetzungen [6].**

Die bestandsschonendste Instandsetzungsmaßnahme ist die Entlastung des Tragwerks. Zum einen könnten die Eigenlasten reduziert werden, dies kann jedoch ein großer Eingriff in den historischen Bestand bedeuten. Eine weitere Möglichkeit ist die Reduktion der Nutzlasten durch Nutzungseinschränkungen.

Die zweite Gruppe, unter Beibehaltung des statischen Systems, sind die Reparaturen. Dies enthält Instandsetzungen von geschädigten Bauteilen und Verbindungen. Das betrifft Schäden infolge äußerer Einwirkungen (z. B. holzerstörende Pilze) und auch Schäden infolge Quellen, Schwinden, Verdrehungen und Verformungen des Holzes. Bei der Reparatur ist zu beachten, dass zwar das Erscheinungsbild erhalten bleibt, jedoch das Geschichtszeugnis weitgehend verloren geht. Neben der Reparatur und Verstärkungen ist auch der Austausch von Konstruktionsgliedern eine Möglichkeit.

Die letzte Gruppe ist die statische Sicherung; hierbei wird das statische System verändert. Dazu gehören zum einen additive Instandsetzungsmaßnahmen, wie das Hinzufügen neuer Bauteile, beispielsweise Zugglieder oder Aussteifungen. Bei der Substitution wird eine neues stellvertretendes Tragwerk, weitgehend unabhängig vom Bestandstragwerk, in das bestehende Tragwerk eingefügt. Aus denkmalpflegerischer Sicht bleibt das Geschichtszeugnis somit größtenteils erhalten und bei geschickter Materialwahl wird das Erscheinungsbild kaum gestört. Bei subsidiären Tragwerken sollte bei der Planung eine Biegebeanspruchung vermieden werden, da dies zu großen Querschnitten führen würde.

## 6-2 VORSCHLÄGE FÜR EIN INSTANDSETZUNGSKONZEPT

Bei der Schadenserfassung und -analyse wurden in dem Dachtragwerk zahlreiche Schäden festgestellt. Besonders die Schadensschwerpunkte im Traufbereich der Ichsen haben zu einer schlechten Bewertung für das gesamte Dachtragwerk geführt. Für die Erstellung eines Instandsetzungskonzeptes ist die zukünftige Funktion mitentscheidend. Hierbei gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- Erhaltung des historischen Dachtragwerkes
- Umnutzung und Ausbau des Dachstuhls für Schulungsräume

### 6-2.1 ERHALTUNG DES HISTORISCHEN DACHTRAGWERKES

Bei dieser Variante soll der Dachstuhl, ein Beispiel der barocken Baukunst, möglichst bestandsschonend erhalten werden. Befindet sich das Dachwerk in einem schadenfreien Zustand und wenn keine Nutzungsänderung angedacht ist, gilt der Bestandsschutz. Die Tragsicherheit ist aus Erfahrung gesichert. Dieser beruht auf dem Vertrauensgrundsatz nach ÖNORM B 4008-1 (Abschnitt 4.3):

*„Unter Nutzung stehende Bestandsbauwerke sind – im Gegensatz zum Entwurf neuer Tragwerke – langjährig unter Erprobung gestanden und lassen somit Rückschlüsse auf das reale Tragverhalten zu. Bei Fehlen von Bauschäden und konstruktiven Mängeln kann festgestellt werden, dass sich diese Tragsysteme bewährt haben.“ [54]*

Das Ziel dieser Instandsetzungsmaßnahmen ist es grundsätzlich das Tragwerkwerk wieder in den vermuteten Soll-Zustand zurückzuführen und dabei möglichst geringe Eingriffe in die historische Bausubstanz vorzunehmen.

Die festgestellten Schäden können grundsätzlich zimmermannsmäßig behoben werden, die erforderlichen Maßnahmen sind nachfolgend zusammengefasst.

Maßnahmenkatalog:

- i. Zugänglichkeit für das gesamte Dachtragwerk herstellen
- ii. sämtliche Konstruktionshölzer reinigen
- iii. Dachraum allgemein reinigen, teilweise vorhandenen Bauschutt entfernen
- iv. Flickwerk, nicht fachgerechte vorheriger Instandsetzungen entfernen
- v. entfernte Bauteile wieder hinzufügen (Rückbau)
- vi. weiterführende Untersuchungen bezüglich des Nagekäferbefalls (ob Befall inaktiv oder aktiv) und falls notwendig entsprechend bekämpfende Maßnahmen durchführen
- vii. die Dachhaut auf undichte Stellen überprüfen
- viii. Leergespärre 3.2 Fäulnisschäden an Sparren (First) und Hahnenbalken beheben
- ix. Instandsetzungen im Bereich der Ichsengesparre entfernen
- x. Traufbereiche der Ichsen instandsetzen

zu i.) In dem Dachtragwerk sind immer noch einige Bereich erschwert zugänglich bzw. gar nicht zugänglich, vor allem die teilweise innenliegende Verschalung müsste entfernt werden.

zu ii. und iii.) die Konstruktionshölzer sind teilweise sehr stark verschmutzt mit Mäusekot, Mehlstaub u. a.; teilweise Bauschutt im Traufbereich und noch zahlreiche Überreste des vorherigen Lagerguts (Maiskolben, Fliesen, Möbel, ...)

zu iv.) der Großteil der durchgeführten Instandsetzungen muss als nicht fachgemäß beurteilt werden, beispielsweise Fügung von neuen Sparren zu alten Sparren mit einem stehenden Blatt ohne weitere Verbindungsmittel, nicht ausreichend konzipierte Anlaschungen, klaffende Verbindungen, seitliche Verbretterungen (siehe Kapitel Schadensaufnahme und -analyse). Die Abstützung des Vollgespärres 7 durch seitliche Stütze ist zu entfernen. Die Aufdopplungen an den Sparren einseitig entfernen, wenn diese beidseitig ausgeführt worden ist, da sonst die Zugänglichkeit zum Sparren nicht gewährleistet ist. Die Sanierungen der Fußpunkte im Nebendach (schräge Verschalung), ist ebenfalls zu entfernen

zu v.) einige Bauteile wie Windstreben, Sparrenknechte und Fußbänder wurden entfernt, diese sind wieder hinzuzufügen.

zu vi.) Im Bereich von der Stuhlwand bei Vollgespärre 9 und bei Vollgespärre 11 wurde Bohrmehl gefunden. Es konnte jedoch nicht endgültig festgestellt werden, ob ein aktiver Befall vorliegt oder nicht.

zu vii und viii.) Die Dachhaut weist an typischen Stellen, wie Blitzableiter und Kamindurchbrüche bereits undichte Stellen auf; der Feuchteintritt ist an Fäulnisschäden und Wasserflecken erkennbar.

zu ix.) Bei den Anschlüssen der Ichsensparren an das Hauptdach sind sowohl in der Kehlbalkenebene (E 2) als auch in der Hahnenbalkenebene (E 3) zahlreiche unfachgemäße Instandsetzungen anzufinden; vor allem einige nicht kraftschlüssige Verbindungen.

zu x.) Die Fußpunkte der Ichsensgespärre sowie des Vollgespärres C weisen schwere Schäden durch einen Pilzbefall auf. Die „vermorschten“ Bauteile sind zu ersetzen.

Für den derzeitigen Zustand (IST-Zustand) ist in Kapitel 5 eine globale statische Analyse durchgeführt worden. Mit der globalen statischen Analyse ist das grundsätzliche Lastabtragungskonzept des Dachtragwerkes nachvollziehbar. Genaue Erkenntnisse über den ehemaligen originalen Zustand sind nicht bekannt und können nur vermutet werden. Für die Modellierung des IST-Zustandes wurden bereits vereinfachend die vereinzelt fehlenden bzw. versagenden Bauteile wie Windstreben und Sparrenknechte bzw. ausgefallene Knoten nicht berücksichtigt. Darauf aufbauend wurde ein Modell des vermuteten originalen Soll-Zustand erstellt. Dazu ist die hinzugefügte Strebe im Vollgespärre 7 (Nordwesten) entfernt und die Kopfbänder der Ichsensgespärre wieder hinzugefügt worden. Für diesen Soll-Zustand ergibt sich eine maximale Ausnutzung von  $\eta_{Max} = 1,98$ . Im Modell des IST-Zustandes ist diese  $\eta_{Max} = 2,24$ . Hier ist anzumerken, dass für beide Modelle der Schubnachweis infolge auflagnaher Lasten maßgebend ist und dementsprechend noch reduziert werden könnte. Auf dieses Modell für den Soll-Zustand wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen

Für den Nachweis der Instandsetzungsmaßnahmen wären jedoch weitere lokale Untersuchungen/Berechnungen für die Bereiche der zimmermannsmäßigen Verbindungen notwendig, wie beispielsweise die Berücksichtigung aller Exzentrizitäten in den Verbindungen. Aus diesen Gründen wird als weiteres Vorgehen nach MEISEL [6] die „Wiederherstellung der Knotentragfähigkeit“ (Wiederherstellung des originalen Knotens) empfohlen, siehe Abbildung 6-2:

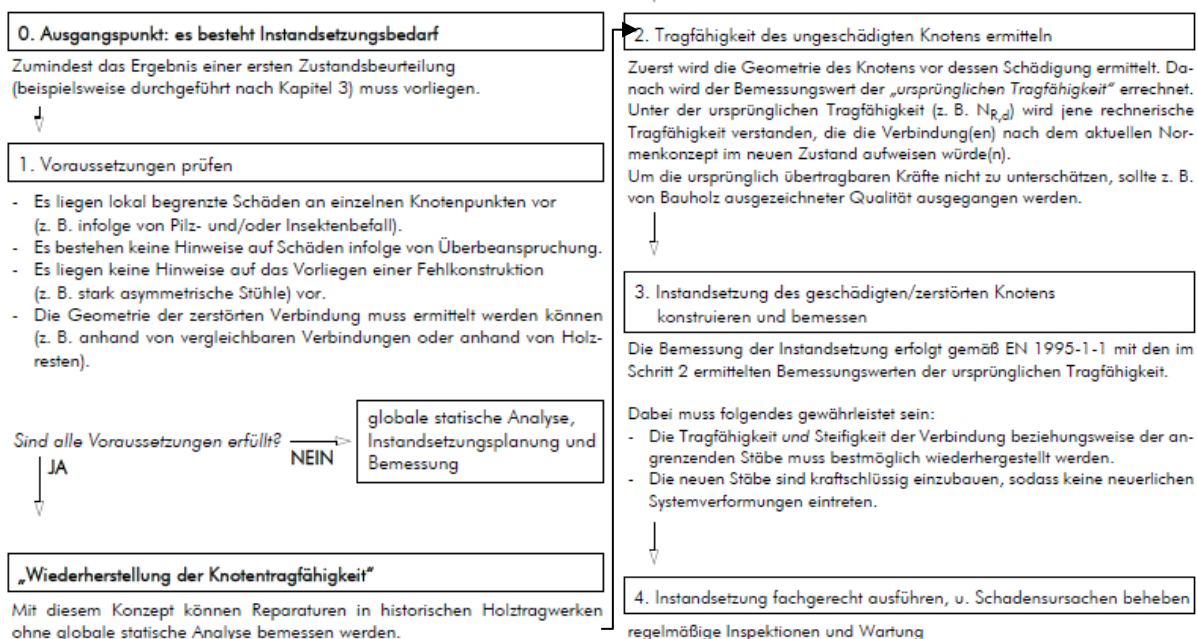


Abbildung 6-2: Konzept zur "Wiederherstellung der Knotentragfähigkeit"(aus [6], S. 152)

Verschiedene Instandsetzungsbeispiele, speziell für geschädigte Fußpunkte im Traufbereich von Kehlbalkendächern mit liegenden Stühlen sind unter anderem in ORTNER [23] erarbeitet worden.

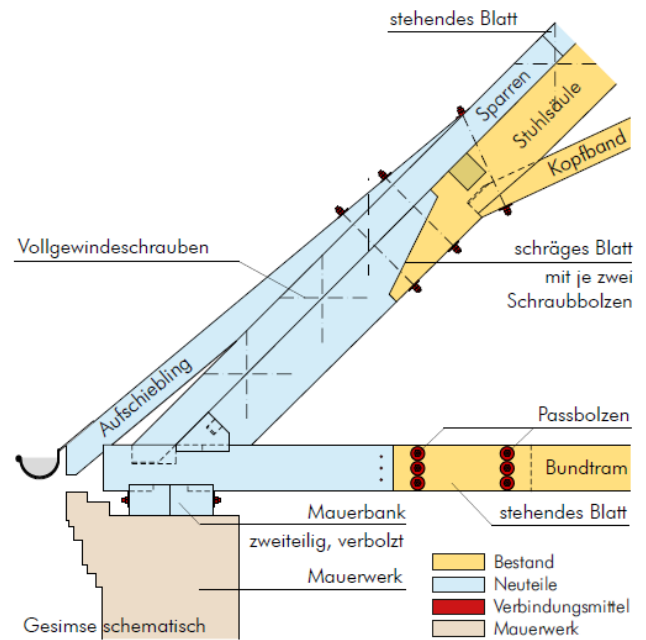


Abbildung 6-3: links Fußpunkt VG C, rechts: Musterdetail ORTNER [6]

Abbildung 6-3 zeigt links den schwer geschädigten Fußpunkt den Vollgespärres C im untersuchten Objekt und rechts ein Musterdetail aus ORTNER [23]. Mit einigen Adaptionen ist dieser Detailpunkt grundsätzlich auch auf den vorliegenden Fußpunkt anzuwenden. Die Mauerbank war nicht zugänglich und ist je nach Zustand ebenfalls zu ersetzen. Der neue Bundtram wird (wie in der originalen Konstruktion) über eine Verkämmung an die Mauerbänke angeschlossen. Der Anschlussknoten neuer Bundtram – alter Bundtram wird mit einem stehenden Blatt mit Passbolzen ausgeführt. Die Fügung zwischen neuer Stuhlsäule und alter Stuhlsäule erfolgt über ein schräges, liegendes Blatt und beim Sparren über ein stehendes Blatt.

## 6-2.2 UMNUTZUNG UND AUSBAU DES DACHSTUHLES

Für dieses Dachtragwerk ist ein Ausbau und eine Umnutzung zu Schauräumen und Schulungsräumen der LFS Grottenhof angedacht. Bei einer Umnutzung sind der Bestandsschutz bzw. die Regelungen der ÖNORM B 4008-1 [54] nicht mehr wirksam und das Dachtragwerk muss die Anforderungen nach derzeitigem Stand der Technik erfüllen. Ebenso ist mit einer Erhöhung der Eigengewichtslasten der Konstruktion und der Nutzlasten zu rechnen. Das heißt, die Wiederherstellung der Tragfähigkeit der Knotenpunkte wird allein nicht ausreichend sein.

Eine Hauptursache für die starken Verformungen ist die geringere Steifigkeit des Nebendaches, dadurch „lehnt“ sich dieses auf das Hauptdach. Eine Idee für die Instandsetzung wäre also die Steifigkeit des Nebendaches zu erhöhen und somit das „Anlehnen“ zumindest zum Teil zu verhindern. Grundsätzlich sind hierzu verschiedene additive Maßnahmen möglich. Zu beachten ist dabei jedoch, dass der Dachraum für die Nutzung frei bleiben sollte. Nachfolgend werden verschiedene Möglichkeiten kurz zusammengefasst.

### Instandsetzung mit additiven Maßnahmen

#### Ausbildung Kehlbalkenebene als Scheibe

Eine Erhöhung der Steifigkeit wäre möglich, indem in der Kehlbalkenebene eine Scheibe ausgebildet wird. Dabei werden mit Stahlrahmen und Verbänden eine Scheibe gebildet und die Lasten zu den Giebelwänden geleitet. Somit können die Traufen entlastet werden. Es wird jedoch ein anderer Werkstoff mit anderen bauphysikalischen Eigenschaften in die Konstruktion eingebracht und es besteht



die Gefahr, dass sich Kondenswasser bildet. Außerdem wäre die Konstruktion der Rahmen in dem Bereich der Dachverschneidung sehr komplex.

#### Ertüchtigung des Längsverbandes

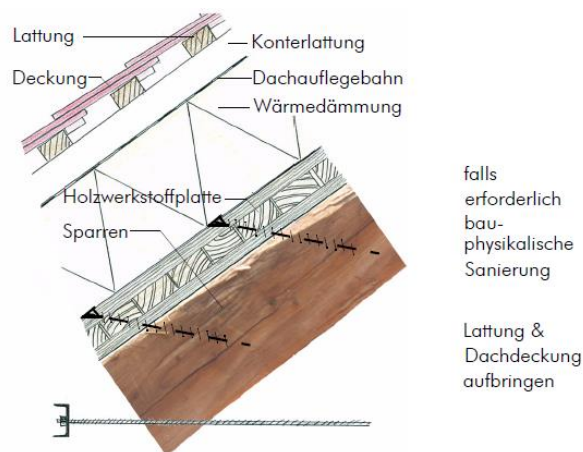
Der vorhandene Längsverband könnte überarbeitet und ertüchtigt werden, jedoch hier ist auch der Anschluss im Bereich der Ichsengespärre kompliziert. Außerdem soll der Dachraum in dem Bereich der Dachverschneidung frei bleiben.

#### Aussteifungsverband in Bundtramlage

Eine weitere Möglichkeit wäre ein Aussteifungsverband in Bundtramlage oder direkt unterhalb der Bundtramlage. Eine sehr vereinfachte Modellierung mit einer kreuzweisen Aussteifung zwischen Vollgespärre B und C in der Ebene der Bundtrame hat eine deutliche Verbesserung hinsichtlich der horizontalen Verschiebung ( $u_x$ ) ergeben.

#### Ausbildung von Scheiben mit flächenhaften Holzwerkstoffplatten

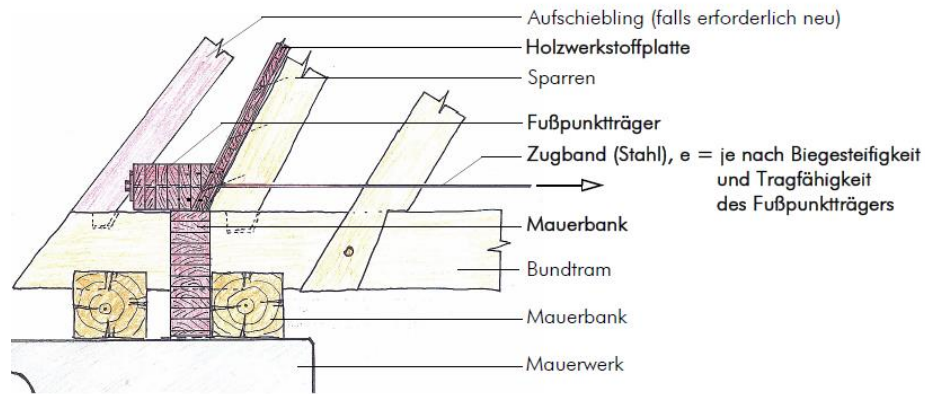
Eine andere Herangehensweise für die Instandsetzung ist die Sanierung mit flächenhaften Holzwerkstoffplatten, wie Brettsperrholzplatten. Diese Idee hat MEISEL in [21] vorgestellt, das Grundkonzept ist in dargestellt in Abbildung 6-4:



**Abbildung 6-4: Grundkonzept Sanierung mit flächenhaften Holzwerkstoffplatten ( [21],S. 184)**

Dieses Konzept ist eine Mischlösung aus den vorhergehend beschriebenen Vorgehensweisen bei Instandsetzungen. Zum einen werden die Sparren verstärkt, zum anderen wird ein subsidiäres System eingefügt. Wesentliche Vorteile sind dabei, dass das alte Tragwerk zum großen Teil erhalten und sichtbar bleibt, eine kurze Bauzeit und wenig bzw. keine teilweise zeitintensiven Einzelverstärkungen werden notwendig.

Durch den Einbau der Brettsperrholzplatten und Stahlzugglieder (nach statischer Erfordernis) verändert sich die globale Lastabtragung. Die Sparren werden für Druck- und Biegebeanspruchung verstärkt und die sparrendachartige Lastabtragung nimmt zu. Ein zunehmender sparrendachartiger Lastabtrag wäre für den Bereich der Dachverschneidung hilfreich. Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass durch die scheibenartige Ausbildung die Steifigkeit erhöht wird und sich das Nebendach nicht mehr so stark an das Hauptdach „anlehnt“. Abbildung 6-5 zeigt eine mögliche Fußpunktausbildung für ein Kehlbalckendach nach MEISEL [21].



**Abbildung 6-5: Mögliche Fußpunktausbildung nach MEISEL [21].**

Weitere Maßnahmen wären beispielsweise die Reduzierung des Eigengewichts durch die Wahl einer leichteren Dacheindeckung, damit insgesamt das Eigengewicht nicht so stark erhöht wird. Ansonsten wird für den Nachweis nach derzeitigem Stand der Technik vermutlich ein additives oder subsidiäres Tragwerk zusätzlich erforderlich.

### Resümee

Für eine Instandsetzung des Dachtragwerkes für den angedachten Ausbau wird vermutlich eine Kombination aus additiven Maßnahmen und Reparaturmaßnahmen notwendig werden. Damit ein bestandsschonendes Instandsetzungskonzept erstellt werden kann, sind aber für den Bereich der Ichsengespärre noch weitere verfeinerte lokale Analysen notwendig. Ansonsten besteht die Gefahr, dass das Tragvermögen überschätzt oder unterschätzt wird. Gerade im denkmalpflegerischen Sinne sind unnötige Instandsetzungsmaßnahmen und Eingriffe in die historische Bausubstanz unbedingt zu vermeiden.

## KAPITEL 7: SCHLUSSBETRACHTUNG

*„Zeige mir, wie du baust, und ich sage dir, wer du bist.“*

Christian Morgenstern

Holz war für viele Jahrtausende das wichtigste Baumaterial der Erde. Der Bestand von historischen Dachtragwerken, welche die Jahrhunderte überdauert haben, ist ein Beleg für die Dauerhaftigkeit dieser hölzernen Konstruktionen. Besonders faszinierend im Hinblick auf die Tatsache, dass diese Dachtragwerke ohne Baustatik, rein aus Tradition, Erfahrung und Mut, errichtet worden sind. Traditionell sind dadurch meist hochgradig statisch unbestimmte, redundante Systeme entstanden. Als wichtigste Voraussetzung für den Erhalt von solchen Dachtragwerken gelten eine regelmäßige Inspektion, Wartung und Instandsetzung. In der Praxis wird eine erste Bestandserfassung jedoch meistens erst angefordert, wenn es einen expliziten Auslöser wie beispielsweise sichtbare Schäden oder eine geplante Nutzungsänderung gibt.

Für das vorliegende Dachtragwerk ist im Rahmen größerer Umbauarbeiten an der LFS Alt-Grottenhof eine Sanierung und Nutzungsänderung geplant. Für die erfolgreiche Planung bei einem Projekt im „Bauen im Bestand“ ist eine umfassende Bauzustandserfassung eine wichtige Grundlage. Im Rahmen dieser Arbeit wurde als erster Schritt eine umfassende Bestandserfassung und Schadensanalyse durchgeführt. Bei der Schadensanalyse haben sich die zwei häufigsten Ursachen an Schäden in historischen Dachtragwerken bestätigt - Feuchteeinwirkung und nicht fachgerechte Instandsetzungen. In Kombination mit der Tatsache, dass das Dachgeschoss für Jahrzehnte als Abstellkammer benutzt wurde und somit auch keine Inspektion der hölzernen Tragstruktur möglich war, besteht für das Dachtragwerk ein hoher Instandsetzungsbedarf. Das betrifft vor allem den Schadensschwerpunkt im Bereich der Ichen. Die regelmäßigen Bereiche des Dachtragwerkes sind jedoch in einem guten Zustand und sind ein erhaltenswertes Beispiel der barocken Zimmermannskunst. Insgesamt ist das Dachtragwerk ein Beispiel für die Folgen mangelnder Instandhaltung und nicht fachgerechter Sanierungsmaßnahmen.

Ist für ein historisches Gebäude eine Nutzungsänderung geplant, wird eine statische Analyse unumgänglich. Die Standsicherheit muss in der Regel nach aktuellem Stand der Technik nachgewiesen werden. Eine realitätsnahe Modellierung von historischen Dachtragwerken ist mit vielen Herausforderung und Schwierigkeiten verbunden. So können das mechanische Verhalten der Verbindungen, Materialeigenschaften und Auflagerbedingungen nur mit großen Unsicherheiten ermittelt werden. Überdies handelt es sich meist um sehr komplexe Tragwerke, meist mit einem ausgeprägt räumlichen Tragverhalten. Das vorliegende Dachtragwerk konnte, maßgeblich aufgrund der Ichen, nicht sinnvoll in ebene Teilsysteme zerlegt werden und somit war eine 3D Modellierung erforderlich. Neben der Untersuchung in Bezug auf die Standsicherheit, wird auch der Einfluss der Ichen auf das globale Tragverhalten genauer betrachtet. Die globale statische Analyse hat ergeben, dass die gesamte Dachkonstruktion von den Ichen maßgeblich beeinflusst wird. Eine vereinfachte Modellierung würde keine realitätsnahen Ergebnisse liefern. Der Ausnutzungsgrad liegen im regelmäßigen Bereich bei knapp 70 %, während er bei den Ichen mit über 150 % mehr als doppelt so hoch ist. Das Tragwerk entspricht nicht dem geforderten Sicherheitsstandard des EC 5, falls die Knotenpunkte jedoch in den originalen Zustand rückgeführt werden, gilt der Vertrauensgrundsatz der ONR 24009 ([77]). Für den geplanten Dachausbau ist noch zusätzlich mit einer Lasterhöhung zu rechnen. Damit werden vermutlich Änderungen am Tragwerk vorgenommen werden müssen, um den rechnerischen Nachweis der Standsicherheit zu erfüllen.

Aus denkmalpflegerischer Sicht ist eine bestandsschonende Instandsetzung, mit möglichst geringen Eingriffen in die historische Bausubstanz, wünschenswert. Vorschläge für mögliche Instandsetzungsmaßnahmen wurden im Rahmen dieser Arbeit gemacht. Für eine präzise Planung eines Instandsetzungskonzept sind noch weitere verfeinerte Untersuchungen und Analysen notwendig.

## ANHANG A LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Süddeutsche Zeitung, 26. SEPTEMBER 2019 AUS HEFT 3, „»Wenn wir nostalgisch sind, erscheint uns das Leben sinnvoll«Warum hängen viele Menschen so sehr an alten Dingen und schwärmen von vergangenen Zeiten? Der Psychologe Tim Wildschut erklärt, warum Nostalgie auch ihr Gutes hat.“.
- [2] J. Berger, „Nur Bruchteil potenzieller Baudenkmäler wird geschützt,“ *Der Standard*, 2018.
- [3] K. Lißner und W. Rug, Holzbausanierung beim Bauen im Bestand, Berlin: Springer Vieweg, 2018.
- [4] Technische Universität Graz, „D(N)achhaltigkeit Graz. Konzepte zur Bestands- und Zustandserfassung historischer Tragwerke der Grazer Altstadt (WKE) im Hinblick auf deren Instandhaltung, Umnutzung und effizienten Umgang mit Energie.,“ Verlag der Technischen Universität Graz, Graz, 2011.
- [5] W. Rug und W. Mönck, Holzbau. Bemessung und Konstruktion., Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2015.
- [6] A. Meisel, „Historische Dachwerke. Beurteilung, realitätsnahe statische Analyse und Instandsetzung,“ Technische Universität Graz, Graz, 2015.
- [7] K. Zwerger, Das Holz und seine Verbindungen. Traditionelle Bautechniken in Europa, Japan und China, Basel: Birkhäuser GmbH, 2011.
- [8] F. Ostendorf, Die Geschichte des Dachwerks, Leipzig und Berlin: Verlag von B.G. Teubner, 1908.
- [9] S. M. Holzer und B. Köck, Meisterwerke Barocker Bautechnik: Kuppel , Gewölbe und Kirchendachwerke in Südbayern, Regensburg: Schnell & Steiner GmbH, 2008.
- [10] W. Mönck, Schäden an Holzkonstruktionen, Berlin: HUSS-MEDIEN GmbH, Verlag Bauwesen., 1999.
- [11] M. Deinhard, „Die Tragfähigkeit historischer Holzkonstruktionen.,“ Bruderverlag Karlsruhe, Karlsruhe, 1963.
- [12] S. M. Holzer, Statische Beurteilung historischer Tragwerke, Bd. 2 historische Holzkonstruktionen, Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2015.
- [13] B. Köck, „Barocke Dachwerke: Konstruktion und Tragverhalten,“ Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 2011.
- [14] M. F. Koller, Der practische Baubeamte. 2.Aufl., Wien: Ignaz Alberti, 1800.
- [15] J. C. von Naumann, Architectura Practica oder Die wirkliche und tüchtige Bau-Kunst, Dresden: Gottfried Gottlob Richtern, 1736.
- [16] L. Voch, Wirkliche Baupraktik der bürgerlichen Baukunst, Augsburg: Matthäus Riegers sel. Söhne, 1780.
- [17] L. Voch, Anleitung zur Verfertigung schöner Zimmerwerksrisse, Augsburg: Johann Martin Will, 1817.
- [18] L. F. Wolfram, Handbuch für Baumeister. Dritter Theil. Zimmerwerks-Kunst. Erste Abtheilung., Rudolstadt, 1824.

- [19] Landesamt für Denkmalpflege Hessen, Reparaturen und statische Sicherungen an historischen Holzkonstruktionen, Bd. 3, Wiesbaden, 2003.
- [20] W. Rug, Hrsg., Holzbau im Bestand-Historische Holtragwerke. Beispiele für substanzschonende Erhaltung., Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2018.
- [21] A. Meisel, „Historische Dachstühle,“ Technische Universität Graz, Graz, 2009.
- [22] T. Busen, M. Knechtel, C. Knobling, E. Nagel, M. Schuller und B. Todt, „Bauaufnahme,“ TUM. University Press, München, 2017.
- [23] J. Ortner, „Instandsetzungshandbuch für historische Dachwerke und deren Verbindungen,“ Technische Universität Graz, Graz, 2014.
- [24] K. Erler, Alte HolzBauWerke Beurteilen und Sanieren, Berlin: HUSS-MEDIEN GmbH, Verlag Bauwesen, 2004.
- [25] RICHTLINIE RVS 13.03.11, *Arbeitspapier Nr. 12 : Objekts- und Bauteilbewertung bei Brückenprüfungen*, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, 2009.
- [26] *Charta von Venedig. Internationale Charta über die Konservierung und Restaurierung von Denkmälern und Ensembles (Denkmalbereiche)*, 1964.
- [27] C. Raabe, Denkmalpflege. Schnelleinstieg für Architekten und Bauingenieure, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [28] Land Steiermark, *Gesetz für das Land Steiermark (04.04.1995). Stmk.BauG.*
- [29] *Land Steiermark (28.06.1977): Gesetz zur Erhaltung des Ortsbildes von Gemeinden. Ortsbildgesetz 1977.*
- [30] Republik Österreich, *Denkmalschutzgesetz-DMSG. BGBl. Nr. 533/1923, Fassung vom 09.09.2019, 2019.*
- [31] *Land Steiermark (01.12.2008): Grazer Altstadterhaltungsgesetz. GAEG 2008..*
- [32] NORM ÖNORM EN 13306, *Instandhaltung. Begriffe der Instandhaltung*, 15.01.2018.
- [33] NORM DIN 31051, 01.09.2012., *Grundlagen der Instandhaltung.*
- [34] NORM ÖNORM A 6250-2, 15.03.2015, *Aufnahme und Dokumentation von Bauwerken und Außenanlagen. Teil 2: Bestands- und Bauaufnahme von denkmalgeschützten Objekten.*
- [35] NORM SIA 462, 01.06.1994, *Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke.*
- [36] *NORM SIA 469, 01.08.1997: Erhaltung von Bauwerken.*
- [37] *NORM SIA 269, 01.01.2011: Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken.*
- [38] *MERKBLATT SIA 2017, 01.06.2000: Merkblatt SIA 2017. Erhaltungswert von Bauwerke.*
- [39] T. G. I. f. H. u. Holztechnologie und h. f. gmbh, „Bestandsanalyse und Instandhaltung von Holzkonstruktionen,“ Verlag der Technischen Universität Graz, Graz, 2009.
- [40] M. Petzet und G. Mader, Praktische Denkmalpflege, Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH, 1993.
- [41] K. Fritzen, „Denkmalpflege: Betrachtungen aus aktuellem Anlass,“ *bauen mit holz, Fachzeitschrift für konstruktiven Holzbau und Ausbau. Nr.10*, p. S.1, 2006.
- [42] W. (. Wapenhans, Tragwerksplanung im Bestand, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2005.





- [43] A. Meisel, *Vorlesungsunterlagen zur Lehrveranstaltung Bestandsanalyse und Instandsetzungen von Holzkonstruktionen*, 2017.
- [44] „Bundesdenkmalamt Denkmalverzeichnis,“ [Online]. [Zugriff am 04 09 2019].
- [45] H. Schweigert, DEHIO Graz, Horn/Wien: Berger, 2013.
- [46] R. Baravalle, *Burgen und Schlösser der Steiermark*, Graz: Leykam, 1995.
- [47] Stadtarchiv, *Baupolizeiamt, Aktenzeichen GZ: A 10/3-KII-19.060/1981*, Graz, 1985.
- [48] J. Maier, *Handbuch Historisches Mauerwerk*, Erlangen: Springer Vieweg, 2012.
- [49] C. Kayser, „Historische Konstruktionen: Gusseisen,“ *db deutsche bauzeitung*, p. 126, 09 2016.
- [50] S. Heyde und J. Lindner, „Historische Stützen aus Grauguss-Tragsicherheitsnachweise und Ertüchtigung,“ *Stahlbau 78, Heft 11*, pp. 800-814, 2009.
- [51] A. Müller, M. Vogel, S. Lang und F. Sauser, „Historische Holzverbindungen,“ Berner Fachhochschule, Bern, 2016.
- [52] T. Eißing, B. Furrer, S. King, U. Knapp, A. Krämer, B. Lohrum, T. Marstaller, C. Mohn, H. Pantli und D. Reicke, „Vorindustrieller Holzbau in Südwestdeutschland und der deutschsprachigen Schweiz, Terminologie und Systematik,“ *Südwestdeutsche Beiträge zur historischen Bauforschung*, 2012.
- [53] R. Görlacher, F. (. Wenzel, J. (. Kleinmanns, V. C. (. Falk und H. (. Eckert, „Historische Holztragwerke: Untersuchen, Berechnen und Instandsetzen,“ Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 1999.
- [54] NORM ÖNORM B 4008-1: 15.10.2018, *Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Tragwerke, Teil 1: Hochbau*.
- [55] NORM DIN 4074-1: 01.09.2012, *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit: Teil 1: Nadelstnitholz*.
- [56] NORM ÖNORM EN 338: 01.06.2016, *Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen*.
- [57] P. Frech, „Beurteilungskriterien für Rißbildung bei Bauholz im konstruktiven Holzbau,“ *bauen mit holz*, Nr. 9/87, pp. S.582-585, 1987.
- [58] CEN, *EN 1995-1-1: Design of timber structures. Part -1-: General - Common rules and rules for buildings.*, CEN, Ed., Brussels: European Committee for Standardization, 2004.
- [59] S. M. Holzer und B. Köck, „Barocke Dachwerke: Konstruktion und Analyse des Tragverhaltens,“ *Bautechnik 86*, 2009.
- [60] B. Buchhäusel, „Bestandserfassung, Modellbildung und Tragverhalten historischer Dachstühle am Beispiel des Stiftes Zwettl,“ Technische Universität Graz, Graz, 2010.
- [61] Technische Universität Graz, „Mechanisches Verhalten von Holz-Holz-Verbindungen in historischen und modernen Holztragwerken,“ Verlag der Technischen Universität Graz, Graz, 2014.
- [62] NORM ÖNORM B 1991-1-1, 01.02.2017, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau - Nationale Festlegungen und nationale Ergänzungen*.
- [63] NORM ÖNORM EN 1991-1-1, 01.09.2011, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*.

- [64] RSTAB 8. Statik allgemeiner Stabwerke. Programm-Beschreibung, Tiefenbach: Dlubal Software GmbH, 2015.
- [65] NORM ÖNORM B 1991-1-4, 15.07.2019, *Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen-Windlasten-Nationale Festlegungen und nationale Ergänzungen.*
- [66] NORM ÖNORM EN 1991-1-4, 15.05.2011, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten.*
- [67] J. P. Harrauer, „Bestandserfassung und -analyse hölzerner Dachkonstruktionen am Beispiel der Hauptkuppel der "Alten Technik" der TU Graz,“ Technische Universität Graz, Graz, 2017.
- [68] NORM ÖNORM B 1991-1-3, 01.12.2018, *Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen-Schneelasten-Nationale Festlegungen, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen.*
- [69] NORM ÖNORM EN 1991-1-3, 15.01.2016, *Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten.*
- [70] NORM ÖNORM EN 1995-1-1, 01.06.2019, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.*
- [71] NORM ÖNORM EN 1990, 15.03.2013, *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung.*
- [72] NORM ÖNORM B 1995-1-1, 01.06.2019, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau Nationale Festlegungen zur Umsetzung der ÖNORM EN 1995-1-1, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen.*
- [73] I. f. H. u. Holztechnologie, *Formelsammlung Holzbau*, Graz: Technische Universität Graz, 2016.
- [74] H. Koch, „Untersuchungen zum Last-Verformungsverhalten historischer Holztragwerke-Der abgestirnte Zapfen,“ kassel university press GmbH, Kassel, 2011.
- [75] B. Heimeshoff und N. Köhler, „Untersuchung über das Tragverhalten von zimmermannsmäßigen Holzverbindungen. T 2189,“ IRB Verlag, Stuttgart, 1989.
- [76] RSTAB 8. Statik allgemeiner Stabwerke. Programm-Beschreibung., Tiefenbach: Dlubal Software GmbH, 2015.
- [77] RICHTLINIE ONR 24009, 01.05.2013: *Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Hochbauten..*
- [78] Technische Universität Graz, „Historisch wertvolle Dachwerke in UNESCO-Welkulturerbe-Zonen,“ Verlag der Technischen Universität Graz, Graz, 2011.
- [79] D. Ansorge, *Historische Holzbauwerke und Fachwerk.Instandsetzen-Erhalten.Teil 1: Schwerpunkt Wärme- und Feuchteschutz*, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008.

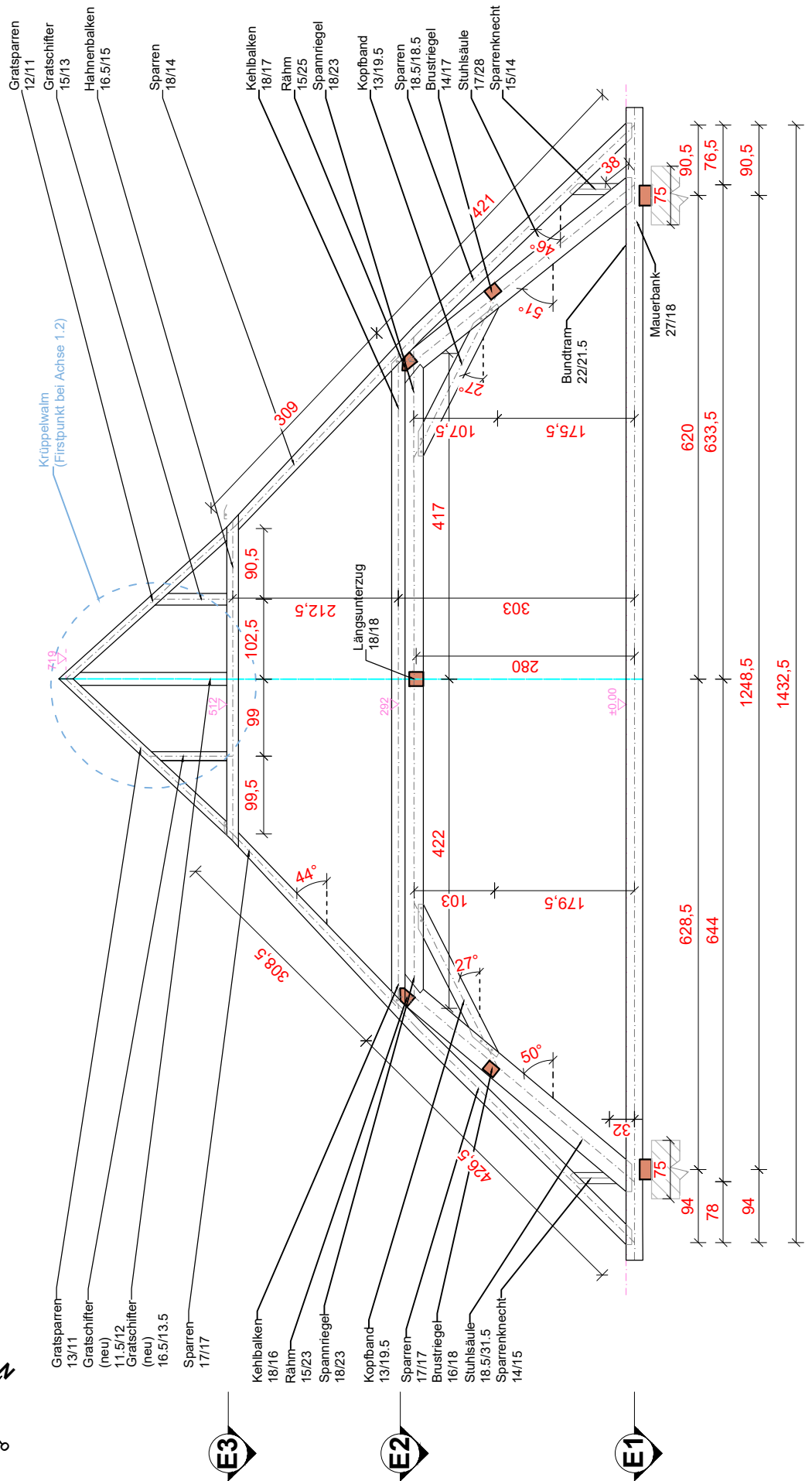
## ANHANG B BESTANDSPLÄNE

Nachfolgend sind die Bestandspläne, welche im Rahmen der Bestandserfassung erstellt wurden abgelegt. Die Gespärre sind im Maßstab M 1:75, die Stuhlwände M 1:100 und die Grundrisse M 1:150.

Plannummer	Planinhalt
01	Vollgespärre 1
02	Vollgespärre 2
03	Vollgespärre 5
04	Vollgespärre 6
05	Vollgespärre 7
06	Leergespärre 2.2
07	Leergespärre A.3
08	Ichsengespärre I.1
09	Grundriss mit Mauerwerk (E1)
10	Bundtramlage (E1)
11	Sparrenlage (E1)
12	Kehlbalkenlage (E2)
13	Hahnenbalkenlage (E3)
14	Stuhlwände (E1-E2)
15	Stuhlwände (E1-E2); Schnitt H-H', F-F'

Legende:	
 Bauteil xx/xx	Querschnittsabmessungen B/H in [cm]
	Höhenangaben bezogen auf den Referenzpunkt bei Vollgespärre 2, Oberkante Bundtram, Südosten.
	gekennzeichnete Bereiche, die nur erschwert oder gar nicht zugänglich sind
	Gewindeanker
Ebene E0 Ebene E1 Ebene E2 Ebene E3	Gewölbedecke über Erdgeschoss Bundtramlage Kehlbalkenlage Hahnenbalkenlage





Projekt:  
**Bestandsaufnahme Dachtragwerk Wirtschaftsgebäude**  
 Nr. 108 LFS Alt-Grottenhof  
 Krottendorferstraße 110, 8052 Graz

Projektnummer:  
**01**

Maßstab:  
**M 1:75**

gezeichnet am:  
**22.06.2019**

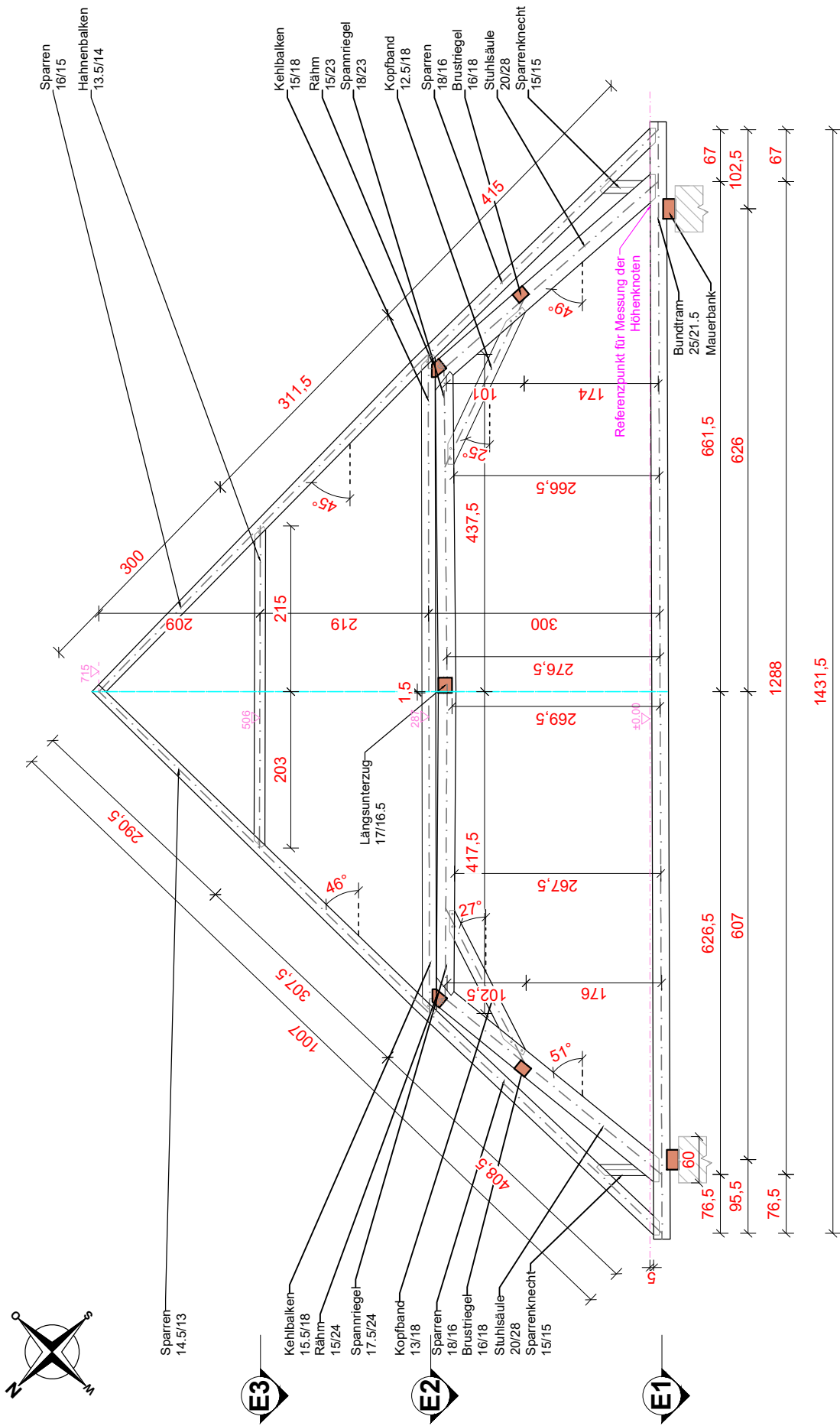


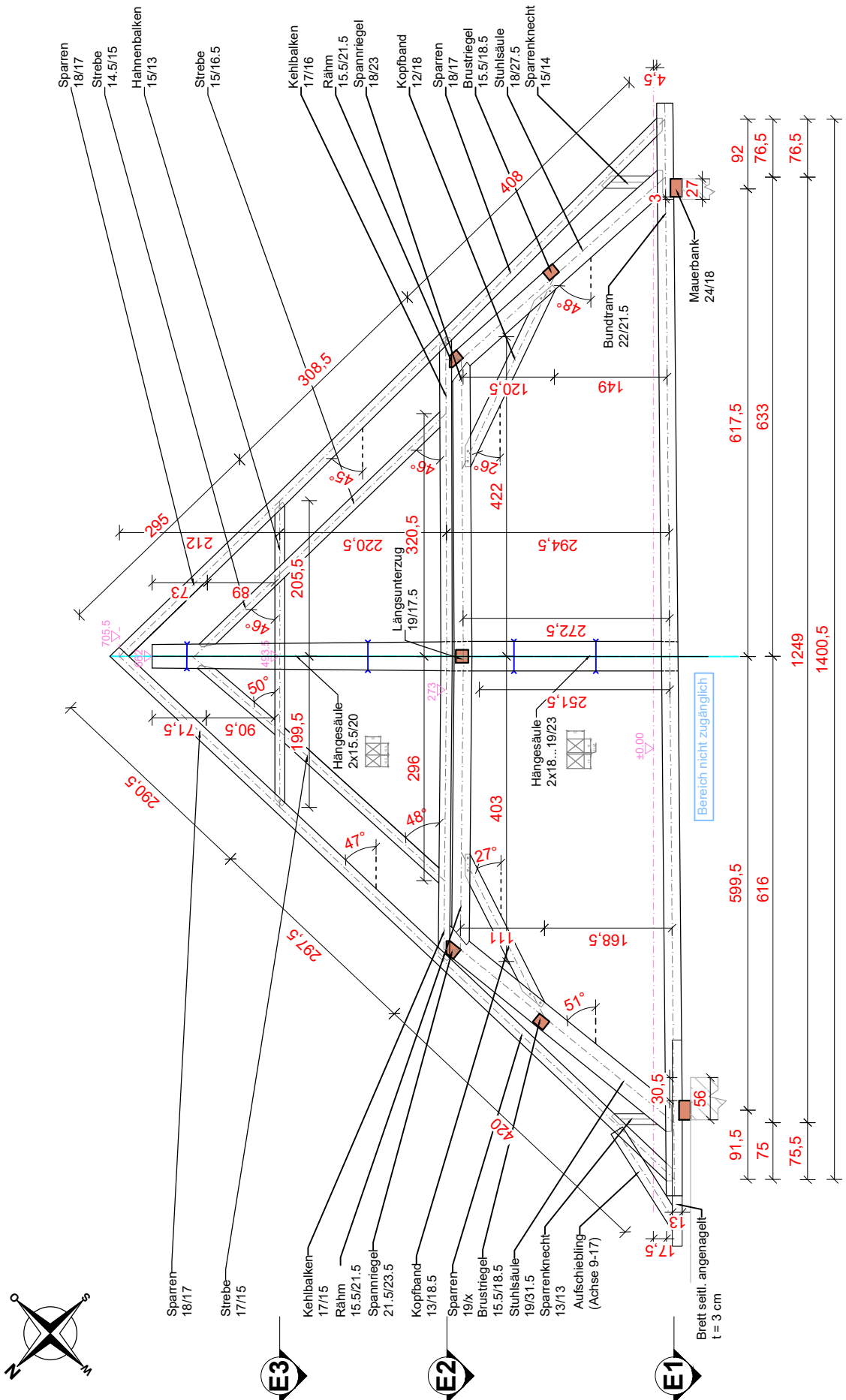
Objektteil:  
**Vollgespärre 1**  
**Blickrichtung Südwesten**

Plannummer:  
**01**

Format:  
**ISO A4**

durch:  
**AS**






**TU**  
**Graz**

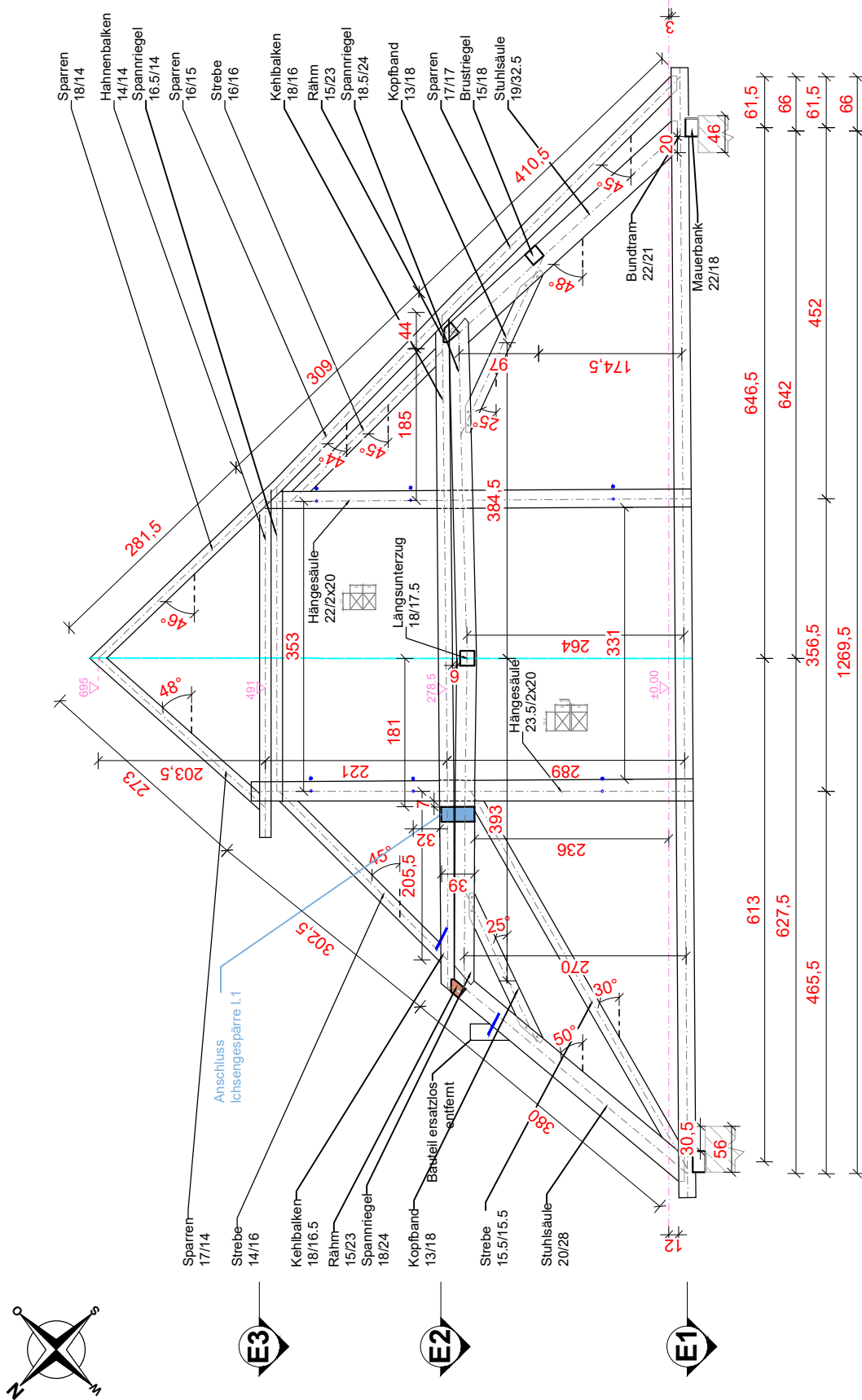


**lignum**  
study research engineering test center

Projekt:  
**Bestandsaufnahme Dachtragwerk Wirtschaftsgebäude**  
**LFS Alt-Grottenhof**  
 Krottendorferstraße 110, 8052 Graz

Objektteil:  
**Vollgespärre 5**  
**Blickrichtung Nordosten**

Projektnummer: <b>01</b>	Maßstab: <b>M 1:75</b>	gezeichnet am: <b>22.06.2019</b>
Plannummer: <b>03</b>	Format: <b>ISO A4</b>	durch: <b>AS</b>



Projekt:  
**Bestandsaufnahme Dachtragwerk Wirtschaftsgebäude**  
 Nr. 108 LFS Alt-Grottenhof  
 Krottendorferstraße 110, 8052 Graz

Projektnummer:  
**01**

Maßstab:  
**M 1:75**

gezeichnet am:  
**22.06.2019**

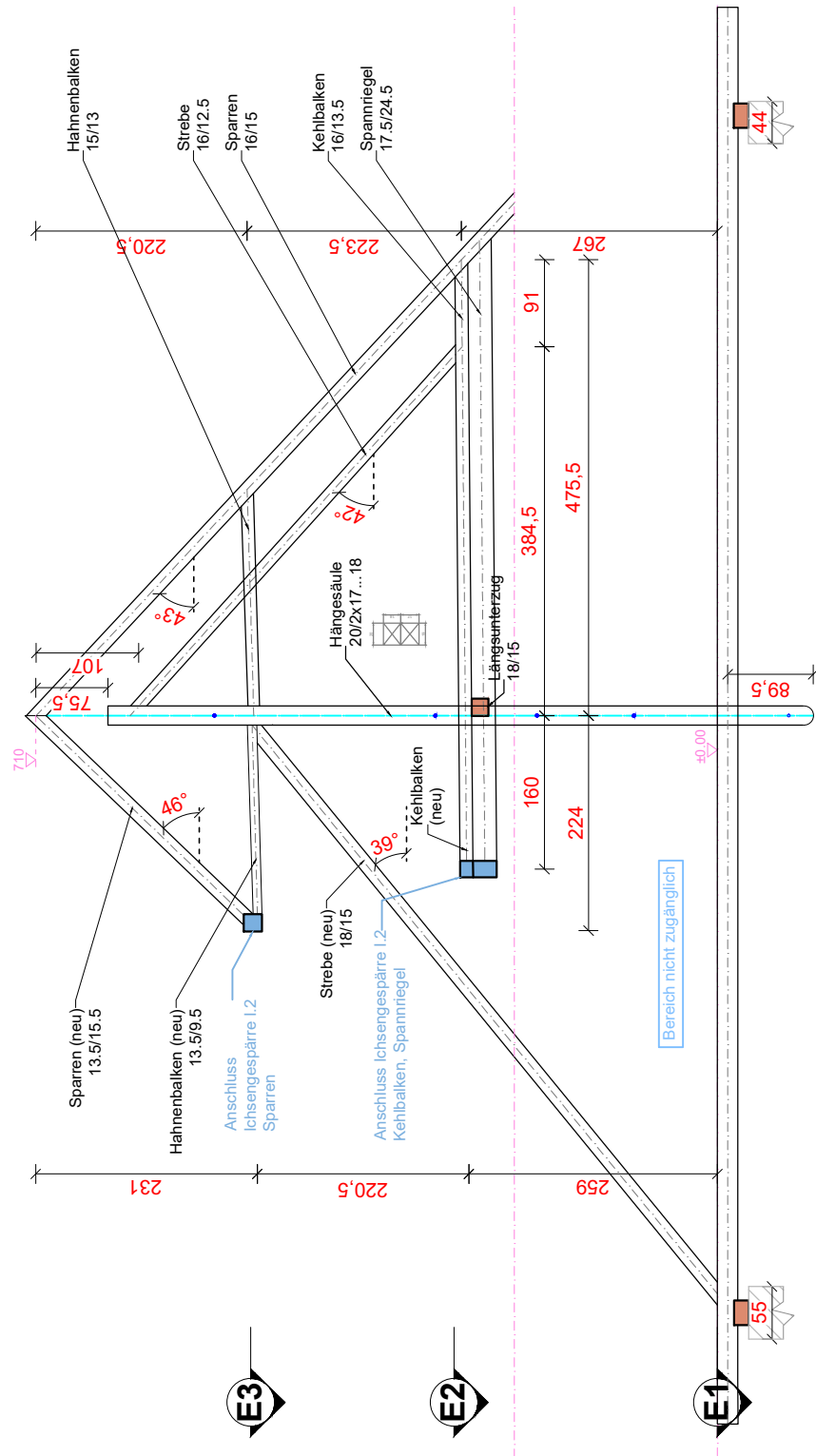


Objektteil:  
**Vollgespärre 6**  
**Blickrichtung Nordosten**

Plannummer:  
**04**

Format:  
**ISO A4**

durch:  
**AS**



Projekt:  
**Bestandsaufnahme Dachtragwerk Wirtschaftsgebäude**  
**LFS Alt-Grottenhof**  
 Krottendorferstraße 110, 8052 Graz

Projektnummer:  
**01**

Maßstab:  
**M 1:75**

gezeichnet am:  
**22.06.2019**

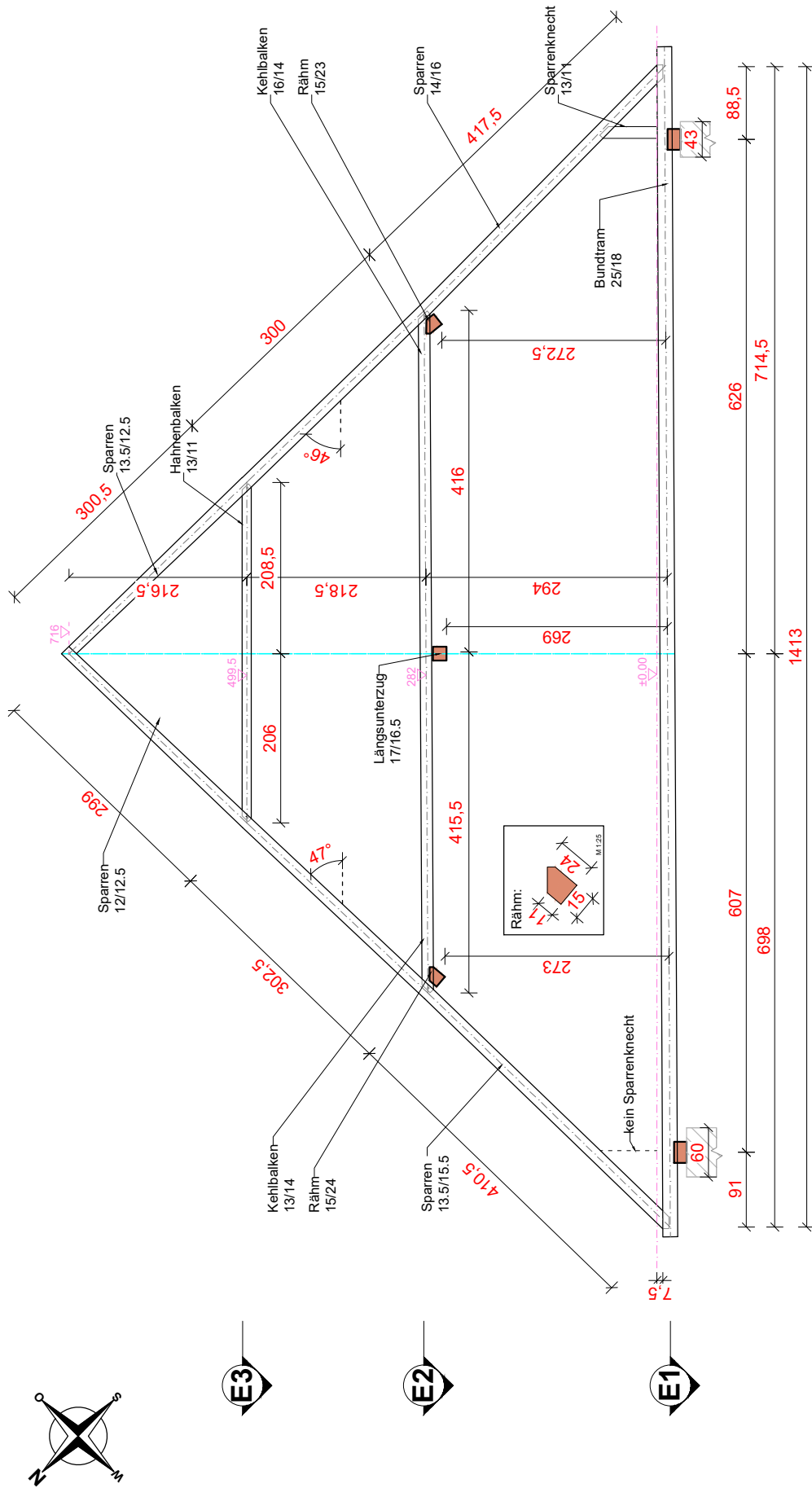


Objektteil:  
**Vollgesparre 7**  
**Blickrichtung Nordosten**

Plannummer:  
**05**

Format:  
**ISO A4**

durch:  
**AS**



Projekt:  
**Bestandsaufnahme Dachtragwerk Wirtschaftsgebäude**  
**LFS Alt-Grottenhof**  
 Krottendorferstraße 110, 8052 Graz

Projektnummer:  
**01**

Maßstab:  
**M 1:75**

gezeichnet am:  
**22.06.2019**

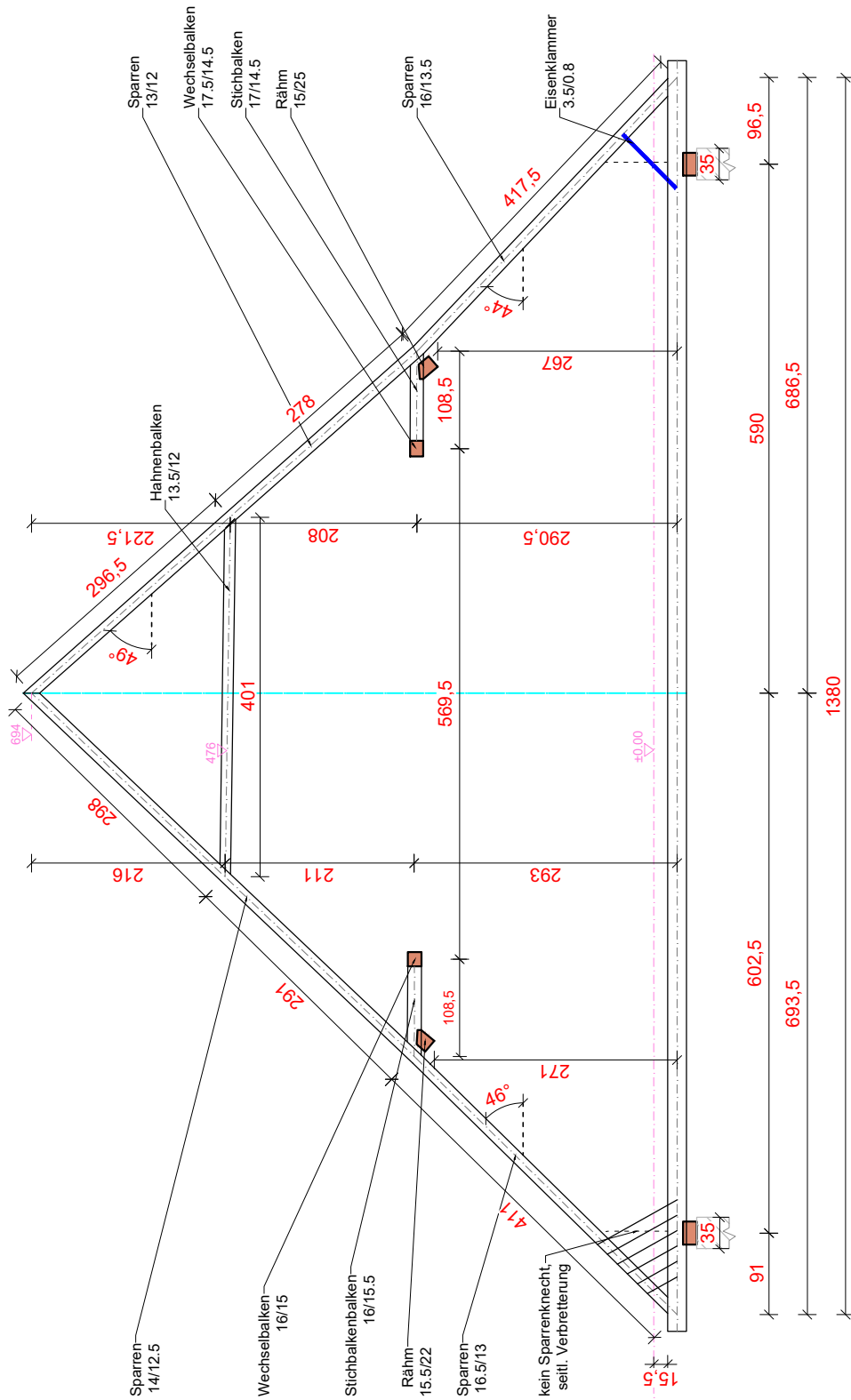


Objektteil:  
**Leergespärre 2.2**  
**Blickrichtung Nordosten**

Plannummer:  
**06**

Format:  
**ISO A4**

durch:  
**AS**



Projekt:  
**Bestandsaufnahme Dachtragwerk Wirtschaftsgebäude**  
**LFS Alt-Grottenhof**  
 Krottendorferstraße 110, 8052 Graz

Projektnummer:  
**01**

Maßstab:  
**M 1:75**

gezeichnet am:  
**22.06.2019**

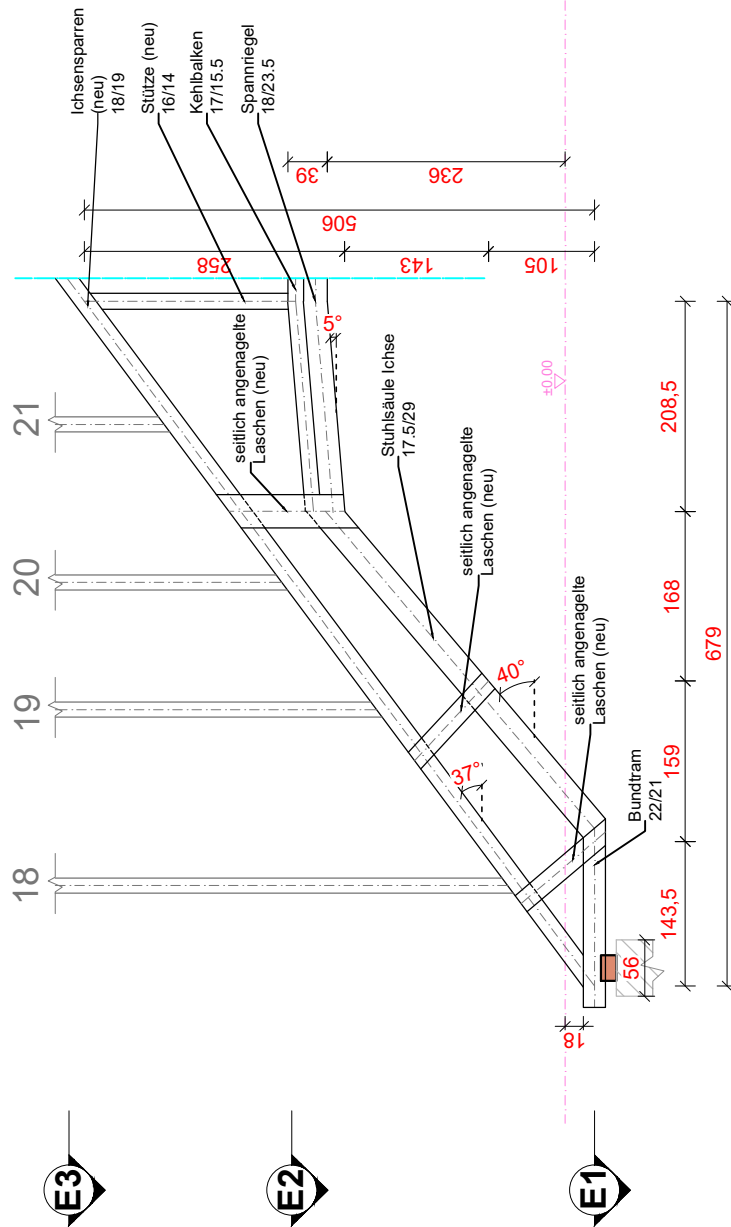


Objektteil:  
**Leergespärre A.3**  
**Blickrichtung Nordwesten**

Plannummer:  
**07**

Format:  
**ISO A4**

durch:  
**AS**



Projekt:  
**Bestandsaufnahme Dachtragwerk Wirtschaftsgebäude  
 LFS Alt-Grottenhof**  
 Krottendorferstraße 110, 8052 Graz

Projektnummer:  
**01**

Maßstab:  
**M 1:75**

gezeichnet am:  
**22.06.2019**



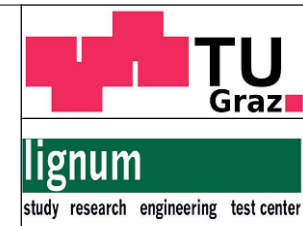
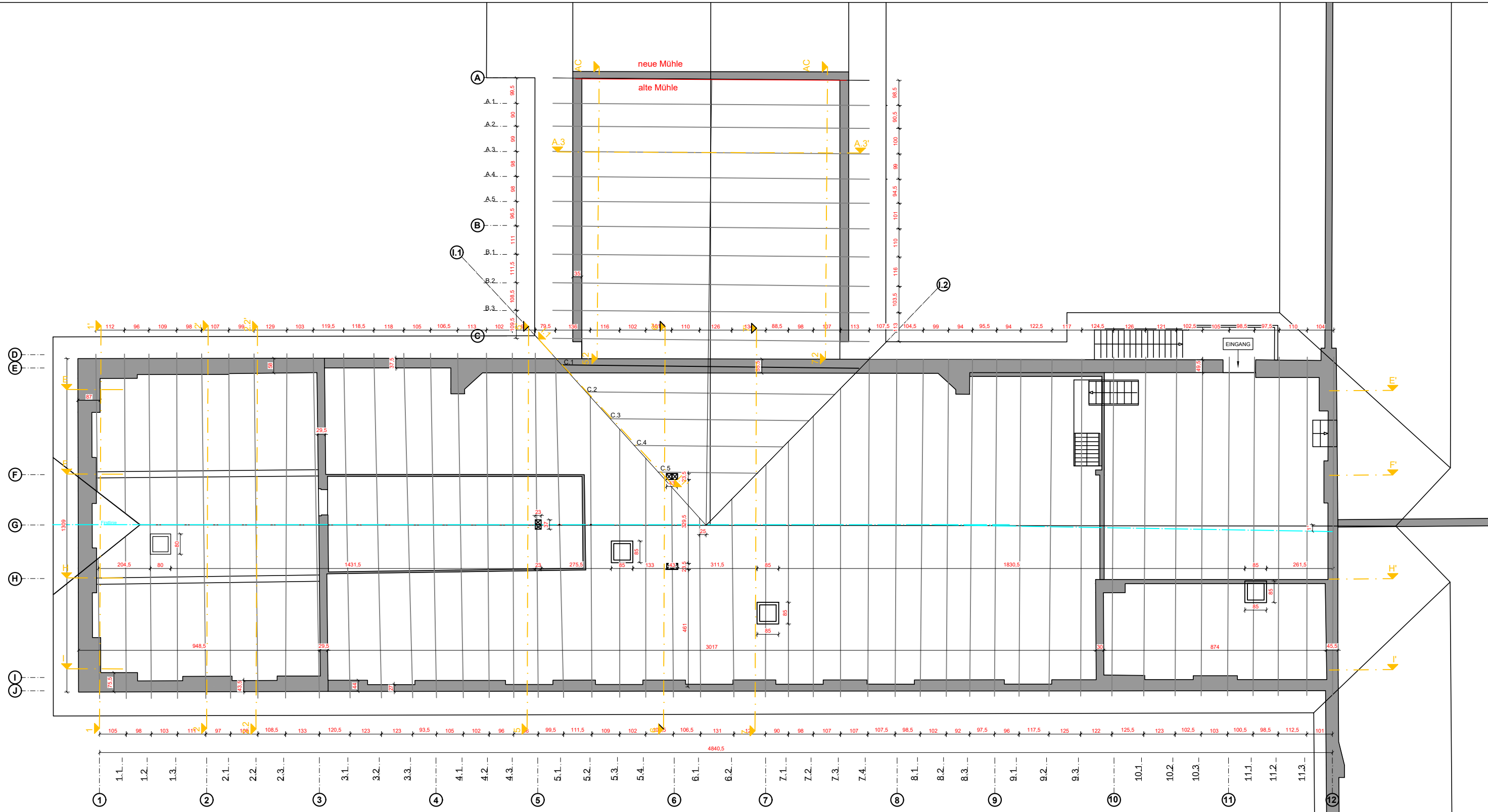
Objektteil:  
**Ichsengesparre I.1  
 Blickrichtung Nordosten**

Plannummer:  
**08**

Format:  
**ISO A4**

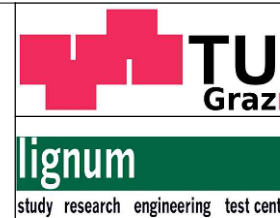
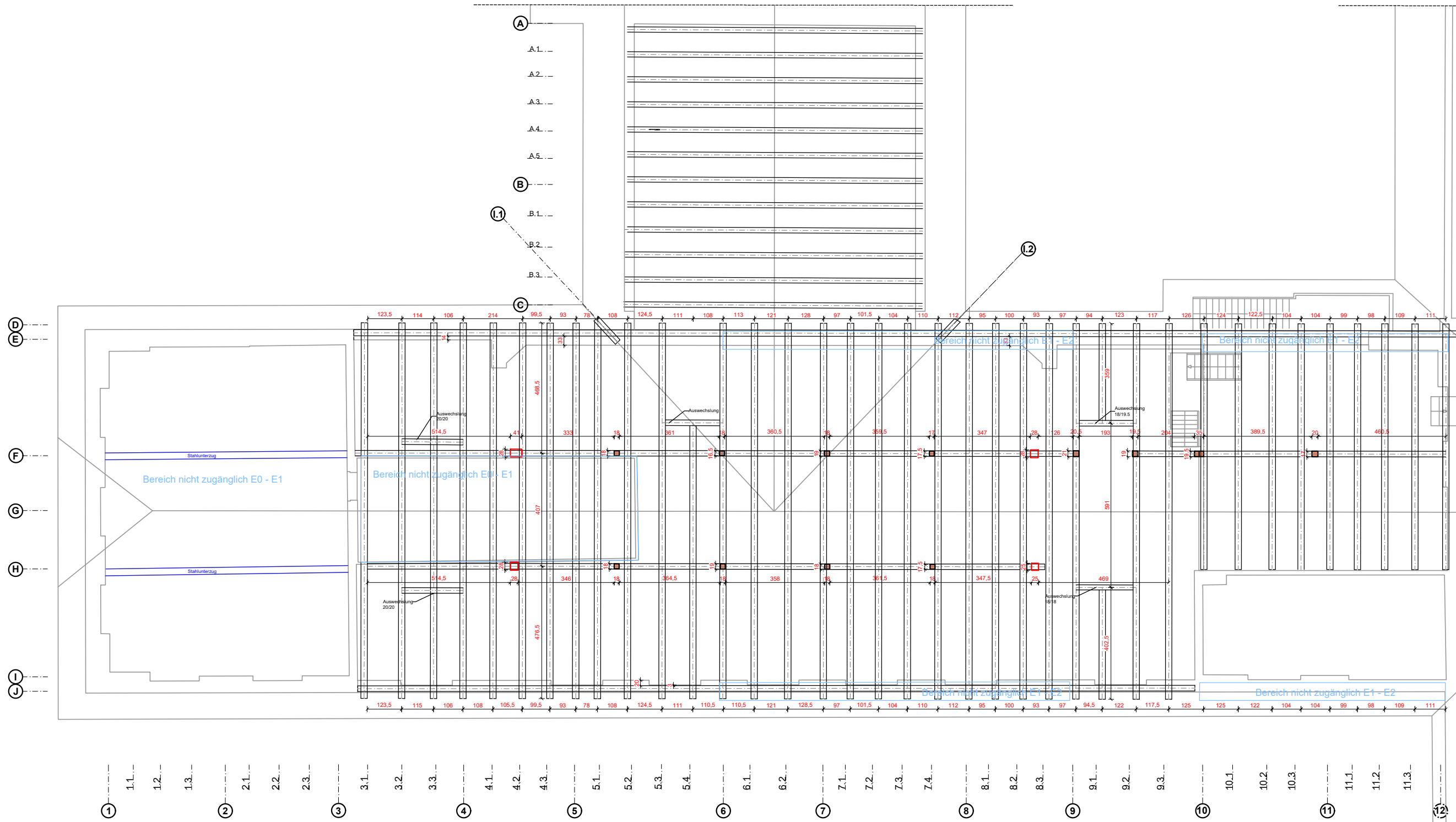
durch:  
**AS**





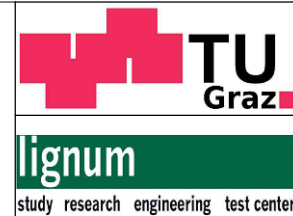
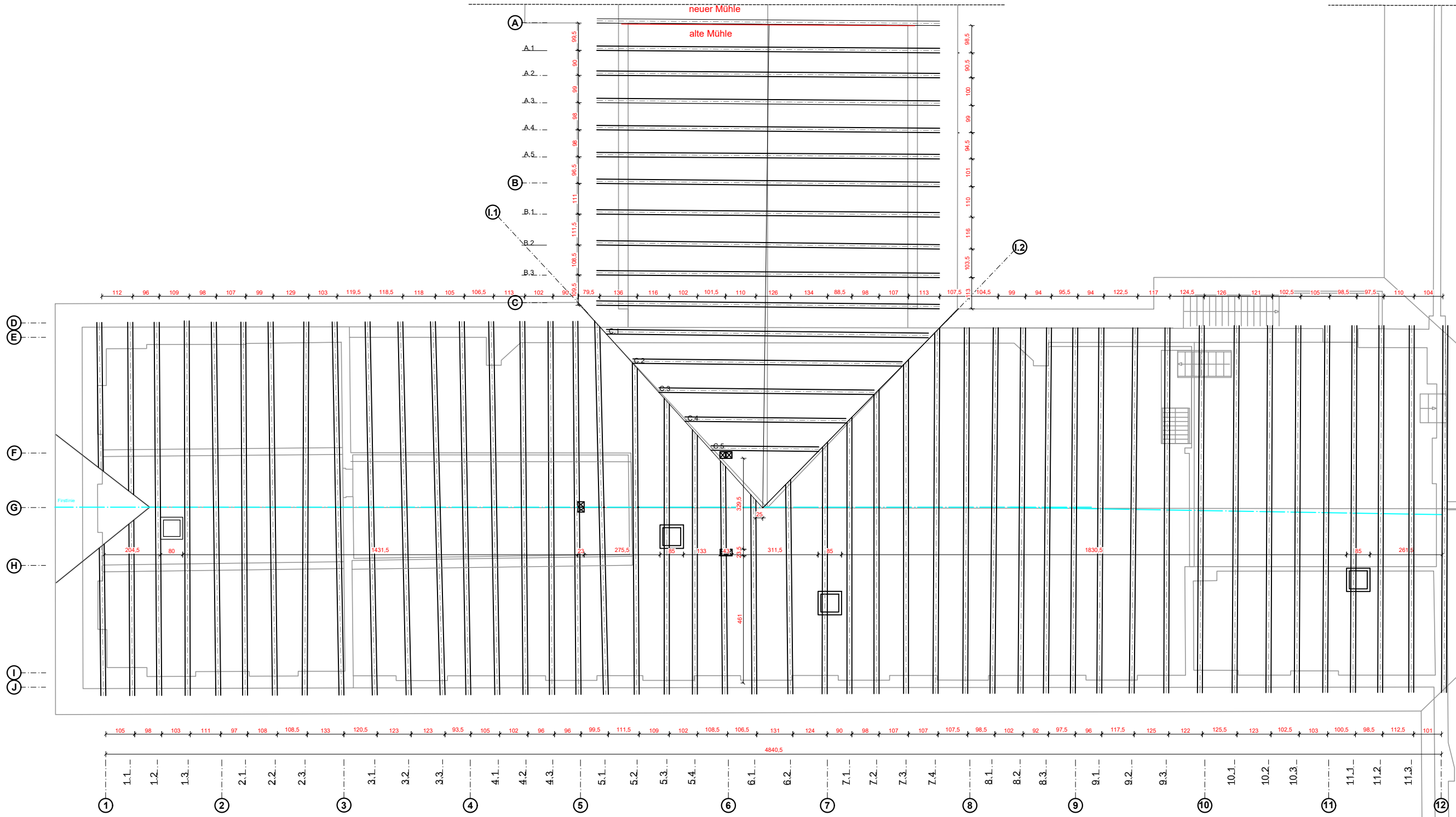
Projekt:  
**Bestandsaufnahme Dachtragwerk Wirtschaftsgebäude  
 Nr. 108 LFS Alt-Grottenhof**  
 Krottendorferstraße 110, 8052 Graz  
 Objektteil:  
**Grundriss mit Mauerwerk vom Obergeschoß**

Projektnummer: <b>01</b>	Maßstab: <b>M 1:150</b>	gezeichnet am: <b>22.06.2019</b>
Plannummer: <b>09</b>	Format: <b>ISO A3</b>	durch: <b>AS</b>



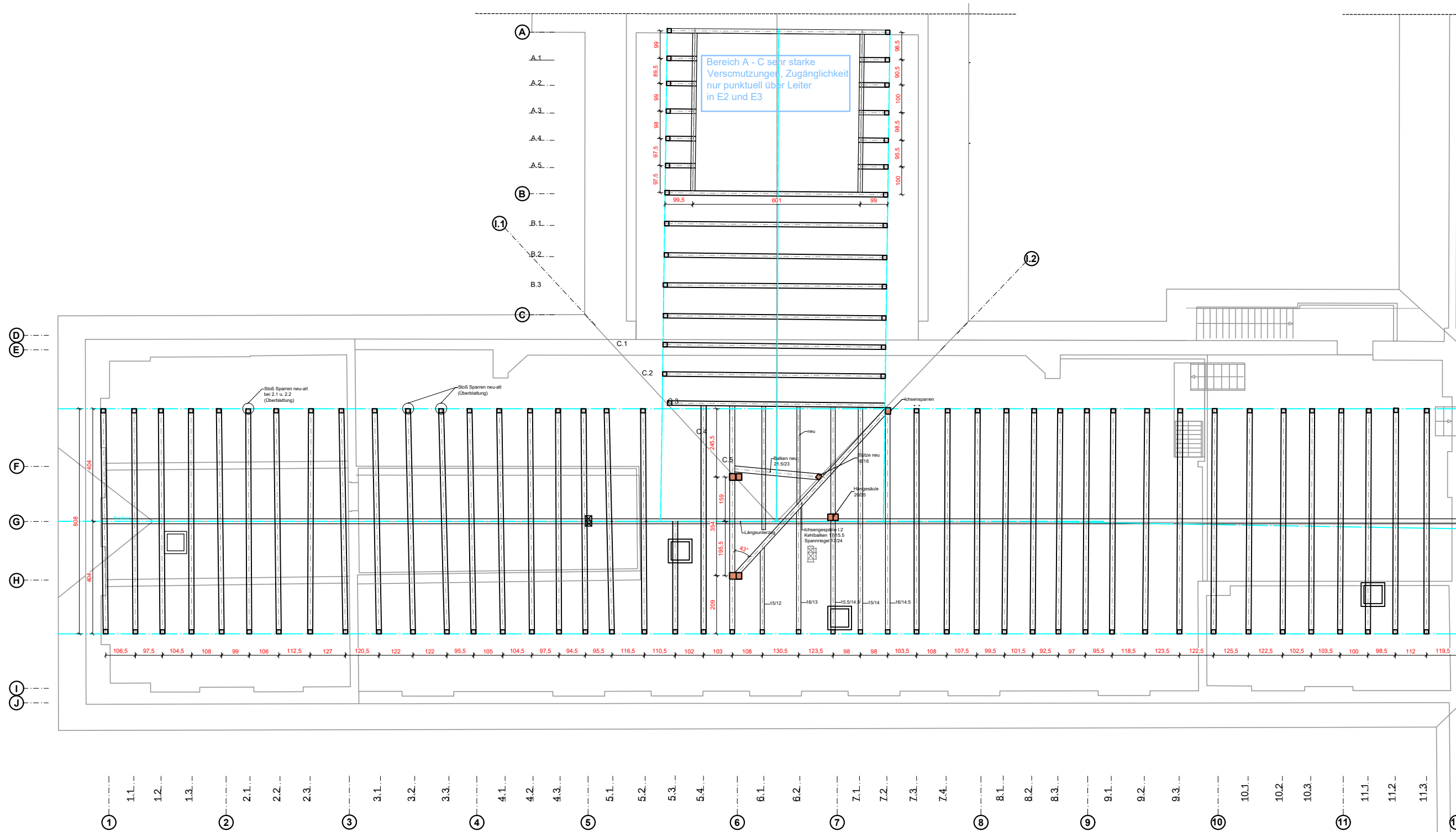
Projekt:  
**Bestandsaufnahme Dachtragwerk Wirtschaftsgebäude  
 nr. 108 LFS Alt-Grottenhof**  
 Krottendorferstraße 110, 8052 Graz  
 Objektteil:  
**E 1:  
 Bundtramlage**

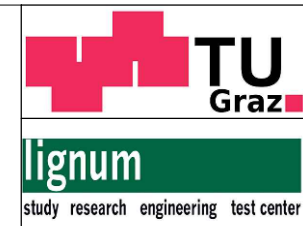
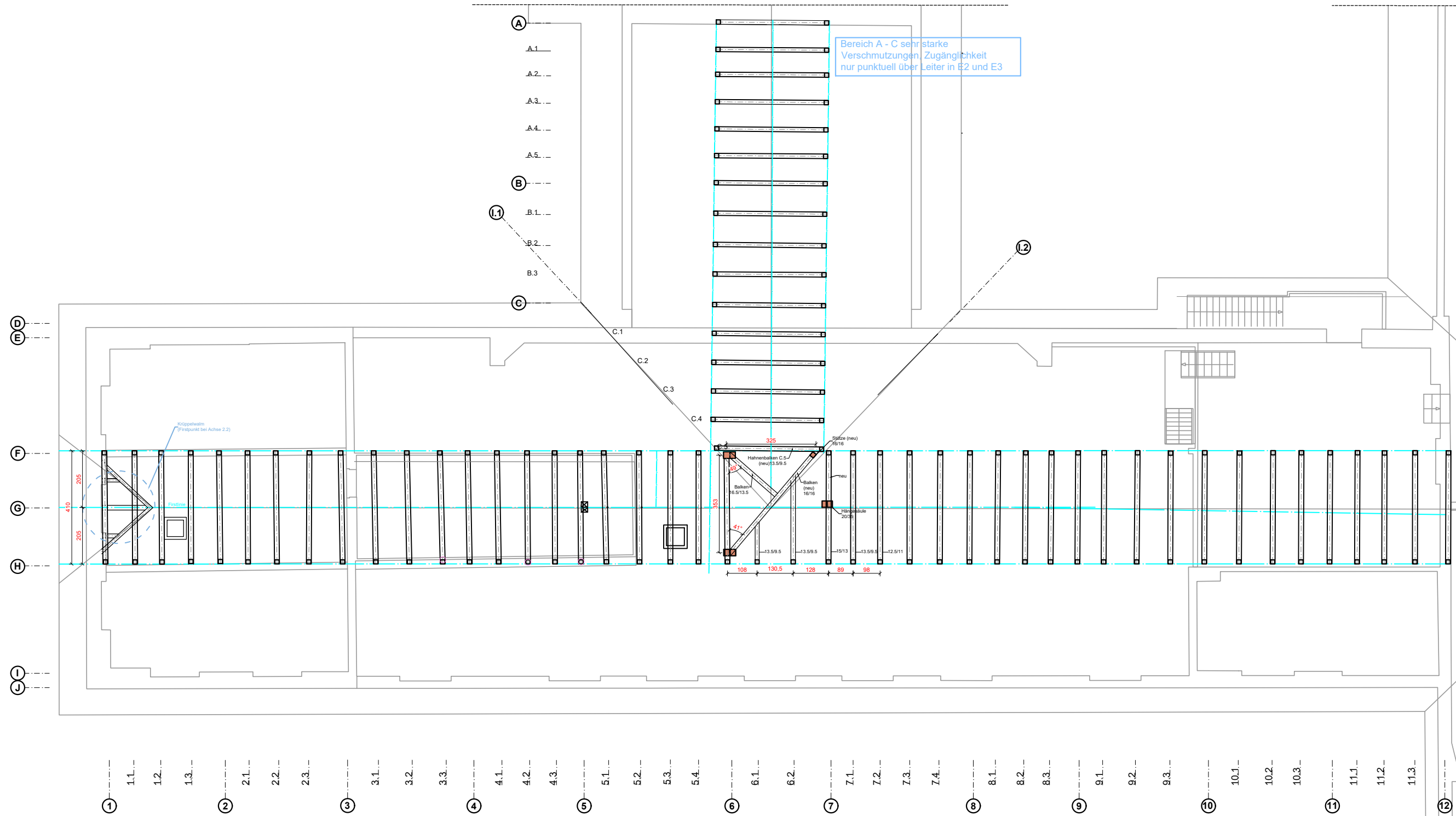
Projektnummer: <b>01</b>	Maßstab: <b>M 1:150</b>	gezeichnet am: <b>25.06.2019</b>
Plannummer: <b>10</b>	Format: <b>ISO A4</b>	



Projekt:  
**Bestandsaufnahme Dachtragwerk Wirtschaftsgebäude**  
**nr. 108 LFS Alt-Grottenhof**  
 Krottendorferstraße 110, 8052 Graz  
 Objektteil:  
**E 1:**  
**Sparrenlage**

Projektnummer: <b>01</b>	Maßstab: <b>M 1:150</b>	gezeichnet am: <b>22.06.2019</b>
Plannummer: <b>11</b>	Format: <b>ISO A4</b>	durch: <b>AS</b>



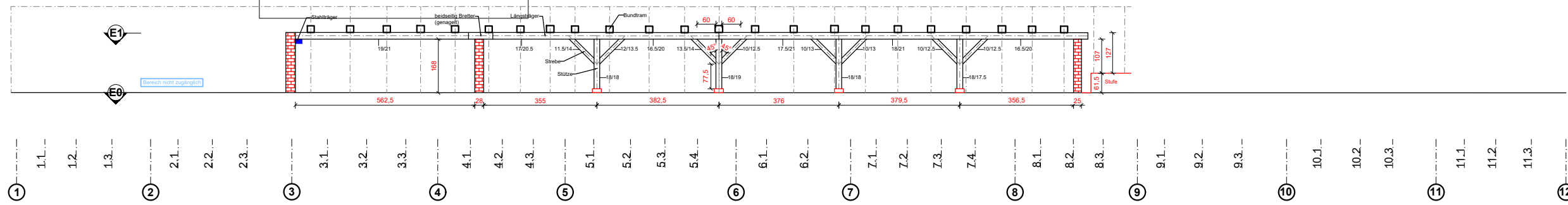


Projekt:  
**Bestandsaufnahme Dachtragwerk Wirtschaftsgebäude  
 nr. 108 LFS Alt-Grottenhof**  
 Krottendorferstraße 110, 8052 Graz  
 Objektteil:  
**E 3:  
 Hahnenbalkenlage**

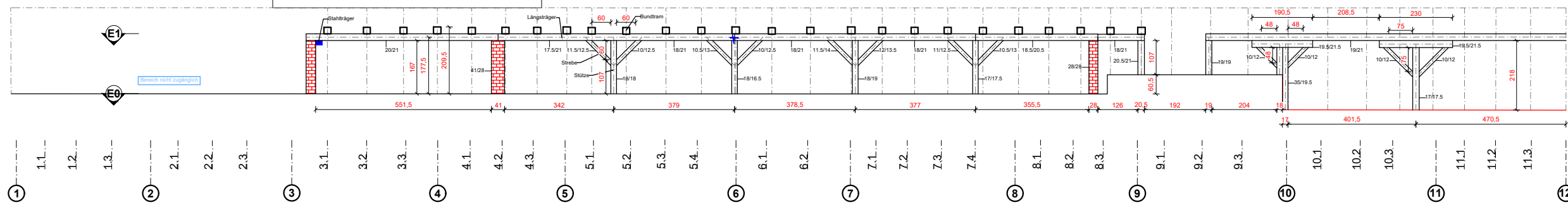
Projektnummer: <b>01</b>	Maßstab: <b>M 1:150</b>	gezeichnet am: <b>22.06.2019</b>
Plannummer: <b>13</b>	Format: <b>ISO A4</b>	durch: <b>AS</b>



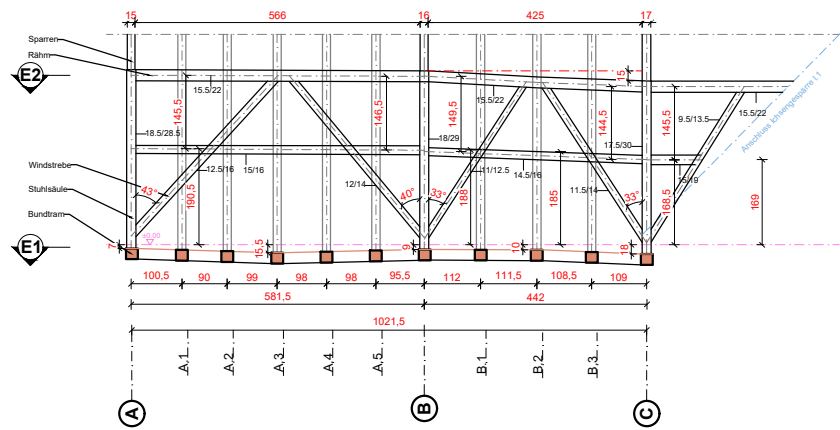
## Schnitt H-H'



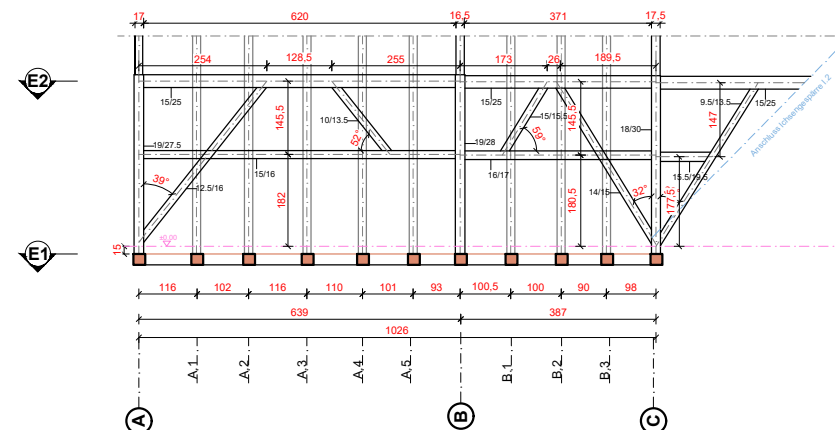
## Schnitt F-F'



## Schnitt AC-5.2



## Schnitt AC-7.2



## **ANHANG C GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME**

In diesem Anhang ist das Gutachten abgelegt, dieses wurde für die Bestimmung des angefundenen Pilzes bei Ichsengespärrs I.2.

---





## GUTACHTLICHE STELLUNGNAHME

Auftrag-Nr.: <i>Contract no.</i>	2440/2018 - HO	03.12.2018 TSF/TAS
Auftraggeber: <i>Customer</i>	Technische Universität Graz Institut für Holzbau und Holztechnologie Inffeldgasse 24 8010 Graz	
Auftragsgegenstand: <i>Subject</i>	Pilzbestimmung	
Auftragsdatum: <i>Date of contract</i>	14.11.2018	
Probeneingangsdatum: <i>Date of sample delivery</i>	16.11.2018	
Leistungsdatum/ Leistungszeitraum: <i>Date/Period of service</i>	16.11.2018 bis 03.12.2018	
Geltungsdauer: <i>Period of validity</i>	--	
Textseiten: <i>Pages</i>	3	
Beilagen: <i>Enclosures</i>	4 Abbildungen	



### 1. Auftrag

Am 14.11.2018 wurde die Holzforschung Austria vom Institut für Holzbau und Holztechnologie der Technischen Universität Graz mit einer Pilzbestimmung an einer Holzprobe beauftragt. Die Probe wurde am 16.11.2018 per Post zugestellt.

### 2. Befundaufnahme

Die Untersuchung erfolgte durch Herrn DI Florian Tscherne im Labor der Holzforschung Austria. Die Probe wurde augenscheinlich sowie mit Hilfe der Lichtmikroskopie hinsichtlich Pilzbefalls untersucht.

### 3. Befund

Nach Angabe von Frau Anna Seebeck (TU Graz) stammte die Probe von einem stark geschädigten Bundtram aus dem Objekt Grottenhof (Abbildung 1). Der Bundtram wies bereits seitliche Verstärkungen auf, die ebenfalls schon geschädigt waren.

Die zugesandte Probe wies Weißfäule und Fraßgänge von holzerstörenden Insekten auf (Abbildungen 2 und 3). Auf der Probenoberfläche befand sich ein Gewächs, das makroskopisch keiner Pilzart zugeordnet werden konnte. Bei den mikroskopischen Untersuchungen zeigte sich, dass es sich bei dem Gewächs um keinen Pilz handelte (Abbildung 4).

Mangels Pilzmyzel konnte die die Weißfäule verursachende Pilzart nicht bestimmt werden. Es waren jedoch keine Anzeichen eines Befalls durch einen Echten Hausschwamm (*Serpula lacrymans*) zu erkennen.



#### 4. Gutachten

Die zugesandte Holzprobe wies Weißfäule auf. Die Pilzart konnte mangels Myzels nicht eindeutig bestimmt werden.

Bezüglich Sanierung ist die ÖNORM B 3802-Teil 4 – „Holzschutz im Bauwesen - Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen Pilz- und Insektenbefall“ zu beachten. Nachdem keine Anzeichen eines Befalls durch einen Echten Hausschwamm zu erkennen waren, ist entsprechend einem Befall durch Nassfäulepilze zu sanieren.

HOLZFORSCHUNG AUSTRIA



DI Florian Tscherne  
Bearbeiter



Dr. Gerhard Grill  
Abteilungsleiter

Durchgeführte Untersuchungen sind nicht Bestandteil der Akkreditierung.  
Investigations are not within the scope of the accreditation.

Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände zum Zeitpunkt der Untersuchung.  
Auszugsweise Veröffentlichung ist nur mit schriftlicher Genehmigung der Holzforschung Austria gestattet.  
The results and statements given in this document relate only to the tested materials, the present information and



# BEILAGE

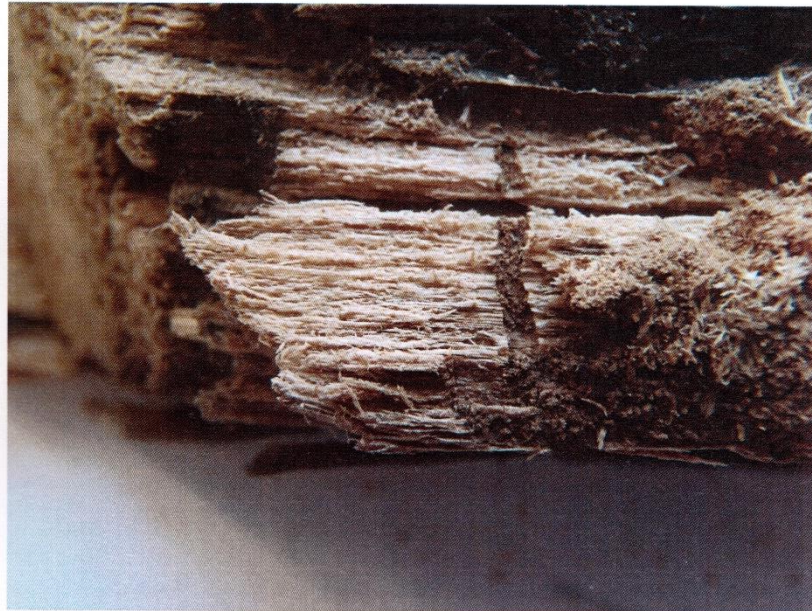
zu Auftrag Nr. 2440/2018 - HO



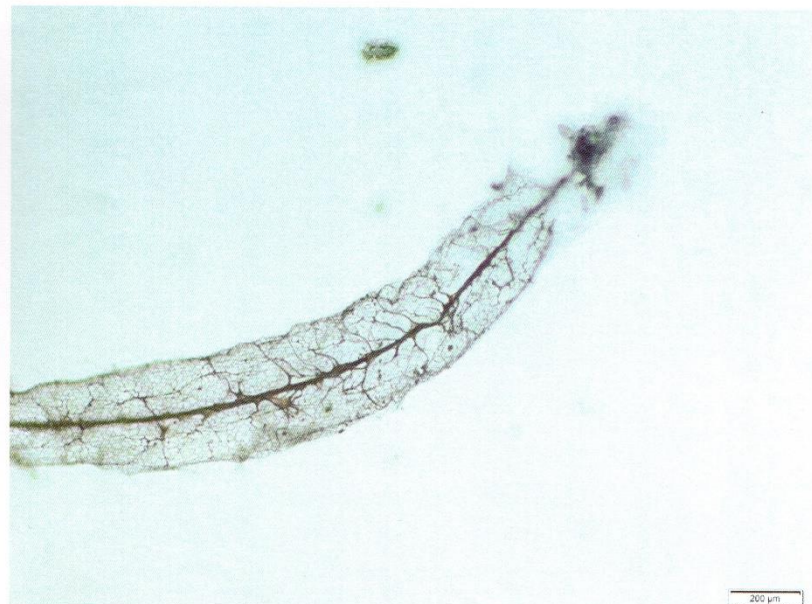
**Abbildung 1: Entnahmestelle der Probe (Foto TU-Graz)**



**Abbildung 2: Ansicht Probe mit Gewächs an der Oberfläche**



**Abbildung 3: Nahaufnahme Weißfäule**



**Abbildung 4: Mikroskopische Aufnahme des Gewächses**

# ANHANG D STABTRAGWERKSBERECHNUNG

Auf den nachfolgenden Seiten werden die Ergebnisse der statischen Analyse zusammengefasst. Die Berechnung wurde mit *Dlubal RSTAB 8.20* durchgeführt. Es werden Auszüge des Berechnungsprotokolls eingefügt.

## Materialien:

Material Nr.	Material Beschreibung	Elastizitätsmodul E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Schubmodul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Querdehnzahl ν [-]	Spez. Gewicht γ [kN/m <sup>3</sup> ]	Wärmedehnzahl α [1/°C]	Teilsich.-Beiwert γ <sub>M</sub> [-]	Material Modell
2	Pappel und Nadelholz C24   ÖNORM EN 338:2009-12 + ÖNORM B 1995-1-1:2015	1100,00	69,00	6,971	5,50	5,00E-06	1,300	Isotrop linear elastisch

**Querschnitte:** Aufgrund der konischen Querschnitte der Sparren, ergeben sich 449 verschiedenen Querschnitte für das Modell, die Zusammenfassung der verwendeten Querschnitte befinden sich im Fließtext.

## Stabendgelenke:

Gelenk Nr.	Bezug System	Axial/Quer-Gelenk bzw. Feder [kN/m]			Momentengelenk bzw. Feder [kNm/rad]			Kommentar
		u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	u <sub>z</sub>	φ <sub>x</sub>	φ <sub>y</sub>	φ <sub>z</sub>	
1	Lokal x,y,z	-	-	-	-	+	+	Vollgelenk
2	Global X,Y,Z	-	-	-	Scheren	Scheren	Scheren	Windstreben, Hängesäulen (Überblattung, Einhalsung)
4	Lokal x,y,z	Fest falls N negativ	-	-	-	+	+	Ausfall Zug (Sparrenknecht)
5	Lokal x,y,z	-	7100,000	7100,000	25,000	0,010	+	Dachlatten
6	Lokal x,y,z	31000,000	-	-	-	+	+	Kopfband-Stuhlsäule/Spannriegel (schräger Zapfen mit abgesetzten versatz)
7	Lokal x,y,z	24000,000	-	-	-	+	+	Kehlbalken-Sparren (Riegelzapfen m. Holznagel)
8	Lokal x,y,z	24000,000	-	-	-	+	+	Spannriegel-Rähm (Riegelzapfen m. Holznagel)
9	Lokal x,y,z	Fest falls N negativ	-	5300,000	-	+	+	Sparren-Bundtram (schräger Zapfen, Ausfall Zug)
11	Lokal x,y,z	Fest falls N negativ	-	61800,000	-	+	+	Stuhlsäule-Bundtram (schräger Zapfen)
12	Lokal x,y,z	Fest falls N negativ	-	-	-	+	+	Stuhlsäule-Rähm (einseitiger Hals m. Zapfen, Verkämmung) Ausfall Zug
13	Lokal x,y,z	137000,000	-	34000,000	-	+	+	Windstreben Stuhlsäule/Rähm (schräger Zapfen m. Holznagel)

**Knotenlager:**

Lager Nr.	Folge	Lagerdrehung [°]			Stütze in Z	Stützung bzw. Feder [kN/m]			Einspannung bzw. Feder [kNm/rad]			Kommentar
		um X	um Y	um Z		u <sub>x'</sub>	u <sub>y'</sub>	u <sub>z'</sub>	φ <sub>x'</sub>	φ <sub>y'</sub>	φ <sub>z'</sub>	
3	XYZ	0,00	0,00	0,00	-	60,00 0	10,00 0	+	-	+	-	Auflager Hauptdach
7	XYZ	0,00	0,00	0,00	-	-	-	10000,000	-	-	-	Bundtram Zwischenauflager
8	XYZ	0,00	0,00	0,00	-	10,00 0	60,00 0	+	+	-	-	Auflager Nebendach

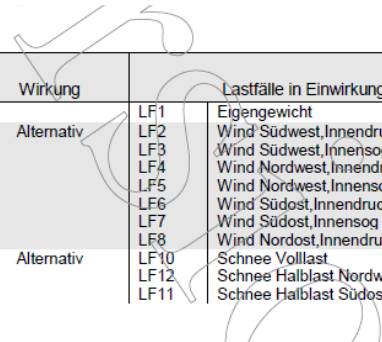
**Lastfälle:**

Lastfall	Lastfall-Beschreibung	Zu berechnen	EN 1990 + 1995   ÖNORM: 2015 Einwirkungskategorie	Eigengewicht - Faktor in Richtung				EN 1990 + 1995   ÖNORM: 2015 Einwirkungsdauer
				Aktiv	X	Y	Z	
LF1	Eigengewicht	+	Ständig	+	0,000	0,000	1,000	Ständig
LF2	Wind Südwest, Innendruck	+	Wind	-	0,000	0,000	0,000	Kurz / Sehr kurz
LF3	Wind Südwest, Innensog	+	Wind	-	0,000	0,000	0,000	Kurz / Sehr kurz
LF4	Wind Nordwest, Innendruck	+	Wind	-	0,000	0,000	0,000	Kurz / Sehr kurz
LF5	Wind Nordwest, Innensog	+	Wind	-	0,000	0,000	0,000	Kurz / Sehr kurz
LF6	Wind Südost, Innendruck	+	Wind	-	0,000	0,000	0,000	Kurz / Sehr kurz
LF7	Wind Südost, Innensog	+	Wind	-	0,000	0,000	0,000	Kurz / Sehr kurz
LF8	Wind Nordost, Innendruck	+	Wind	-	0,000	0,000	0,000	Kurz / Sehr kurz
LF9	Wind Nordost, Innensog	+	Wind	-	0,000	0,000	0,000	Kurz / Sehr kurz
LF10	Schnee Volllast	+	Schnee (H ≤ 1000 m über NN)	-	0,000	0,000	0,000	Kurz
LF11	Schnee Halblast Südost	+	Schnee (H ≤ 1000 m über NN)	-	0,000	0,000	0,000	Kurz
LF12	Schnee Halblast Nordwest	+	Schnee (H ≤ 1000 m über NN)	-	0,000	0,000	0,000	Kurz

**Einwirkungen:**

■ 2.2 EINWIRKUNGEN

Einwirkung	Einwirkung Bezeichnung	EN 1990 + 1995   ÖNORM: 2015 Einwirkungskategorie	Wirkung	Lastfälle in Einwirkung
E2 E3	Ständig Wind	Ständig Wind	Alternativ	LF1 LF2 LF3 LF4 LF5 LF6 LF7 LF8 LF9
E4	Schnee	Schnee (H ≤ 1000 m über NN)	Alternativ	LF10 LF11 LF12





**Lastfallkombinationen:**

Last-kombin.	BS	Lastkombination Beschreibung
LK1	21	1.35*LF1
LK2	21	1.35*LF1+1.5*LF2
LK3	21	1.35*LF1+1.5*LF3
LK4	21	1.35*LF1+1.5*LF4
LK5	21	1.35*LF1+1.5*LF5
LK6	21	1.35*LF1+1.5*LF6
LK7	21	1.35*LF1+1.5*LF7
LK8	21	1.35*LF1+1.5*LF8
LK9	21	1.35*LF1+1.5*LF2+0.75*LF10
LK10	21	1.35*LF1+1.5*LF2+0.75*LF11
LK11	21	1.35*LF1+1.5*LF2+0.75*LF12
LK12	21	1.35*LF1+1.5*LF3+0.75*LF10
LK13	21	1.35*LF1+1.5*LF3+0.75*LF11
LK14	21	1.35*LF1+1.5*LF3+0.75*LF12
LK15	21	1.35*LF1+1.5*LF4+0.75*LF10
LK16	21	1.35*LF1+1.5*LF4+0.75*LF11
LK17	21	1.35*LF1+1.5*LF4+0.75*LF12
LK18	21	1.35*LF1+1.5*LF5+0.75*LF10
LK19	21	1.35*LF1+1.5*LF5+0.75*LF11
LK20	21	1.35*LF1+1.5*LF5+0.75*LF12
LK21	21	1.35*LF1+1.5*LF6+0.75*LF10
LK22	21	1.35*LF1+1.5*LF6+0.75*LF11
LK23	21	1.35*LF1+1.5*LF6+0.75*LF12
LK24	21	1.35*LF1+1.5*LF7+0.75*LF10
LK25	21	1.35*LF1+1.5*LF7+0.75*LF11
LK26	21	1.35*LF1+1.5*LF7+0.75*LF12
LK27	21	1.35*LF1+1.5*LF8+0.75*LF10
LK28	21	1.35*LF1+1.5*LF8+0.75*LF11
LK29	21	1.35*LF1+1.5*LF8+0.75*LF12
LK30	21	1.35*LF1+1.5*LF10
LK31	21	1.35*LF1+1.5*LF11
LK32	21	1.35*LF1+1.5*LF12
LK33	21	1.35*LF1+0.9*LF2+1.5*LF10
LK34	21	1.35*LF1+0.9*LF2+1.5*LF11
LK35	21	1.35*LF1+0.9*LF2+1.5*LF12
LK36	21	1.35*LF1+0.9*LF3+1.5*LF10
LK37	21	1.35*LF1+0.9*LF3+1.5*LF11
LK38	21	1.35*LF1+0.9*LF3+1.5*LF12
LK39	21	1.35*LF1+0.9*LF4+1.5*LF10
LK40	21	1.35*LF1+0.9*LF4+1.5*LF11
LK41	21	1.35*LF1+0.9*LF4+1.5*LF12
LK42	21	1.35*LF1+0.9*LF5+1.5*LF10
LK43	21	1.35*LF1+0.9*LF5+1.5*LF11
LK44	21	1.35*LF1+0.9*LF5+1.5*LF12
LK45	21	1.35*LF1+0.9*LF6+1.5*LF10
LK46	21	1.35*LF1+0.9*LF6+1.5*LF11
LK47	21	1.35*LF1+0.9*LF6+1.5*LF12
LK48	21	1.35*LF1+0.9*LF7+1.5*LF10
LK49	21	1.35*LF1+0.9*LF7+1.5*LF11
LK50	21	1.35*LF1+0.9*LF7+1.5*LF12

LK51	21	1.35*LF1+0.9*LF8+1.5*LF10
LK52	21	1.35*LF1+0.9*LF8+1.5*LF11
LK53	21	1.35*LF1+0.9*LF8+1.5*LF12
LK54	101	LF1
LK55	101	LF1+LF2
LK56	101	LF1+LF3
LK57	101	LF1+LF4
LK58	101	LF1+LF5
LK59	101	LF1+LF6
LK60	101	LF1+LF7
LK61	101	LF1+LF8
LK62	101	LF1+LF2+0.5*LF10
LK63	101	LF1+LF2+0.5*LF11
LK64	101	LF1+LF2+0.5*LF12
LK65	101	LF1+LF3+0.5*LF10
LK66	101	LF1+LF3+0.5*LF11
LK67	101	LF1+LF3+0.5*LF12
LK68	101	LF1+LF4+0.5*LF10
LK69	101	LF1+LF4+0.5*LF11
LK70	101	LF1+LF4+0.5*LF12
LK71	101	LF1+LF5+0.5*LF10
LK72	101	LF1+LF5+0.5*LF11
LK73	101	LF1+LF5+0.5*LF12
LK74	101	LF1+LF6+0.5*LF10
LK75	101	LF1+LF6+0.5*LF11
LK76	101	LF1+LF6+0.5*LF12
LK77	101	LF1+LF7+0.5*LF10
LK78	101	LF1+LF7+0.5*LF11
LK79	101	LF1+LF7+0.5*LF12
LK80	101	LF1+LF8+0.5*LF10
LK81	101	LF1+LF8+0.5*LF11
LK82	101	LF1+LF8+0.5*LF12
LK83	101	LF1+LF10
LK84	101	LF1+LF11
LK85	101	LF1+LF12
LK86	101	LF1+0.6*LF2+LF10
LK87	101	LF1+0.6*LF2+LF11
LK88	101	LF1+0.6*LF2+LF12
LK89	101	LF1+0.6*LF3+LF10
LK90	101	LF1+0.6*LF3+LF11
LK91	101	LF1+0.6*LF3+LF12
LK92	101	LF1+0.6*LF4+LF10
LK93	101	LF1+0.6*LF4+LF11
LK94	101	LF1+0.6*LF4+LF12
LK95	101	LF1+0.6*LF5+LF10
LK96	101	LF1+0.6*LF5+LF11
LK97	101	LF1+0.6*LF5+LF12
LK98	101	LF1+0.6*LF6+LF10
LK99	101	LF1+0.6*LF6+LF11
LK100	101	LF1+0.6*LF6+LF12
LK101	101	LF1+0.6*LF7+LF10
LK102	101	LF1+0.6*LF7+LF11

LK103	101	LF1+0.6*LF7+LF12
LK104	101	LF1+0.6*LF8+LF10
LK105	101	LF1+0.6*LF8+LF11
LK106	101	LF1+0.6*LF8+LF12
LK107	103	1.8*LF1
LK108	110	1.8*LF1
LK109	110	1.8*LF1+LF2
LK110	110	1.8*LF1+LF3
LK111	110	1.8*LF1+LF4
LK112	110	1.8*LF1+LF5
LK113	110	1.8*LF1+LF6
LK114	110	1.8*LF1+LF7
LK115	110	1.8*LF1+LF8
LK116	110	1.8*LF1+LF2+0.5*LF10
LK117	110	1.8*LF1+LF2+0.5*LF11
LK118	110	1.8*LF1+LF2+0.5*LF12
LK119	110	1.8*LF1+LF3+0.5*LF10
LK120	110	1.8*LF1+LF3+0.5*LF11
LK121	110	1.8*LF1+LF3+0.5*LF12
LK122	110	1.8*LF1+LF4+0.5*LF10
LK123	110	1.8*LF1+LF4+0.5*LF11
LK124	110	1.8*LF1+LF4+0.5*LF12
LK125	110	1.8*LF1+LF5+0.5*LF10
LK126	110	1.8*LF1+LF5+0.5*LF11
LK127	110	1.8*LF1+LF5+0.5*LF12
LK128	110	1.8*LF1+LF6+0.5*LF10
LK129	110	1.8*LF1+LF6+0.5*LF11
LK130	110	1.8*LF1+LF6+0.5*LF12
LK131	110	1.8*LF1+LF7+0.5*LF10
LK132	110	1.8*LF1+LF7+0.5*LF11
LK133	110	1.8*LF1+LF7+0.5*LF12
LK134	110	1.8*LF1+LF8+0.5*LF10
LK135	110	1.8*LF1+LF8+0.5*LF11
LK136	110	1.8*LF1+LF8+0.5*LF12
LK137	110	1.8*LF1+LF10
LK138	110	1.8*LF1+LF11
LK139	110	1.8*LF1+LF12
LK140	110	1.8*LF1+0.6*LF2+LF10

LK141	110	1.8*LF1+0.6*LF2+LF11
LK142	110	1.8*LF1+0.6*LF2+LF12
LK143	110	1.8*LF1+0.6*LF3+LF10
LK144	110	1.8*LF1+0.6*LF3+LF11
LK145	110	1.8*LF1+0.6*LF3+LF12
LK146	110	1.8*LF1+0.6*LF4+LF10
LK147	110	1.8*LF1+0.6*LF4+LF11
LK148	110	1.8*LF1+0.6*LF4+LF12
LK149	110	1.8*LF1+0.6*LF5+LF10
LK150	110	1.8*LF1+0.6*LF5+LF11
LK151	110	1.8*LF1+0.6*LF5+LF12
LK152	110	1.8*LF1+0.6*LF6+LF10
LK153	110	1.8*LF1+0.6*LF6+LF11
LK154	110	1.8*LF1+0.6*LF6+LF12
LK155	110	1.8*LF1+0.6*LF7+LF10
LK156	110	1.8*LF1+0.6*LF7+LF11
LK157	110	1.8*LF1+0.6*LF7+LF12
LK158	110	1.8*LF1+0.6*LF8+LF10
LK159	110	1.8*LF1+0.6*LF8+LF11
LK160	110	1.8*LF1+0.6*LF8+LF12

**Ergebniskombinationen:**

Ergebn.- Kombin.	Ergebniskombination	
	BS	Beschreibung
EK1	21	GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
EK2	101	GZG - Charakteristisch / Selten
EK3	103	GZG - Quasi-ständig
EK4	110	GZG - Charakteristisch / Quasi-ständig

**Nachweise ULS (Lastfallweise) aus *RF HOLZ PRO*:**


Nachweis nach aktuellen Stand der Technik erfüllt



Reduzierung der Querkraft nach ÖNORM B 1995-1-1 (Abschnitt 6.1.7)

Bela- s- tung	Bezeichnung	Stab Nr.	Stelle x [m]	Nach- weis		Nachweis nach Formel	BS	KLED
Tragfähigkeitsnachweise								
LK1	1.35*LF1	348	0,000	1,54	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Ständig
LK2	1.35*LF1 + 1.5*LF2	348	0,000	1,16	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK3	1.35*LF1 + 1.5*LF3	348	0,000	1,15	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK4	1.35*LF1 + 1.5*LF4	348	0,000	0,97	≤ 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK5	1.35*LF1 + 1.5*LF5	348	0,000	0,96	≤ 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK6	1.35*LF1 + 1.5*LF6	348	0,000	1,05	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK7	1.35*LF1 + 1.5*LF7	348	0,000	1,04	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK8	1.35*LF1 + 1.5*LF8	348	0,000	1,15	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK9	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.75*LF10	348	0,000	1,58	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK10	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.75*LF11	348	0,000	1,47	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK11	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.75*LF12	348	0,000	1,48	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK12	1.35*LF1 + 1.5*LF3 + 0.75*LF10	348	0,000	1,57	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK13	1.35*LF1 + 1.5*LF3 + 0.75*LF11	348	0,000	1,45	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK14	1.35*LF1 + 1.5*LF3 + 0.75*LF12	348	0,000	1,47	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK15	1.35*LF1 + 1.5*LF4 + 0.75*LF10	348	0,000	1,39	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK16	1.35*LF1 + 1.5*LF4 + 0.75*LF11	348	0,000	1,28	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK17	1.35*LF1 + 1.5*LF4 + 0.75*LF12	348	0,000	1,29	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK18	1.35*LF1 + 1.5*LF5 + 0.75*LF10	348	0,000	1,37	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK19	1.35*LF1 + 1.5*LF5 + 0.75*LF11	348	0,000	1,26	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK20	1.35*LF1 + 1.5*LF5 + 0.75*LF12	348	0,000	1,28	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK21	1.35*LF1 + 1.5*LF6 + 0.75*LF10	348	0,000	1,47	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK22	1.35*LF1 + 1.5*LF6 + 0.75*LF11	348	0,000	1,36	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz

LK23	1.35*LF1 + 1.5*LF6 + 0.75*LF12	348	0,000	1,38	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK24	1.35*LF1 + 1.5*LF7 + 0.75*LF10	348	0,000	1,45	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK25	1.35*LF1 + 1.5*LF7 + 0.75*LF11	348	0,000	1,34	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK26	1.35*LF1 + 1.5*LF7 + 0.75*LF12	348	0,000	1,36	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK27	1.35*LF1 + 1.5*LF8 + 0.75*LF10	348	0,000	1,56	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK28	1.35*LF1 + 1.5*LF8 + 0.75*LF11	348	0,000	1,45	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK29	1.35*LF1 + 1.5*LF8 + 0.75*LF12	348	0,000	1,47	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK30	1.35*LF1 + 1.5*LF10	348	0,000	2,05	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK31	1.35*LF1 + 1.5*LF11	348	0,000	1,64	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK32	1.35*LF1 + 1.5*LF12	348	0,000	1,67	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK33	1.35*LF1 + 0.9*LF2 + 1.5*LF10	348	0,000	2,23	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK34	1.35*LF1 + 0.9*LF2 + 1.5*LF11	348	0,000	1,74	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK35	1.35*LF1 + 0.9*LF2 + 1.5*LF12	348	0,000	1,81	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK36	1.35*LF1 + 0.9*LF3 + 1.5*LF10	348	0,000	2,21	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK37	1.35*LF1 + 0.9*LF3 + 1.5*LF11	348	0,000	1,72	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK38	1.35*LF1 + 0.9*LF3 + 1.5*LF12	348	0,000	1,79	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK39	1.35*LF1 + 0.9*LF4 + 1.5*LF10	348	0,000	1,99	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK40	1.35*LF1 + 0.9*LF4 + 1.5*LF11	348	0,000	1,61	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK41	1.35*LF1 + 0.9*LF4 + 1.5*LF12	348	0,000	1,64	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK42	1.35*LF1 + 0.9*LF5 + 1.5*LF10	348	0,000	1,97	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK43	1.35*LF1 + 0.9*LF5 + 1.5*LF11	348	0,000	1,59	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK44	1.35*LF1 + 0.9*LF5 + 1.5*LF12	348	0,000	1,62	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK45	1.35*LF1 + 0.9*LF6 + 1.5*LF10	348	0,000	2,08	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK46	1.35*LF1 + 0.9*LF6 + 1.5*LF11	348	0,000	1,65	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK47	1.35*LF1 + 0.9*LF6 + 1.5*LF12	348	0,000	1,69	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK48	1.35*LF1 + 0.9*LF7 + 1.5*LF10	348	0,000	2,06	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK49	1.35*LF1 + 0.9*LF7 + 1.5*LF11	348	0,000	1,64	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK50	1.35*LF1 + 0.9*LF7 + 1.5*LF12	348	0,000	1,68	> 1	163) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Doppelbiegung und Zug nach 10.2.7	SV	Kurz
LK51	1.35*LF1 + 0.9*LF8 + 1.5*LF10	348	0,000	2,21	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK52	1.35*LF1 + 0.9*LF8 + 1.5*LF11	348	0,000	1,72	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz
LK53	1.35*LF1 + 0.9*LF8 + 1.5*LF12	348	0,000	1,78	> 1	133) Beanspruchbarkeit von Querschnitt - Schub aus Querkraft Vy/Vu, Vz/Vv und Torsion nach 10.2.11	SV	Kurz

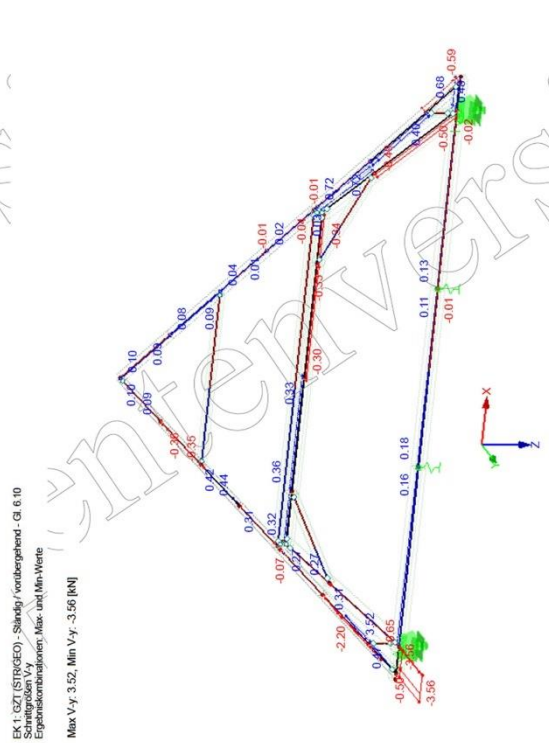
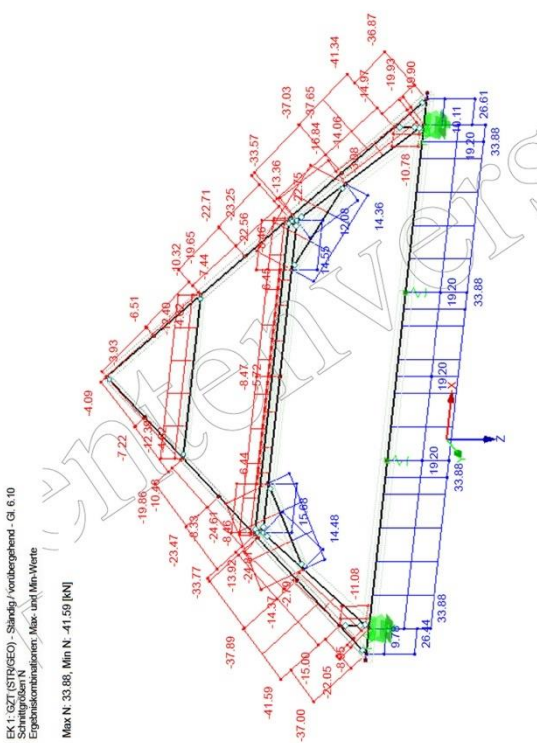
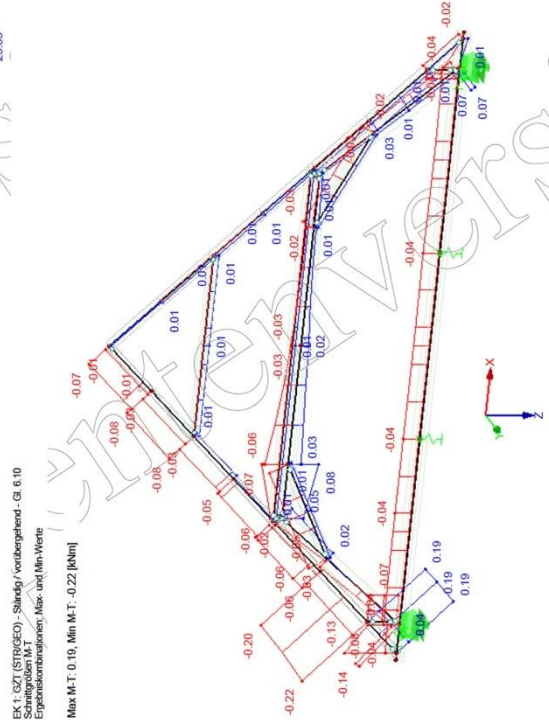
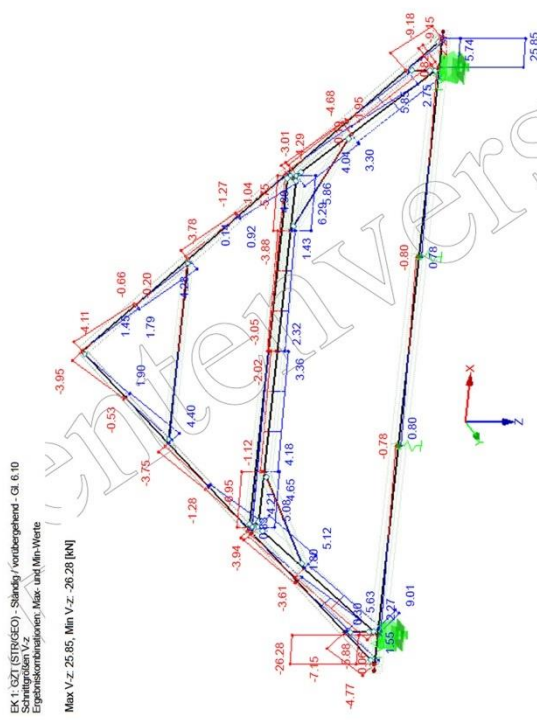
**Schnittkraftverläufe der repräsentativen Achsen:**

Nachfolgend sind Schnittkraftverläufe für die repräsentativen Achsen Vollgespärre 3, Vollgespärre 5, Vollgespärre 6 mit Ichsengespärre I.1, Vollgespärre 7 mit I.2, Vollgespärre 8 und den Leergespärre 2.2 und 5.2.

Ebenfalls sind die Schnittkraftverläufe der firstparallelen Bauteile dargestellt: Rähm, Stuhlwand (Windstreben und Brustriegel) und der mittigen Reihe der Dachlatten.

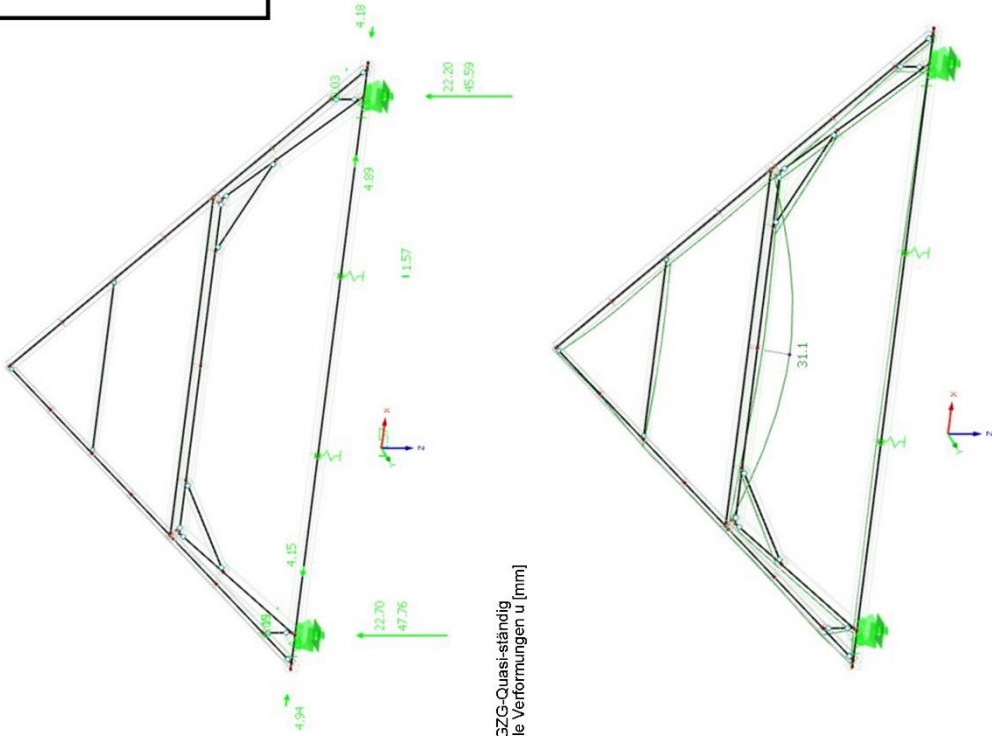
---

Vollgespärre 3



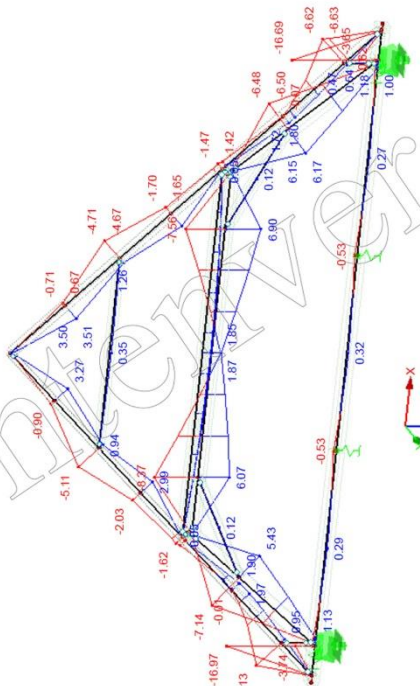
Vollgespärre 3

EK1: GZT  
Lagerreaktionen [kN]  
Ergebniskombination: Max./Min Werte

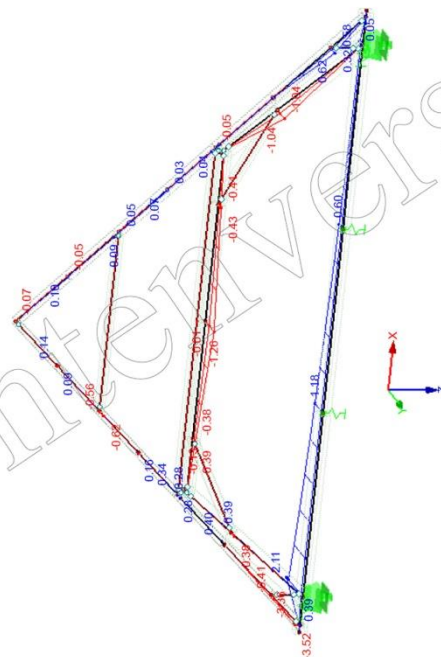


EK3: GZG-Quasi-ständig  
Globale Verformungen u [mm]

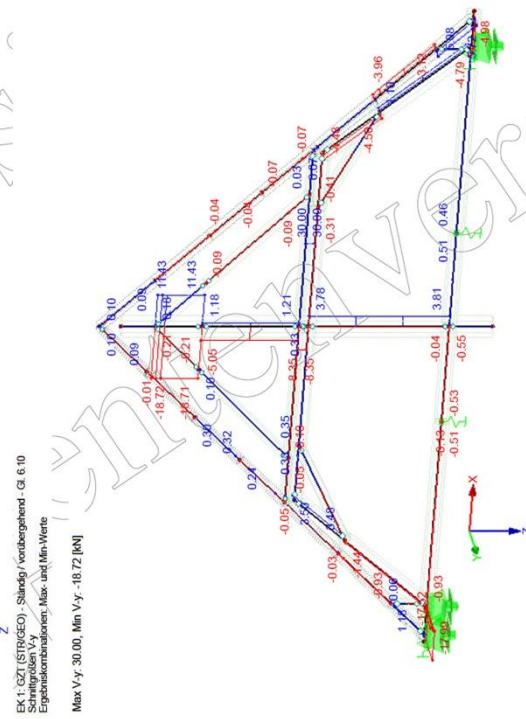
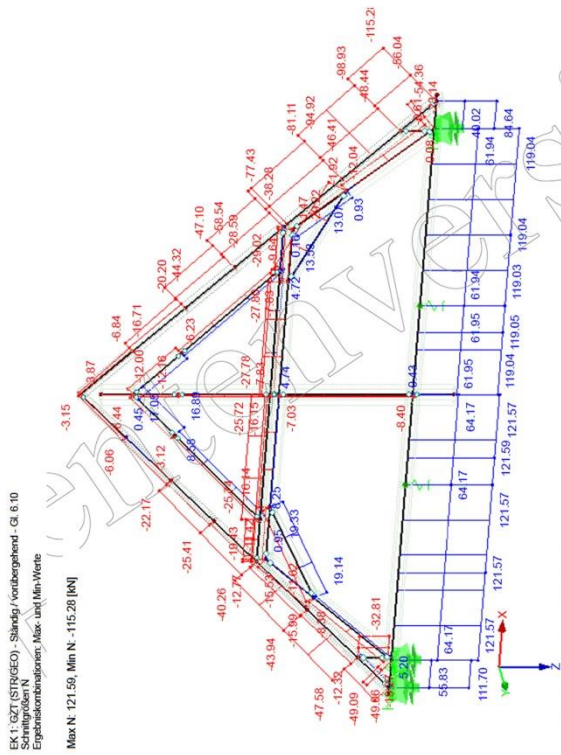
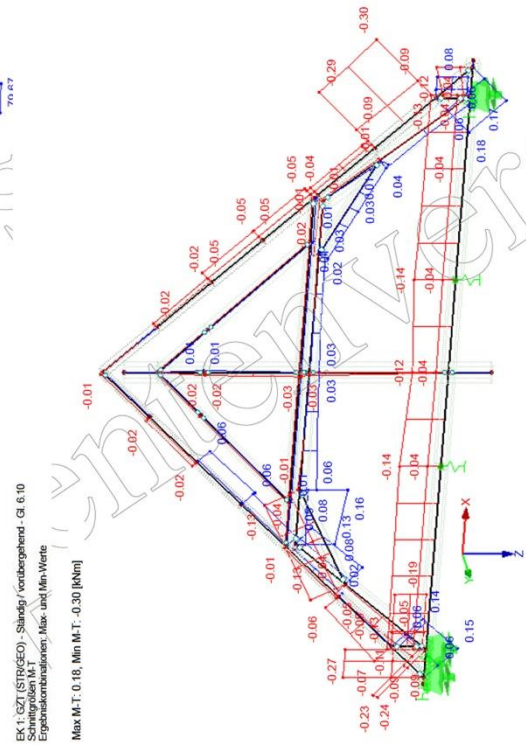
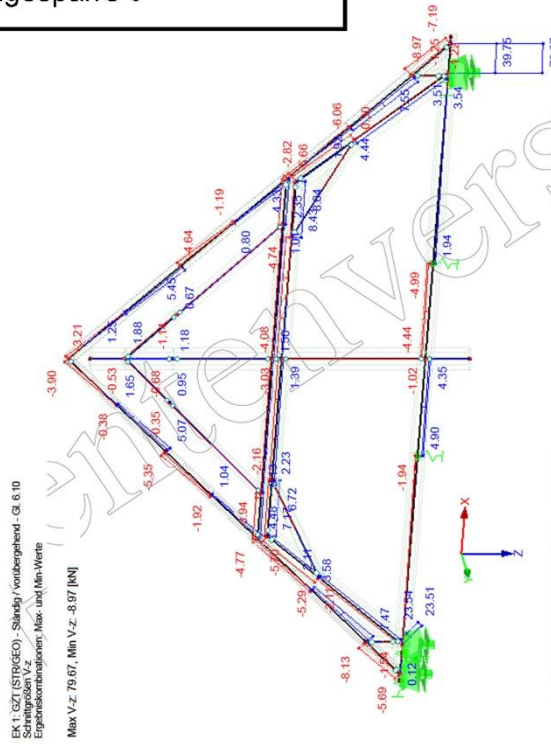
EK1: GZT (STR/DEO) - Ständig / vorübergehend - G. 6.10  
Ergebniskombination: Max. und Min.Werte  
Max M.x.y: 6.90, Min M.x.y: -16.97 [kNm]



EK1: GZT (STR/DEO) - Ständig / vorübergehend - G. 6.10  
Ergebniskombination: Max. und Min.Werte  
Max M.z: 2.41, Min M.z: -3.52 [kNm]



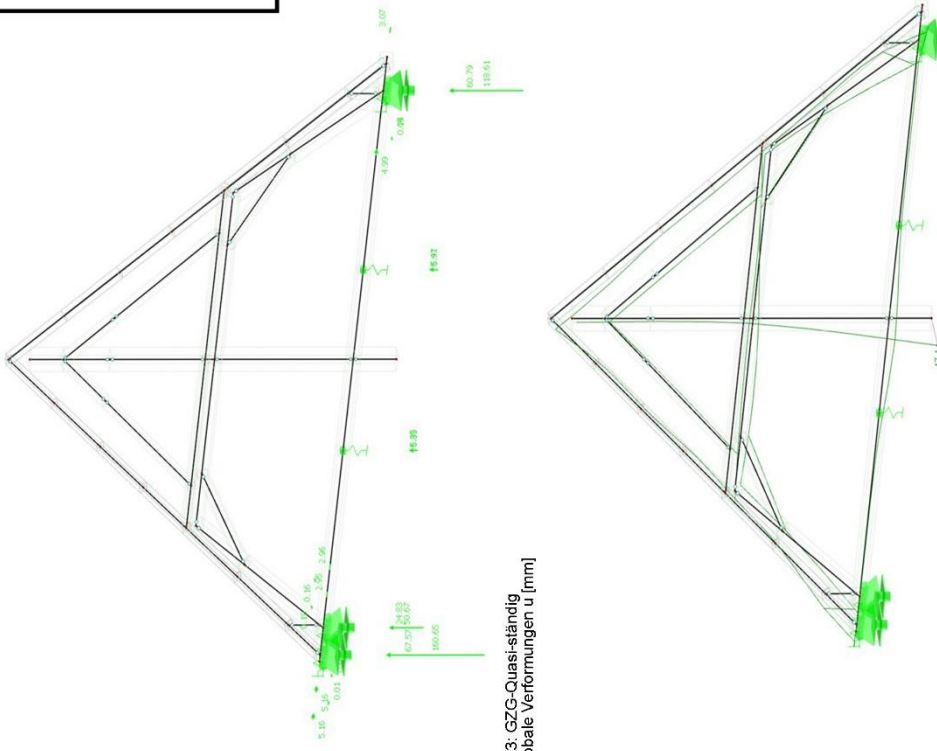
Vollgespärre 5



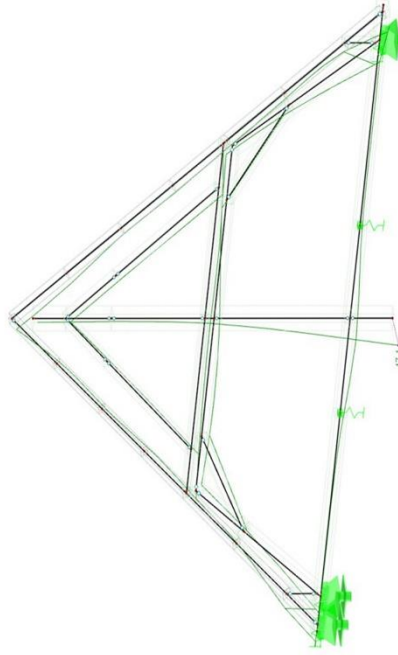


Vollgespärre 5

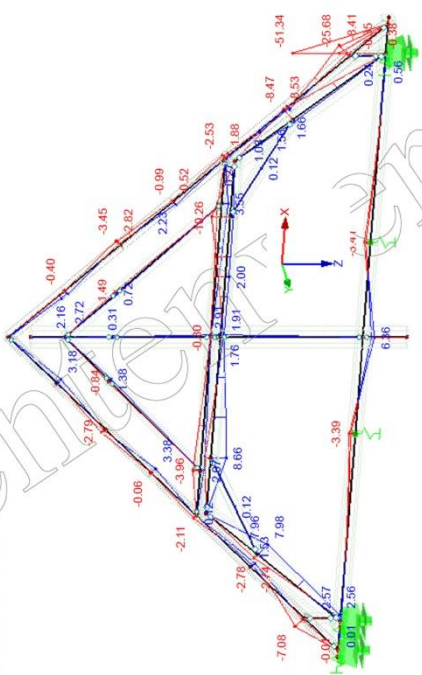
EK1: GZT  
Lagerreaktionen [kN]  
Ergebniskombination: Max./Min. Werte



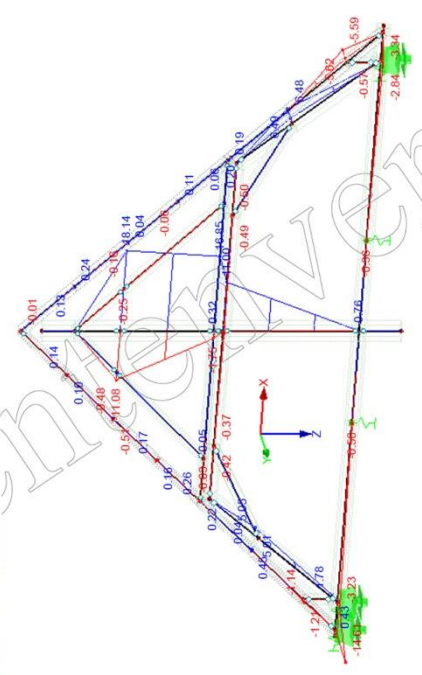
EK3: GZG-Quasi-ständig  
Globale Verformungen u [mm]



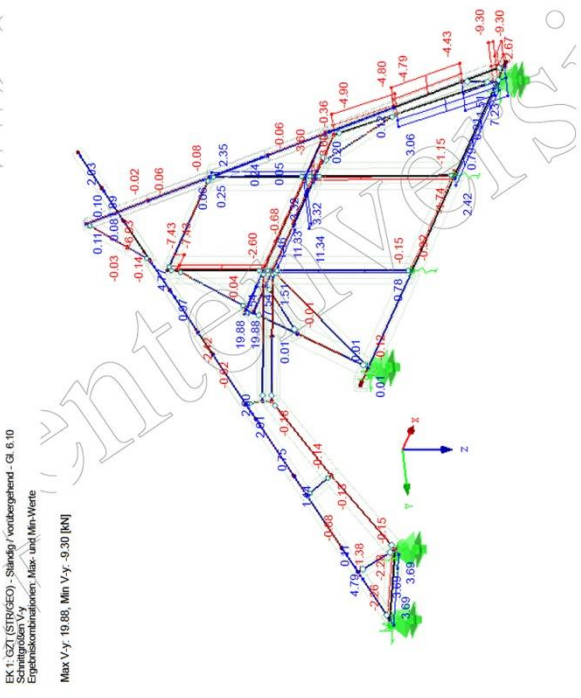
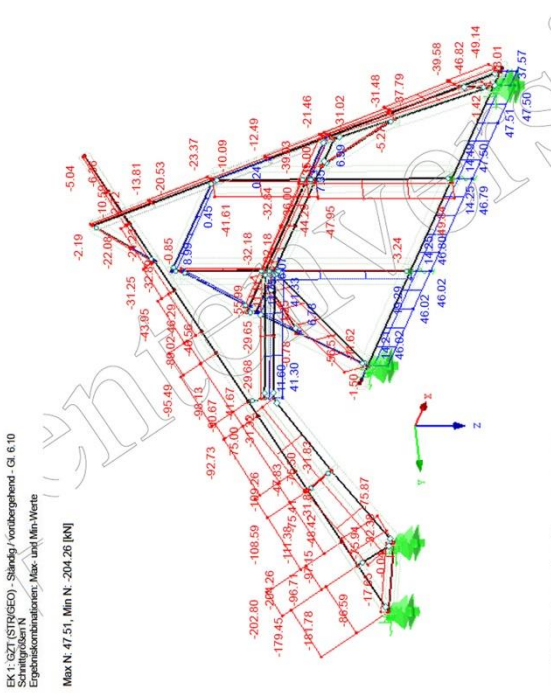
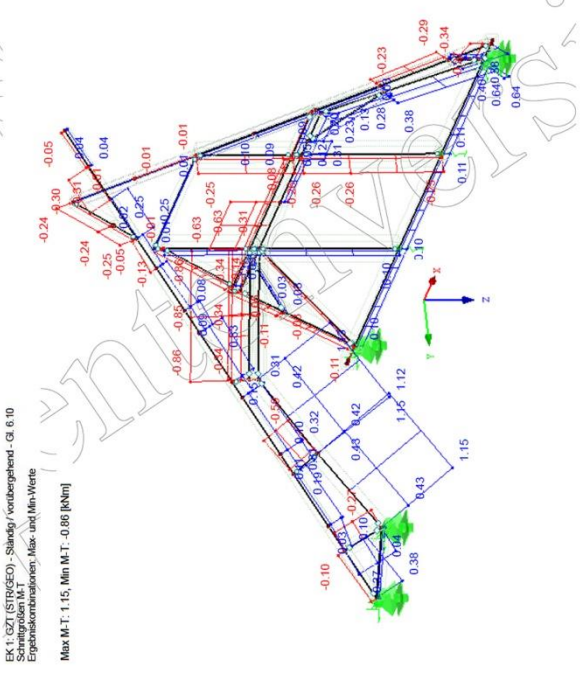
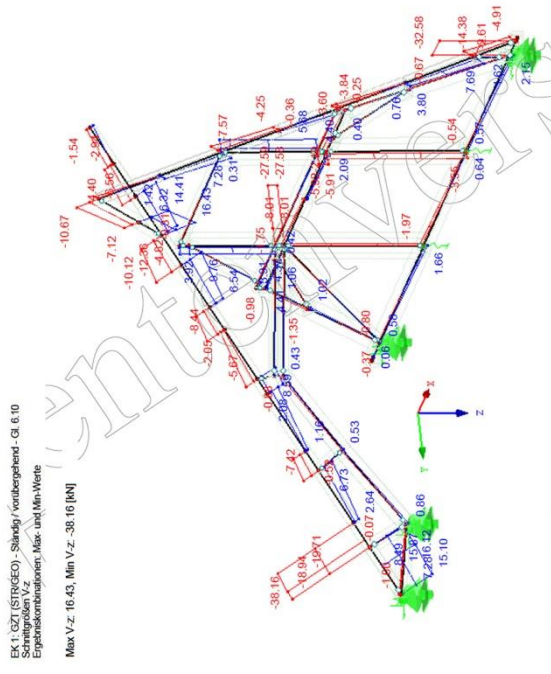
EK1: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - G. 6.10  
Ergebniskombinationen: Max. und Min. Werte  
Max M.y: 8.66, Min M.y: -51.34 [kNm]



EK1: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - G. 6.10  
Schnittgrößen M.z  
Ergebniskombinationen: Max. und Min. Werte  
Max M.z: 18.14, Min M.z: -14.61 [kNm]

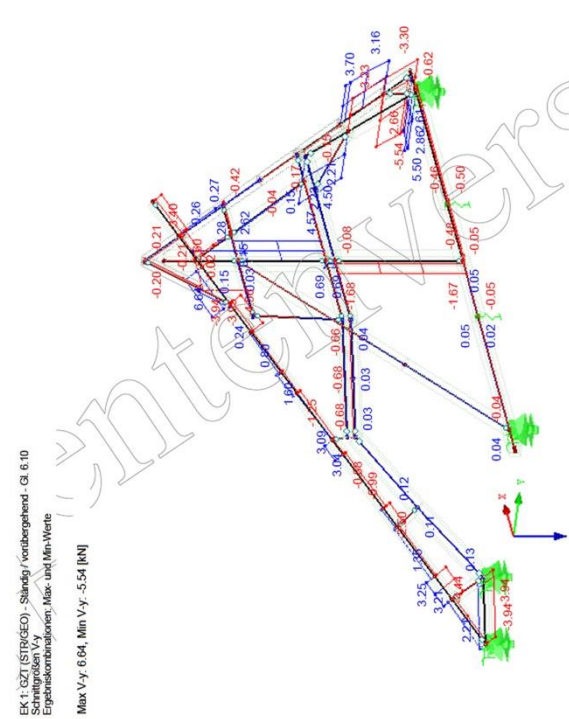
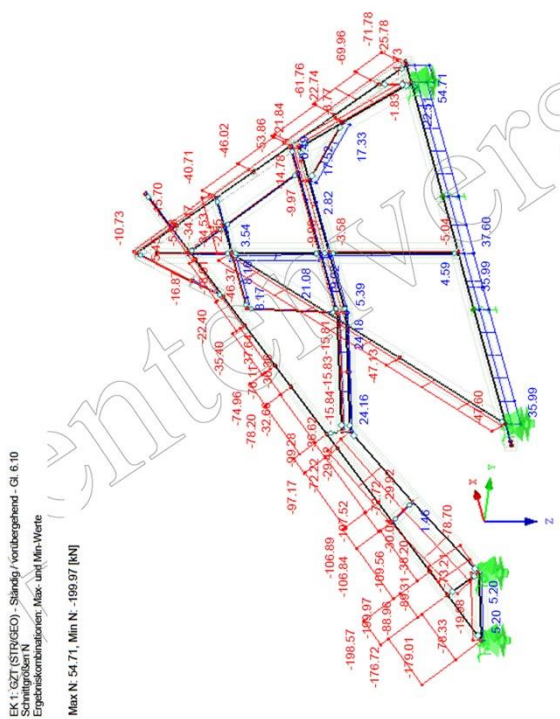
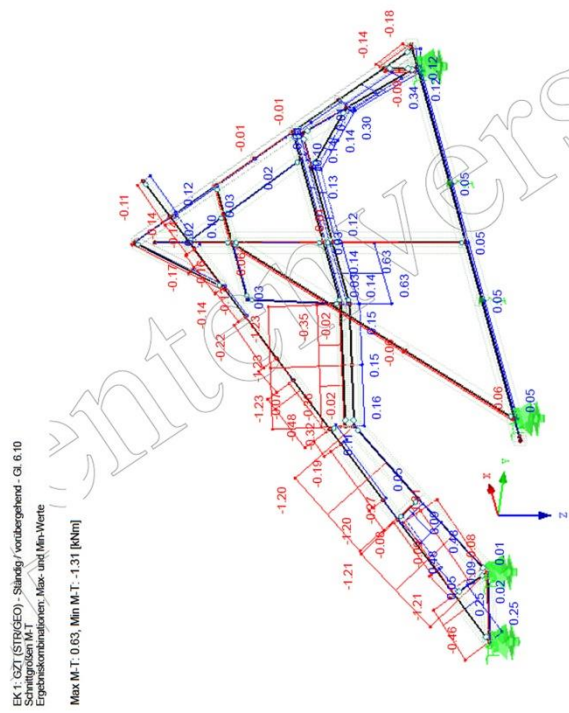
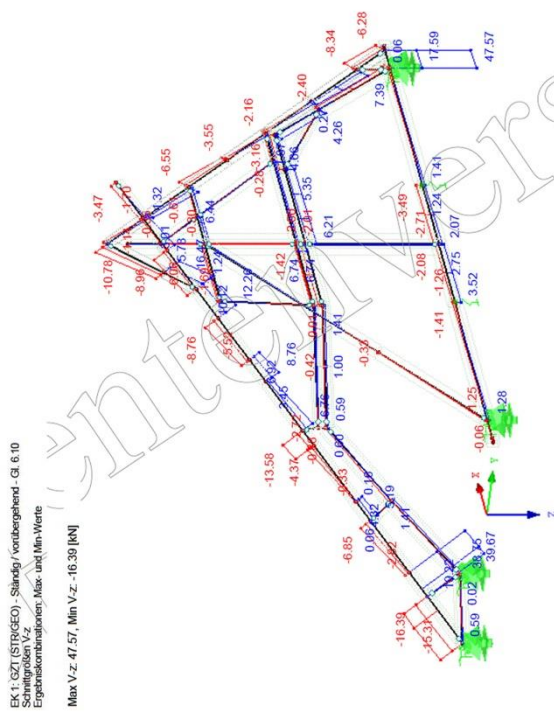


Vollgespärre 6 mit I.1



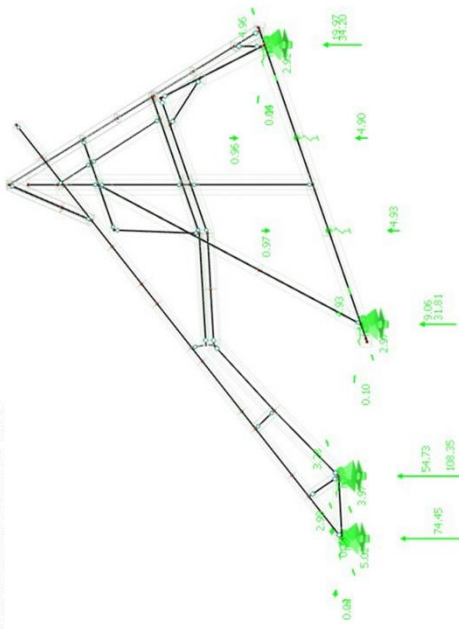


Vollgespärre 7 mit I.2

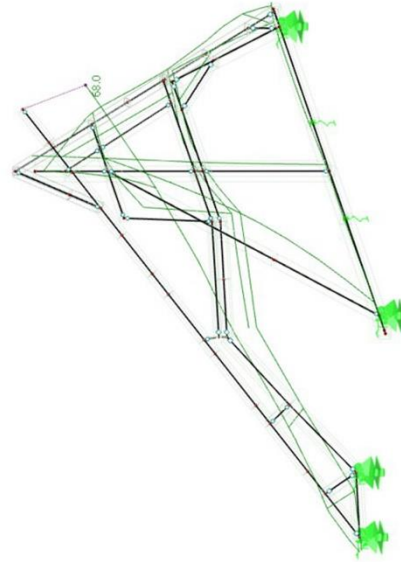


Vollgespärre 7 mit I.2

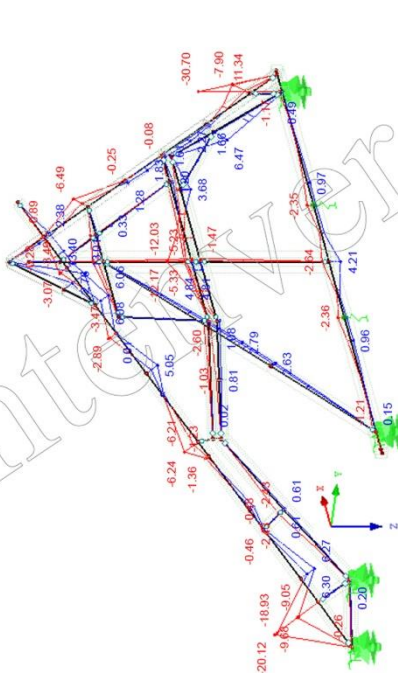
EK1: GZT  
Lagerreaktionen [kN]  
Ergebniskombination: Max/Min Werte



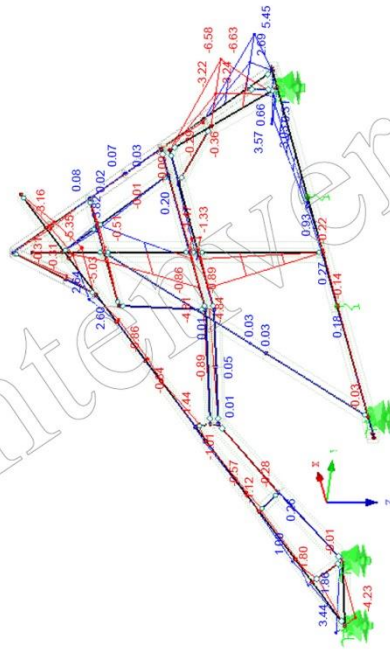
EK3: GZG-Quasi-ständig  
Globale Verformungen U [mm]



EK1: GZT (STRGEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
Ergebniskombination: Max. und Min. Werte  
Max Mz: 13.40, Min Mz: -30.70 [kNm]



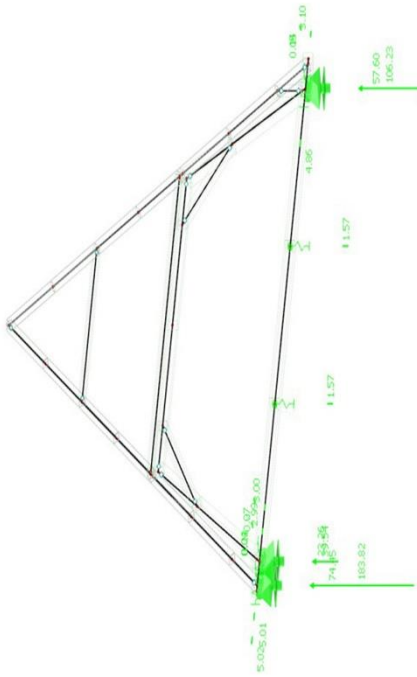
EK1: GZT (STRGEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
Schnittgrößen Mz  
Ergebniskombination: Max. und Min. Werte  
Max Mz: 5.45, Min Mz: -6.03 [kNm]



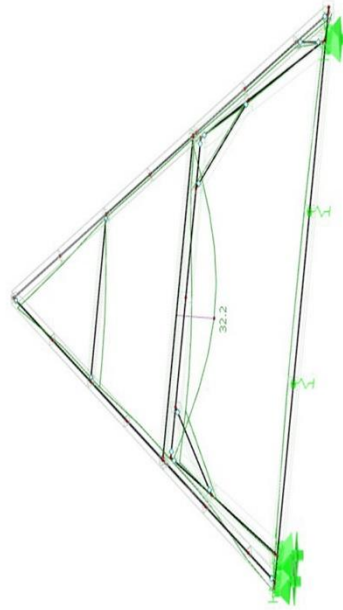


Vollgespärre 8

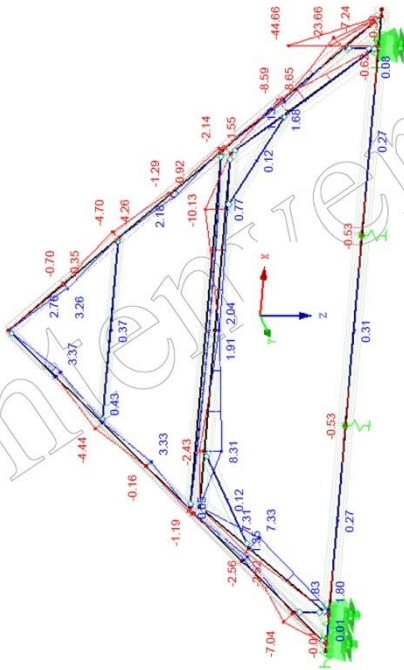
EK1: GZT  
Lagerreaktionen [kN]  
Ergebniskombination: Max./Min. Werte



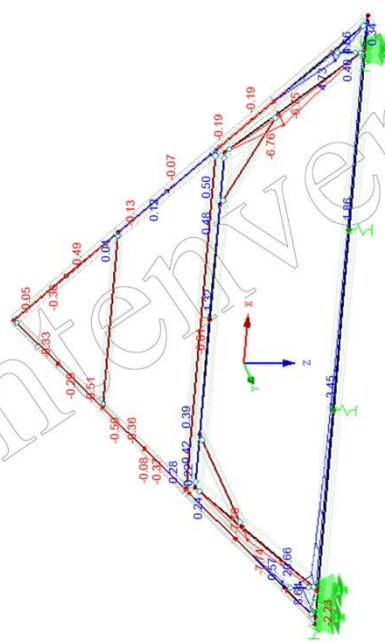
EK3: GZG-Quasi-ständig  
Globale Verformungen u [mm]



EK1: GZT (STRIGEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
Schnittgrößen Mz  
Ergebniskombination: Max. und Min. Werte  
Max Mz: 8.31, Min Mz: -41.66 [kNm]



EK1: GZT (STRIGEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
Schnittgrößen Mz  
Ergebniskombination: Max. und Min. Werte  
Max Mz: 20.66, Min Mz: -7.76 [kNm]

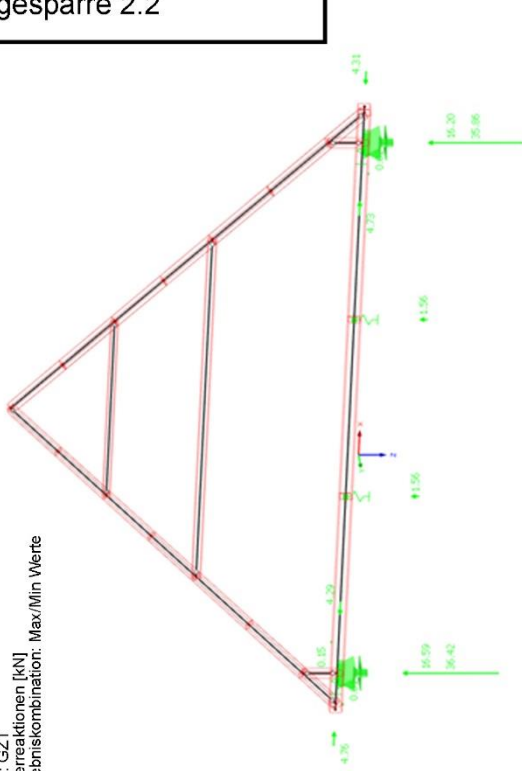




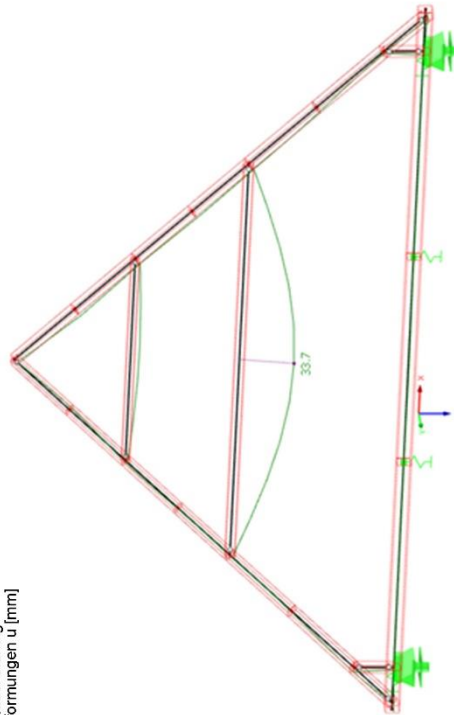


Leergespärre 2.2

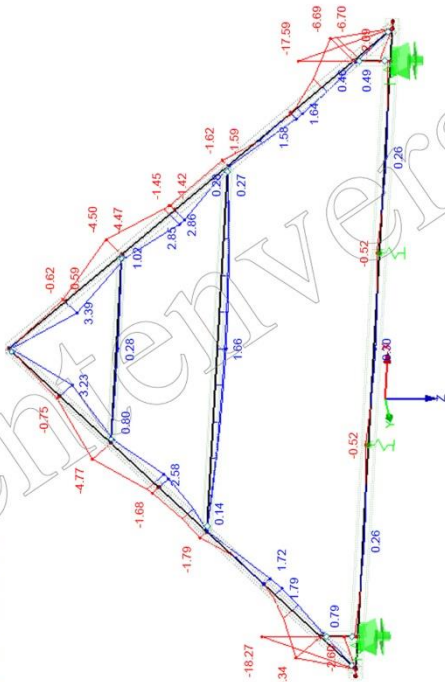
EK1: GZT  
Lagerreaktionen [kN]  
Ergebniskombination: Max/Min Werte



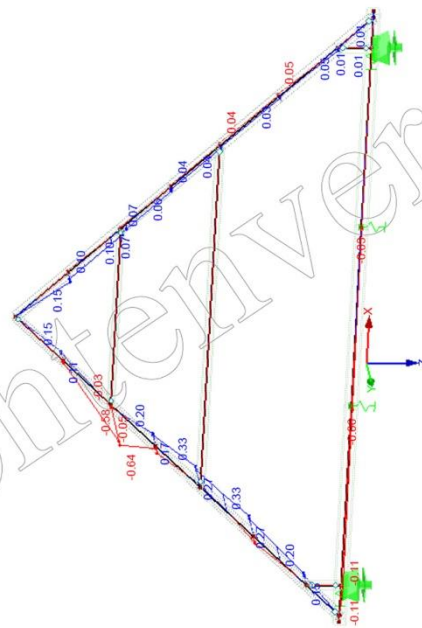
EK3: GZG-Quasi-ständig  
Globale Verformungen u [mm]



EK1: GZT (ETP/SEO) - Ständig / Vorübergehend - Gl. 6.10  
Schnittachsen My  
Ergebniskombination: Max- und Min-Werte  
Max M-y: 3.36, Min M-y: -18.27 [kNm]

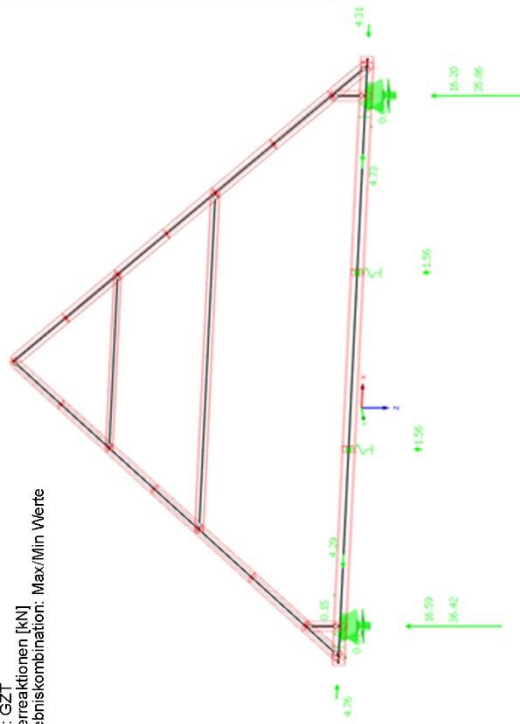


EK1: GZT (ETP/SEO) - Ständig / Vorübergehend - Gl. 6.10  
Schnittachsen Mz  
Ergebniskombination: Max- und Min-Werte  
Max M-z: 0.33, Min M-z: -0.64 [kNm]

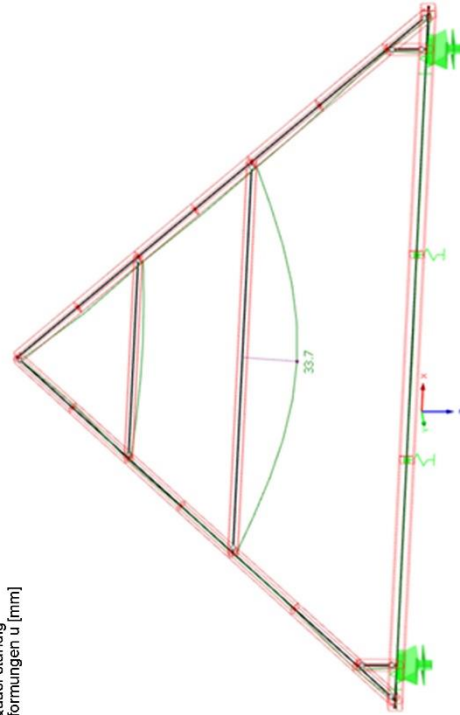


Leergespärre 2.2

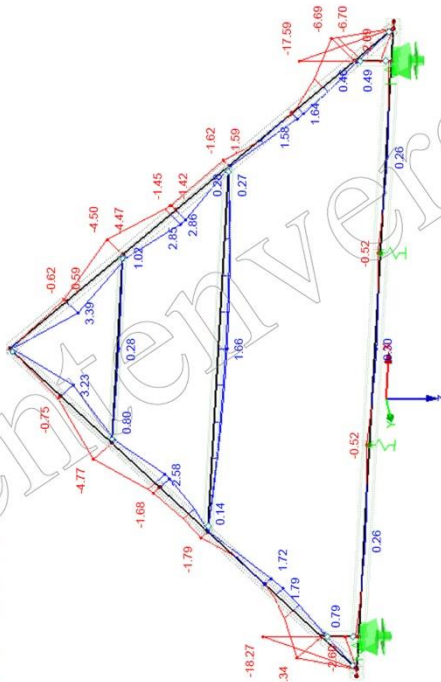
EK1: GZT  
Lagerreaktionen [kN]  
Ergebniskombination: Max/Min Werte



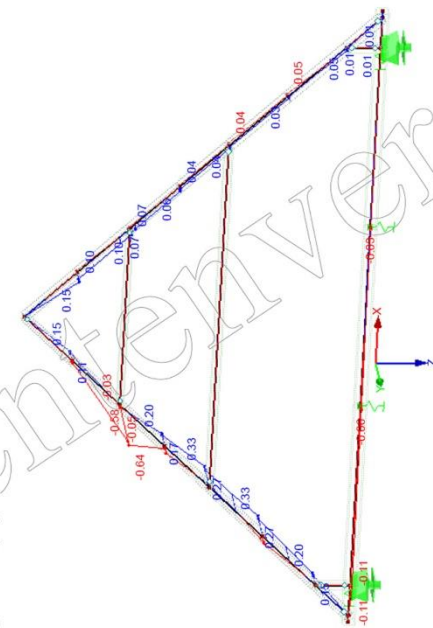
EK3: GZG-Quasi-ständig  
Globale Verformungen u [mm]



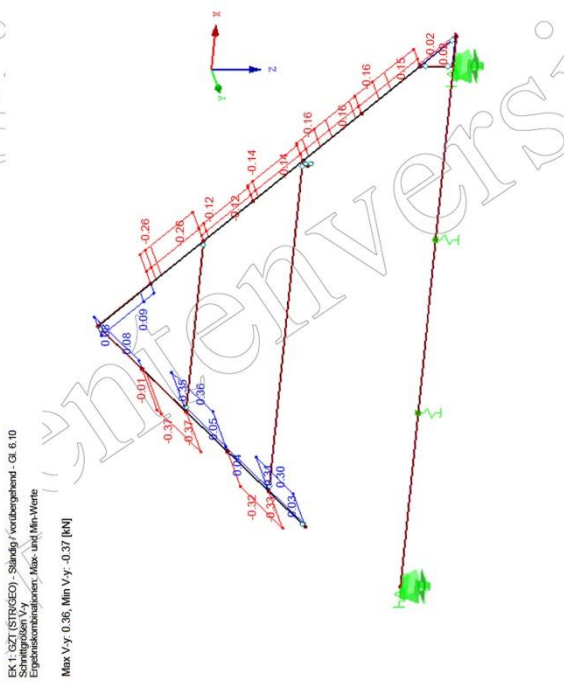
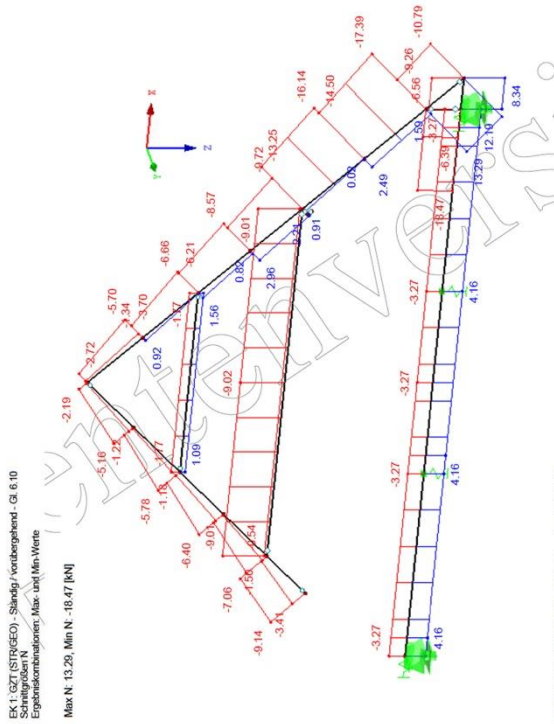
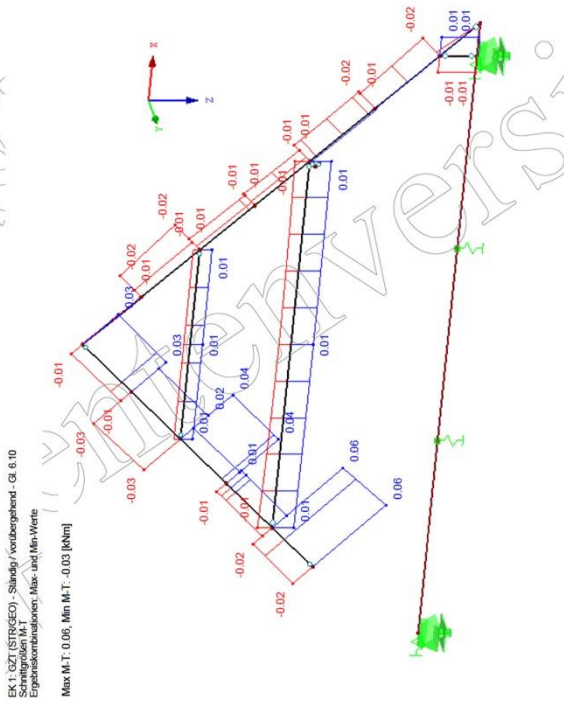
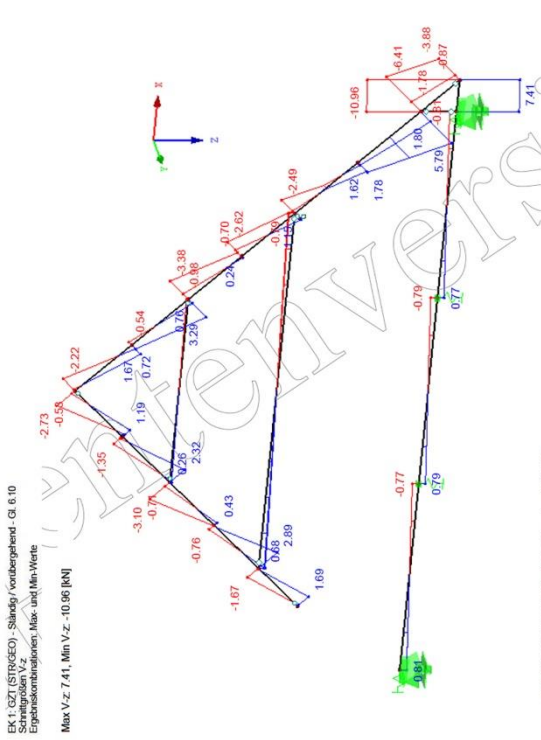
EK1: GZT (STY/DEO) - Ständig / vorübergehend - G: 6.10  
Ergebniskombination: Max- und Min-Werte  
Max M<sub>x</sub>-y: 3.39, Min M<sub>x</sub>-y: -19.27 [kNm]



EK1: GZT (STY/DEO) - Ständig / vorübergehend - G: 6.10  
Ergebniskombination: Max- und Min-Werte  
Max M<sub>z</sub>-z: 0.33, Min M<sub>z</sub>-z: -0.64 [kNm]

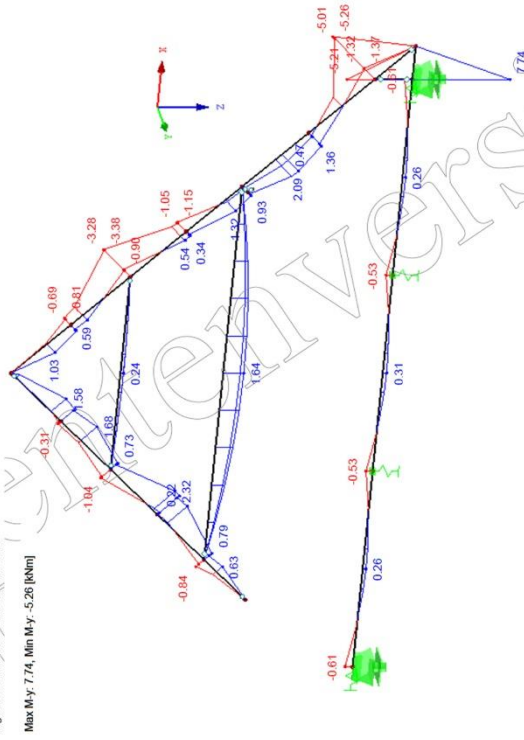


Leergespärre 5.2

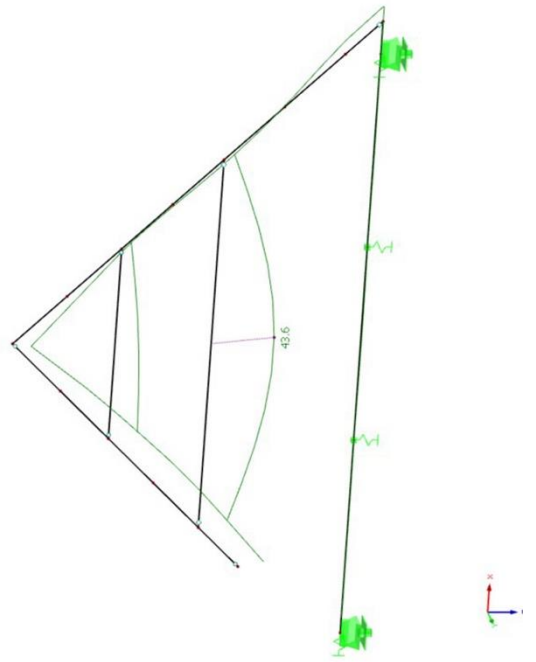


Leergespärre 5.2

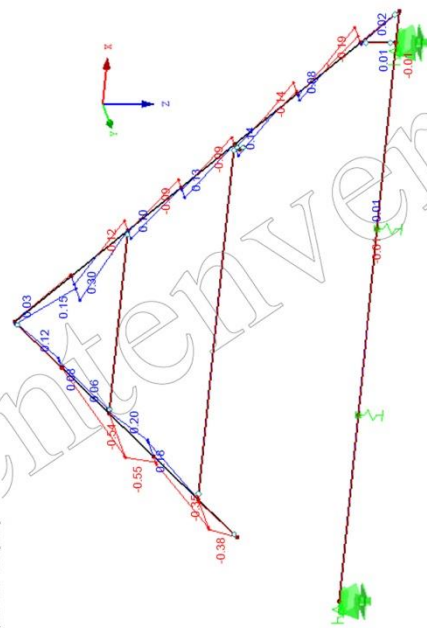
EK1: GZT  
Lagerreaktionen [kN]  
Ergebniskombination: Max/Min Werte



EK3: GZG-Quasi-ständig  
Globale Verformungen u [mm]

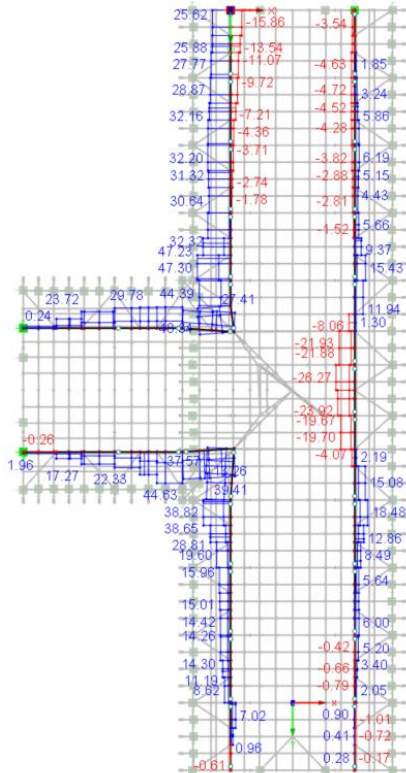
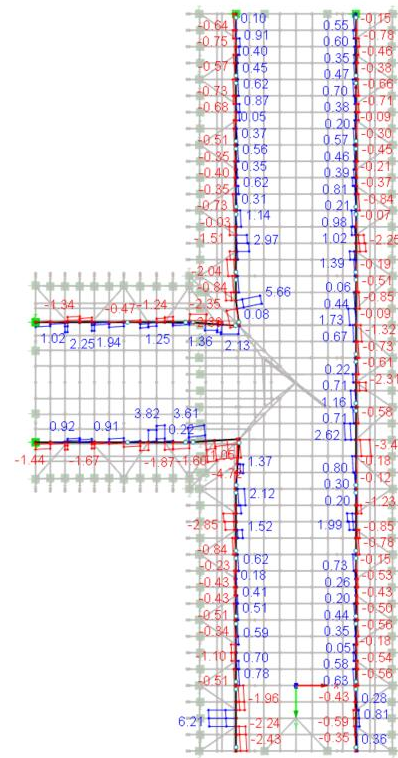
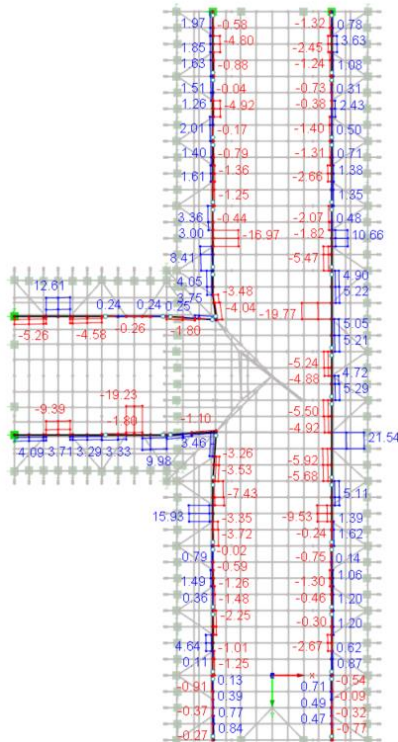
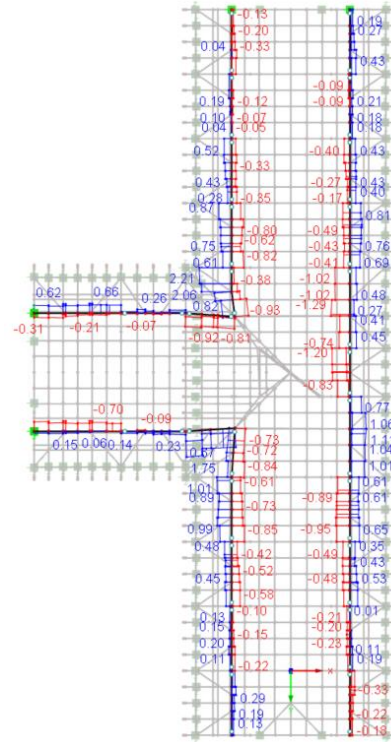


EK1: GZT (STRIGEO) - Ständig / vorübergehend - Cl. 6.10  
Ergebniskombination: Max. und Min. Werte  
Max. Mz: 0.30, Min Mz: -0.55 [kNm]

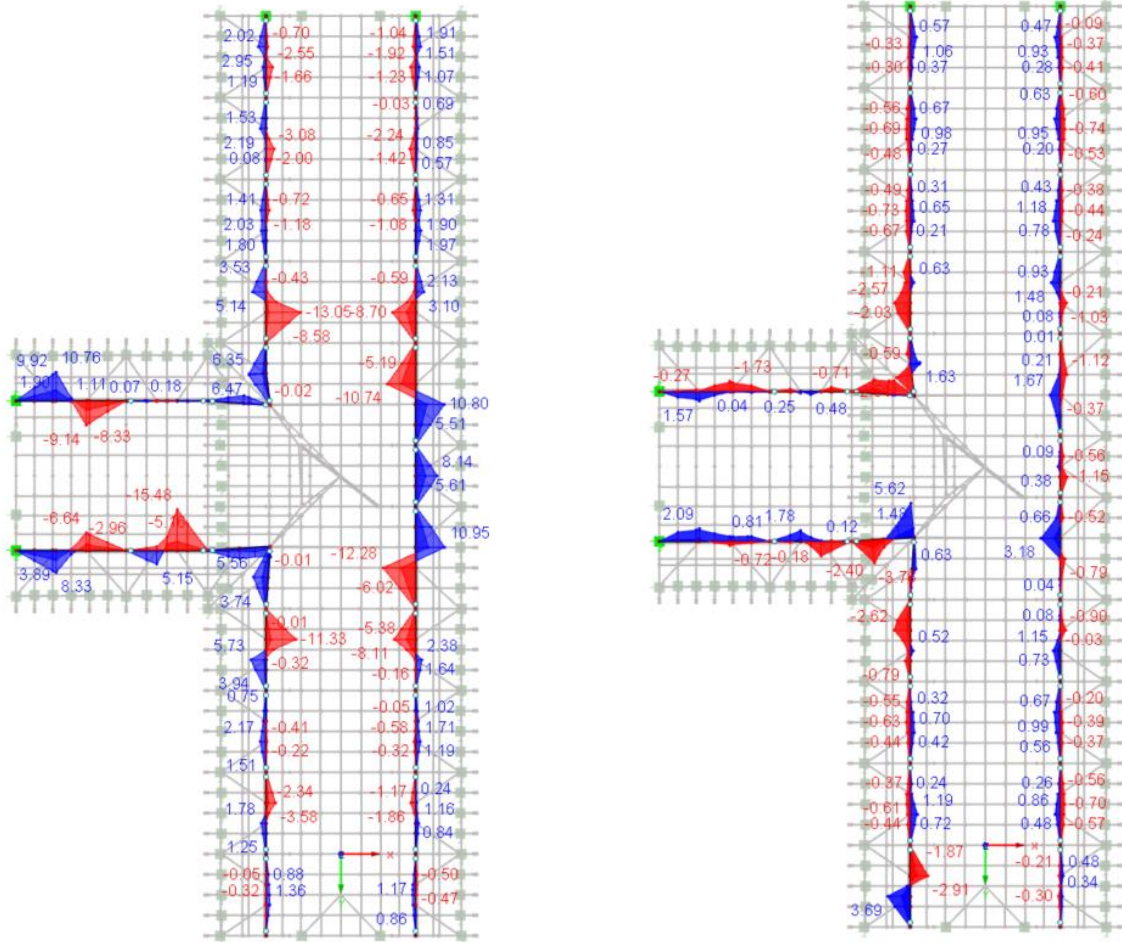


**Rähm:**

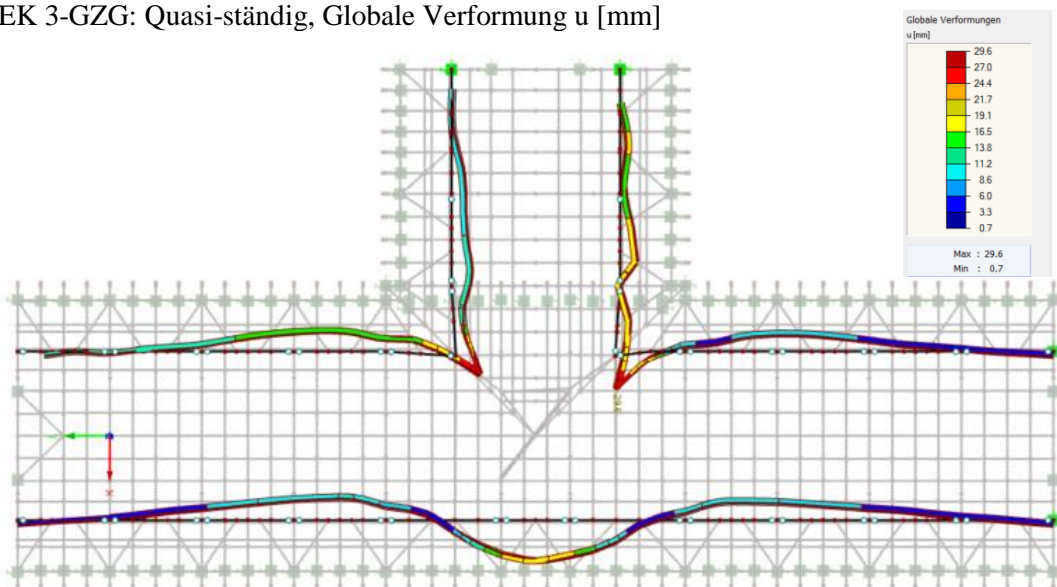
EK 1-GZT: Schnittgrößen N, MAX/MIN-Werte


 EK 1-GZT: Schnittgrößen  $V_y$ , MAX/MIN-Werte

 EK 1-GZT: Schnittgrößen  $V_z$ , MAX/MIN-Werte:

 EK 1-GZT: Schnittgrößen  $M_T$ , MAX/MIN-Werte:


EK 1-GZT: Schnittgrößen  $M_y$ , MAX/MIN-Werte:    EK 1-GZT: Schnittgrößen  $M_z$ , MAX/MIN-Werte:

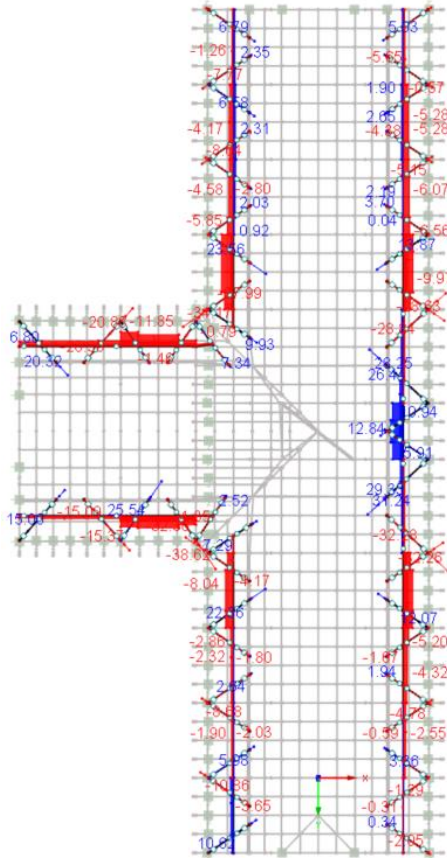
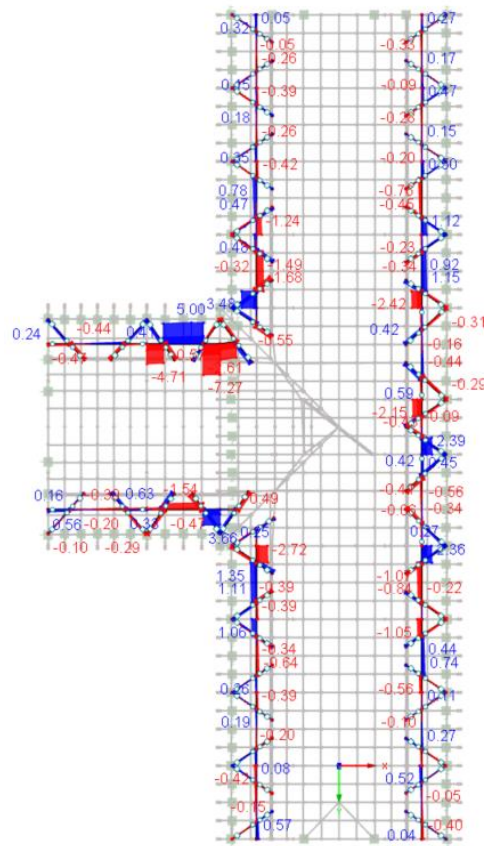
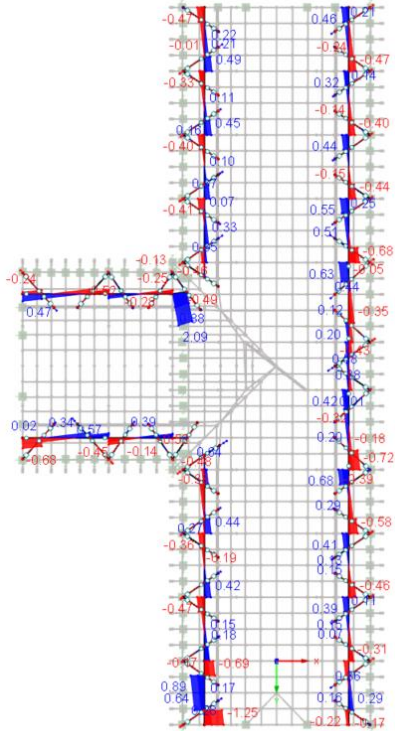
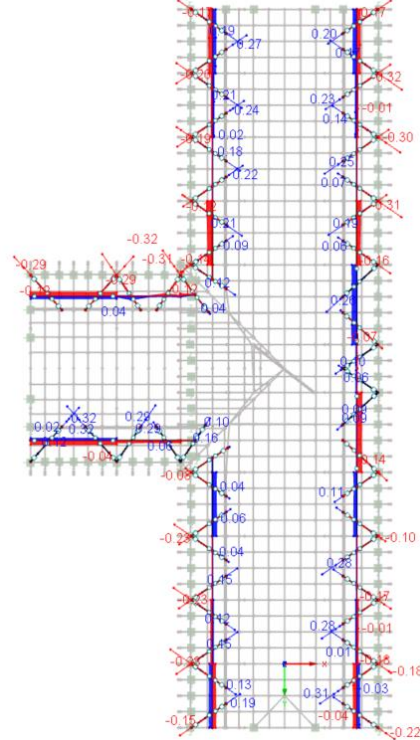


EK 3-GZG: Quasi-ständig, Globale Verformung  $u$  [mm]

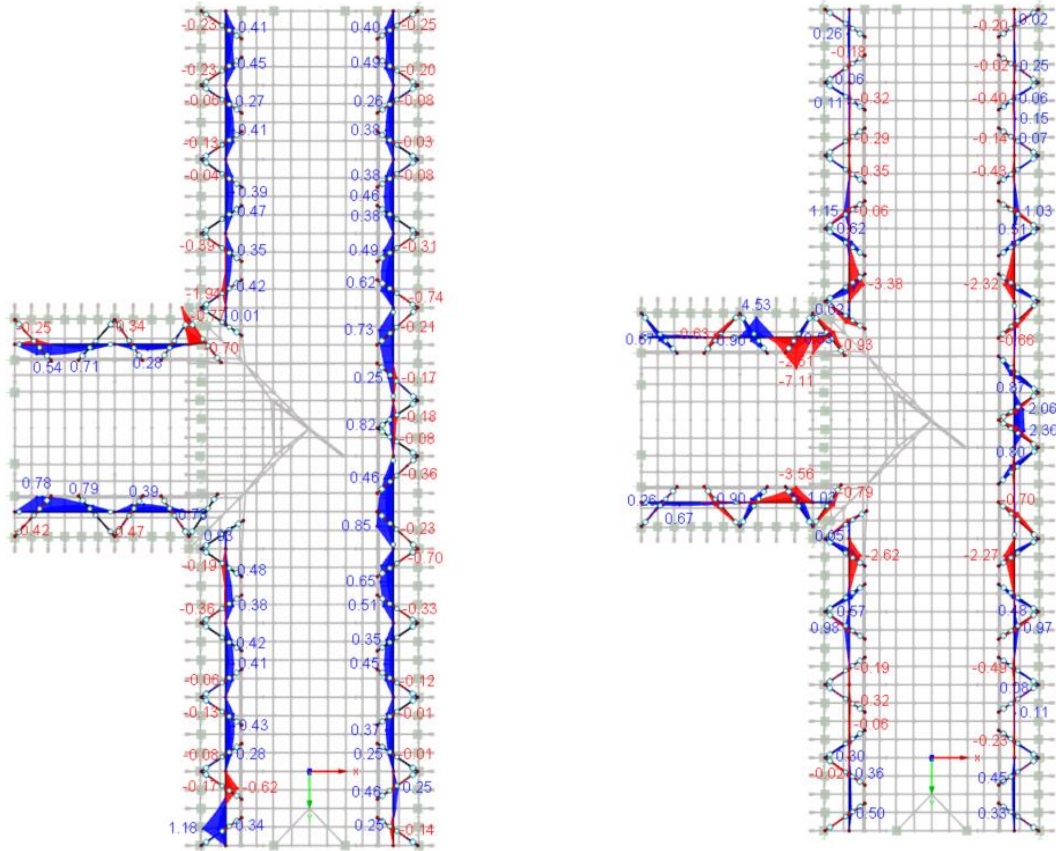


**Brustriegel, Windstrebe:**

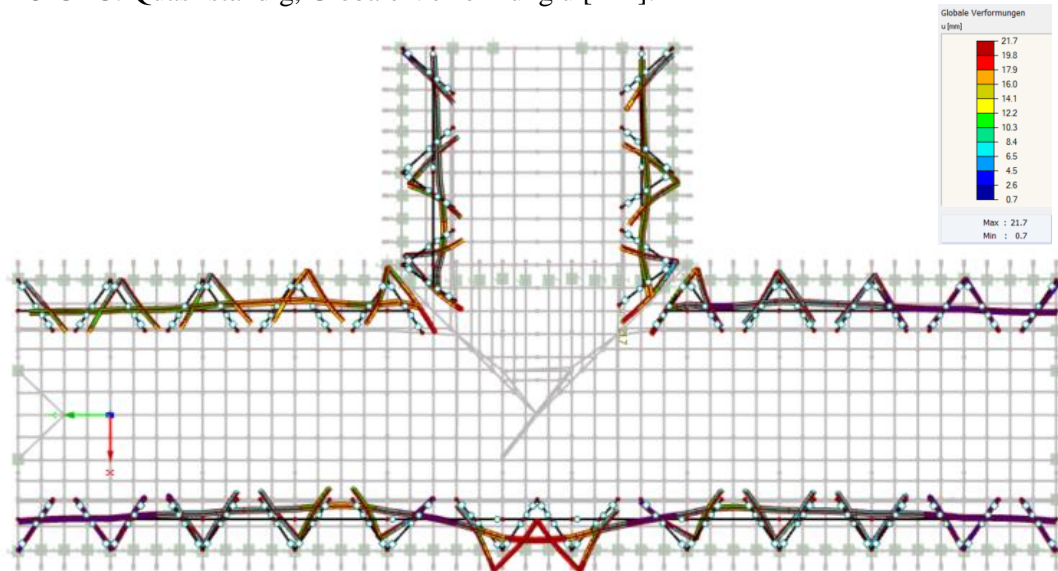
EK 1-GZT: Schnittgrößen N, MAX/MIN-Werte


 EK 1-GZT: Schnittgrößen  $V_y$ , MAX/MIN-Werte

 EK 1-GZT: Schnittgrößen  $V_z$ , MAX/MIN-Werte:

 EK 1-GZT: Schnittgrößen  $M_T$ , MAX/MIN-Werte:


EK 1-GZT: Schnittgrößen  $M_y$ , MAX/MIN-Werte:    EK 1-GZT: Schnittgrößen  $M_z$ , MAX/MIN-Werte:



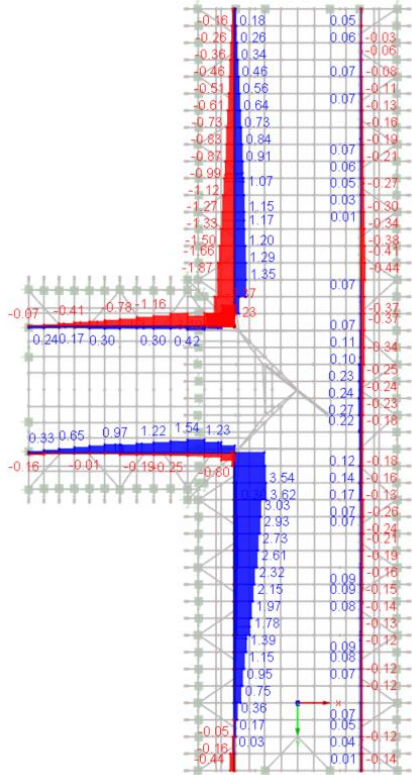
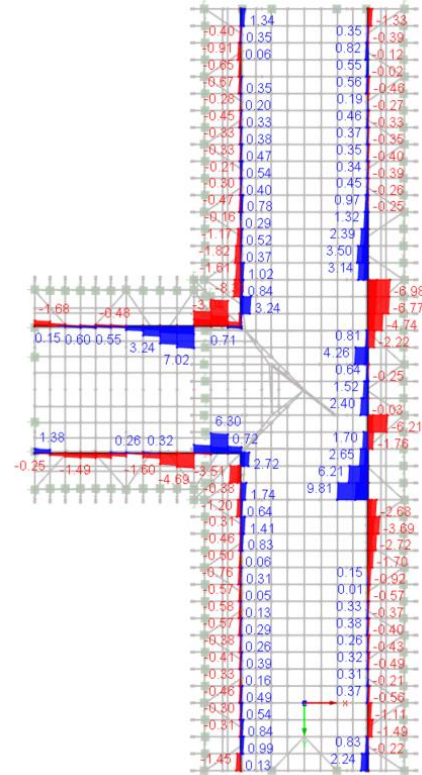
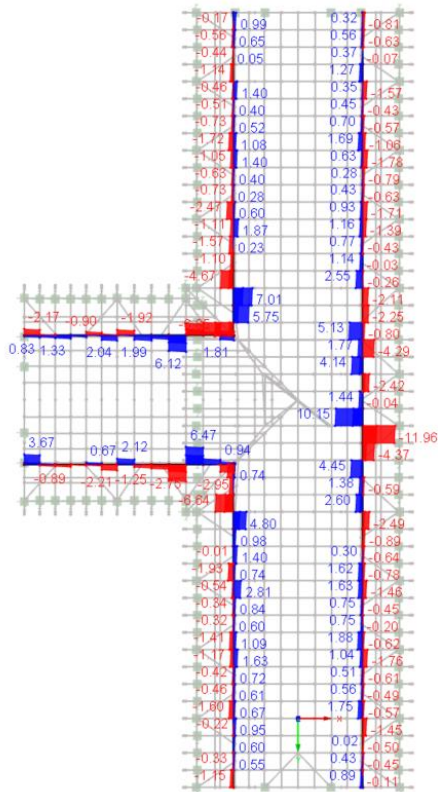
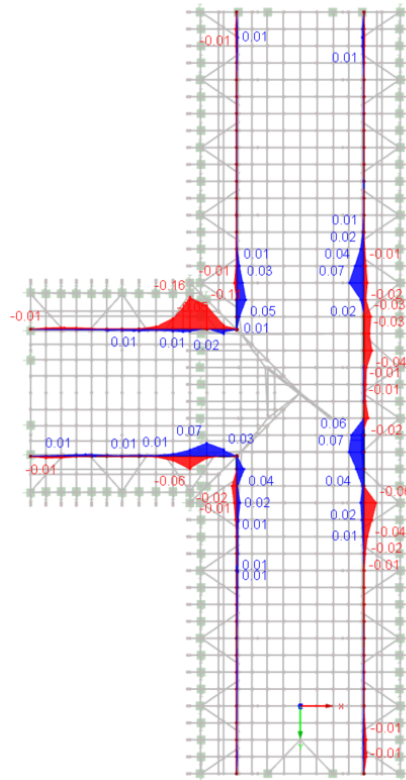
EK 3-GZG: Quasi-ständig, Globale Verformung u [mm]:



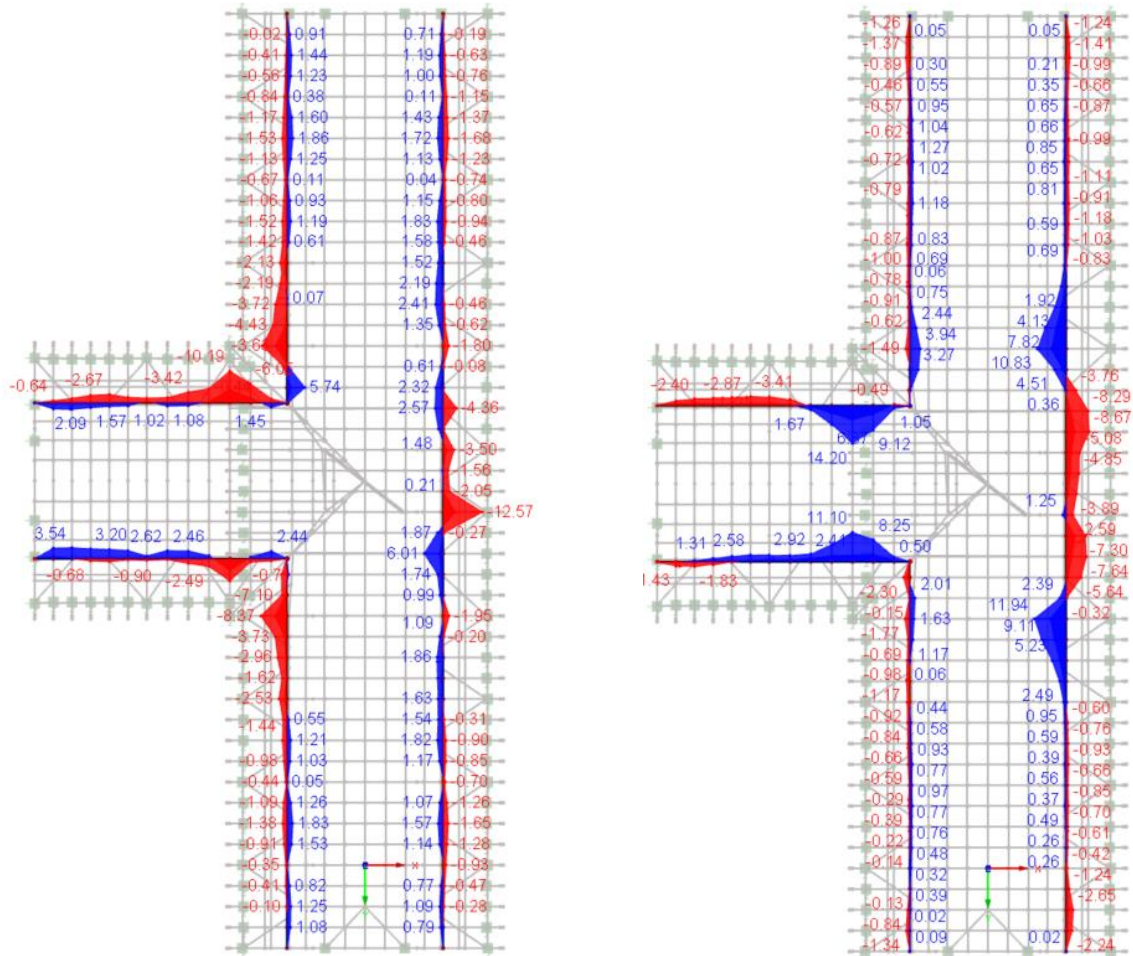


**Dachlatten (dargestellt mittige Dachlatte Ebene 2):**

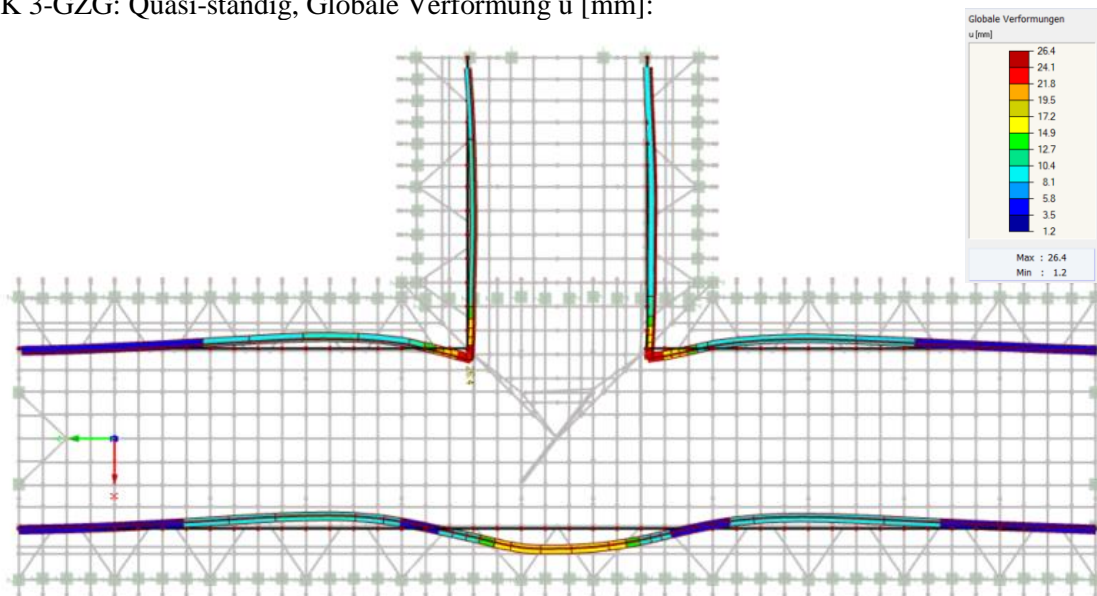
EK 1-GZT: Schnittgrößen N, MAX/MIN-Werte


 EK 1-GZT: Schnittgrößen  $V_y$ , MAX/MIN-Werte

 EK 1-GZT: Schnittgrößen  $V_z$ , MAX/MIN-Werte:

 EK 1-GZT: Schnittgrößen  $M_T$ , MAX/MIN-Werte:


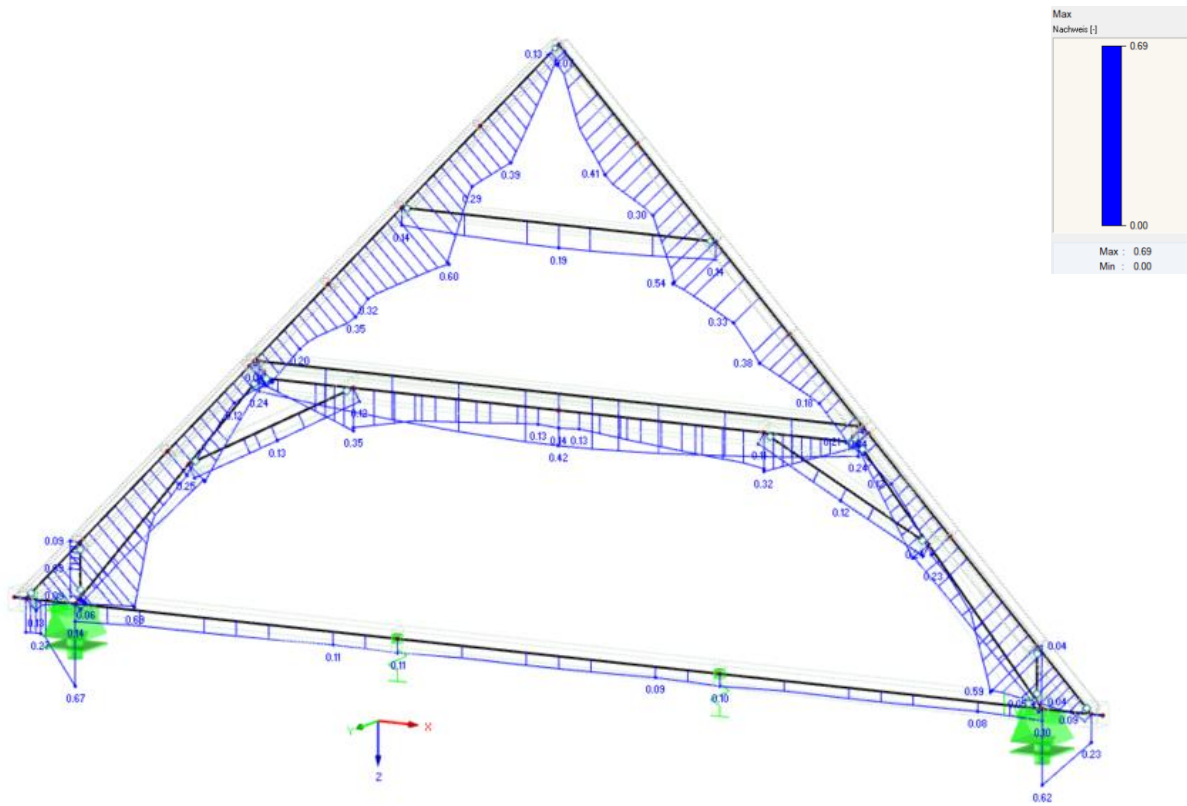
EK 1-GZT: Schnittgrößen  $M_y$ , MAX/MIN-Werte: EK 1-GZT: Schnittgrößen  $M_z$ , MAX/MIN-Werte:



EK 3-GZG: Quasi-ständig, Globale Verformung  $u$  [mm]:

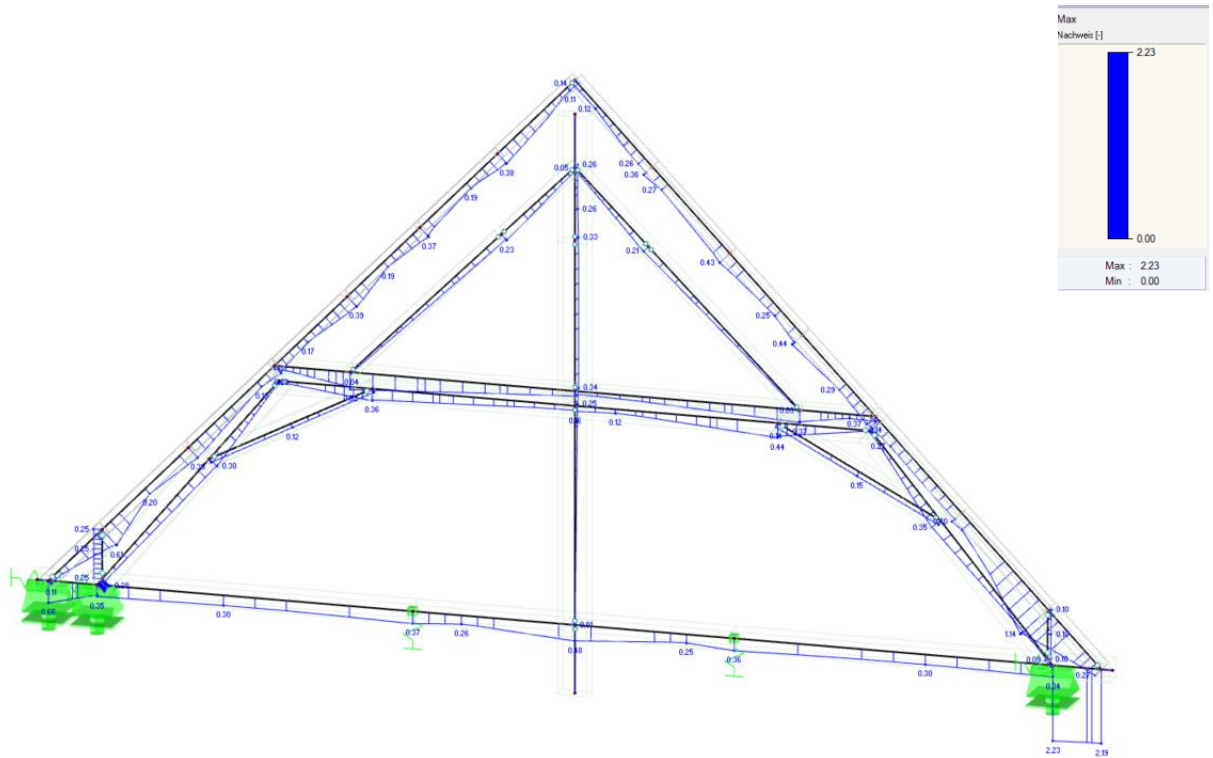


**Bauteilnachweise der repräsentativen Achsen (aus Zusatzmodul *Dlubal Holz-Pro*):**  
**Vollgespärre 3:**

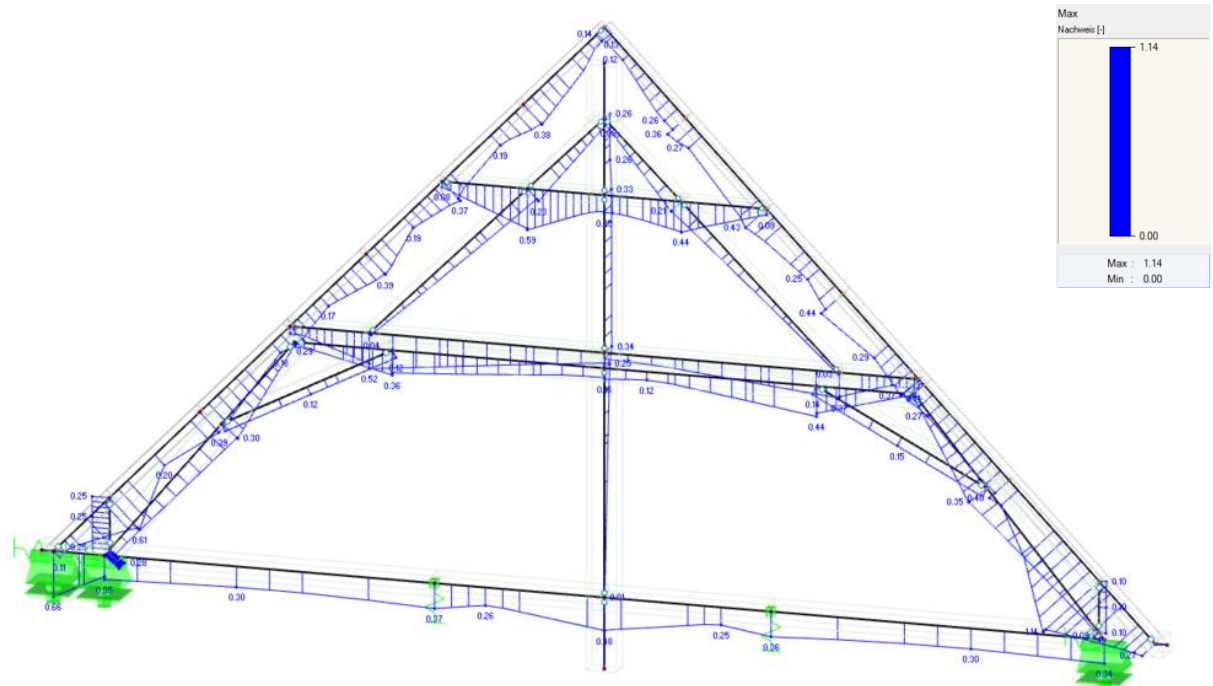


**Vollgespärre 5:**

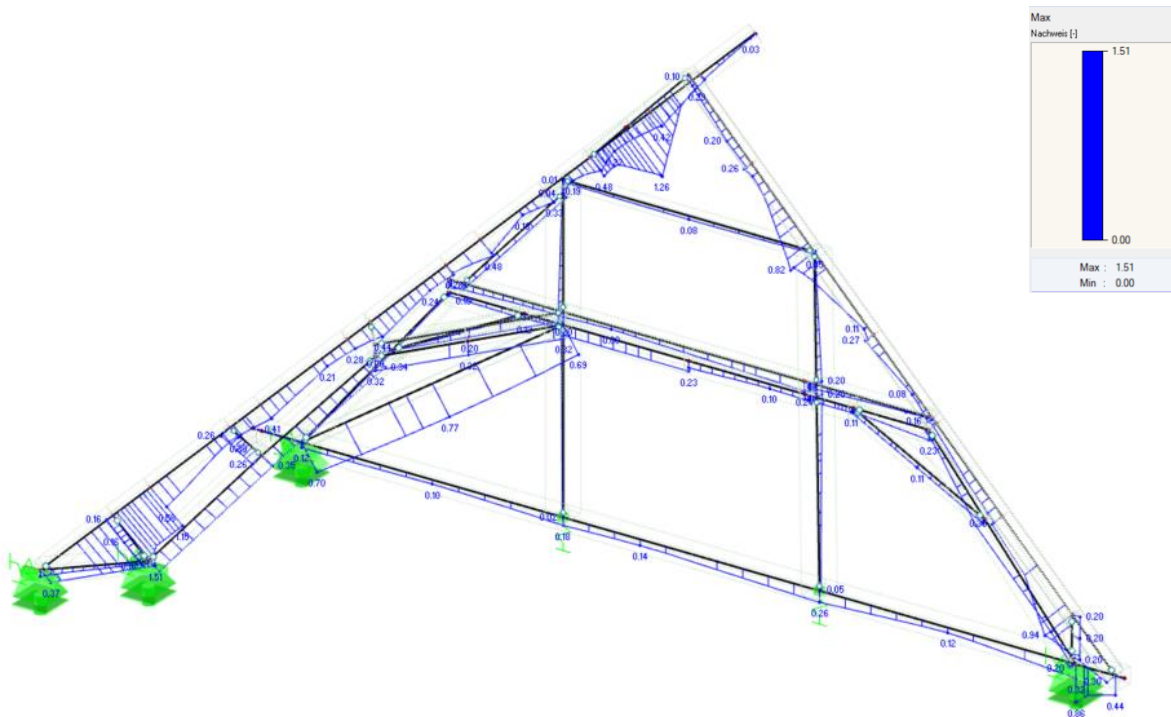
**Schubnachweis nicht reduziert:**



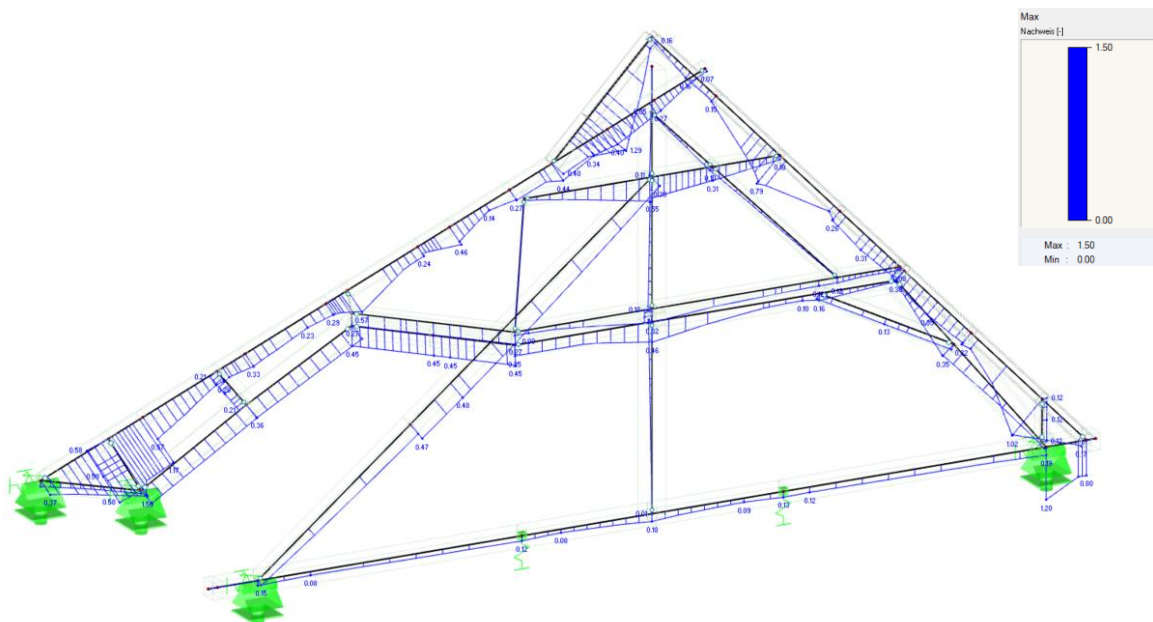
**Schubnachweis reduziert:**



**Vollgepärre 6 mit Ichsengepärre I.1:**

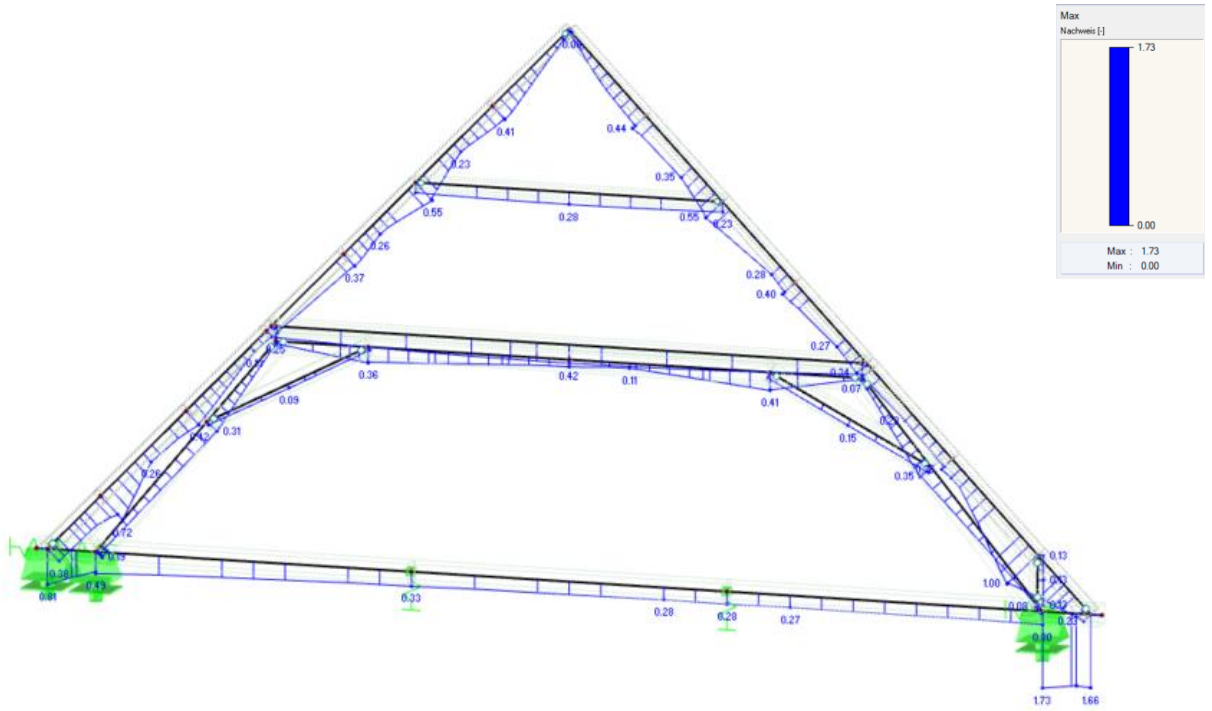


**Vollgepärre 7 mit Ichsengepärre I.2:**

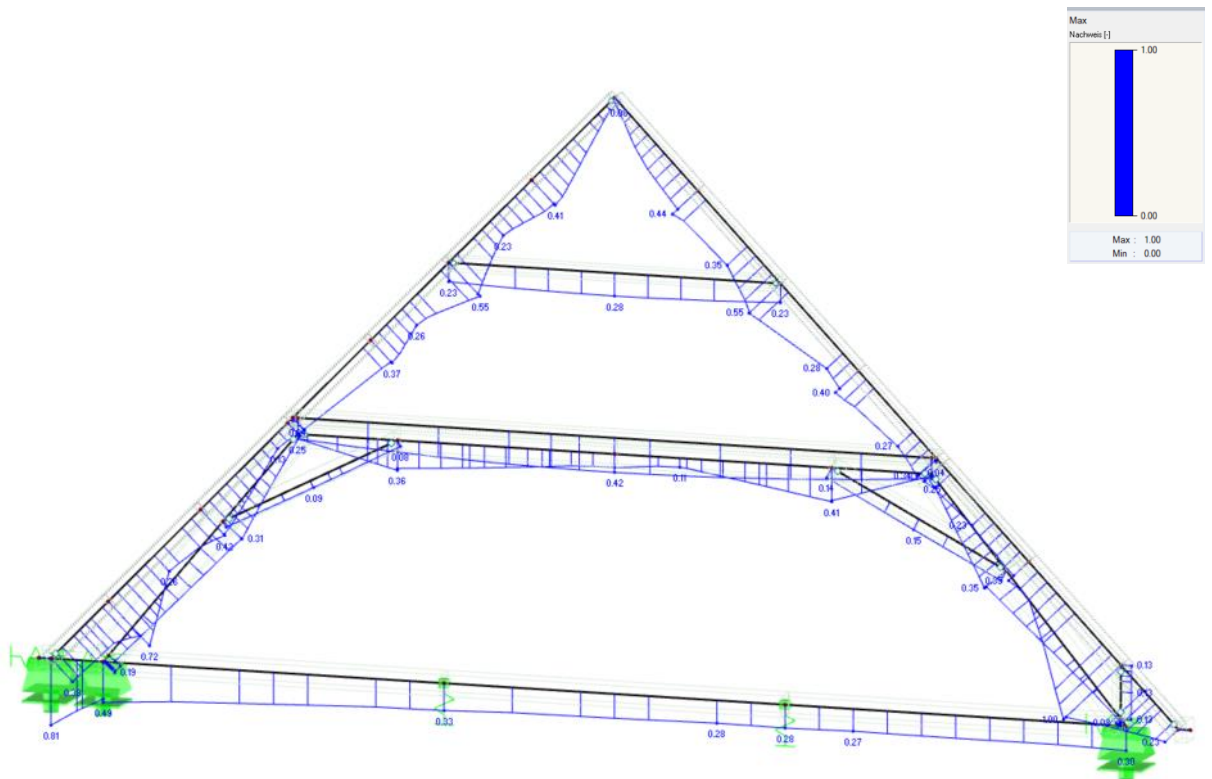


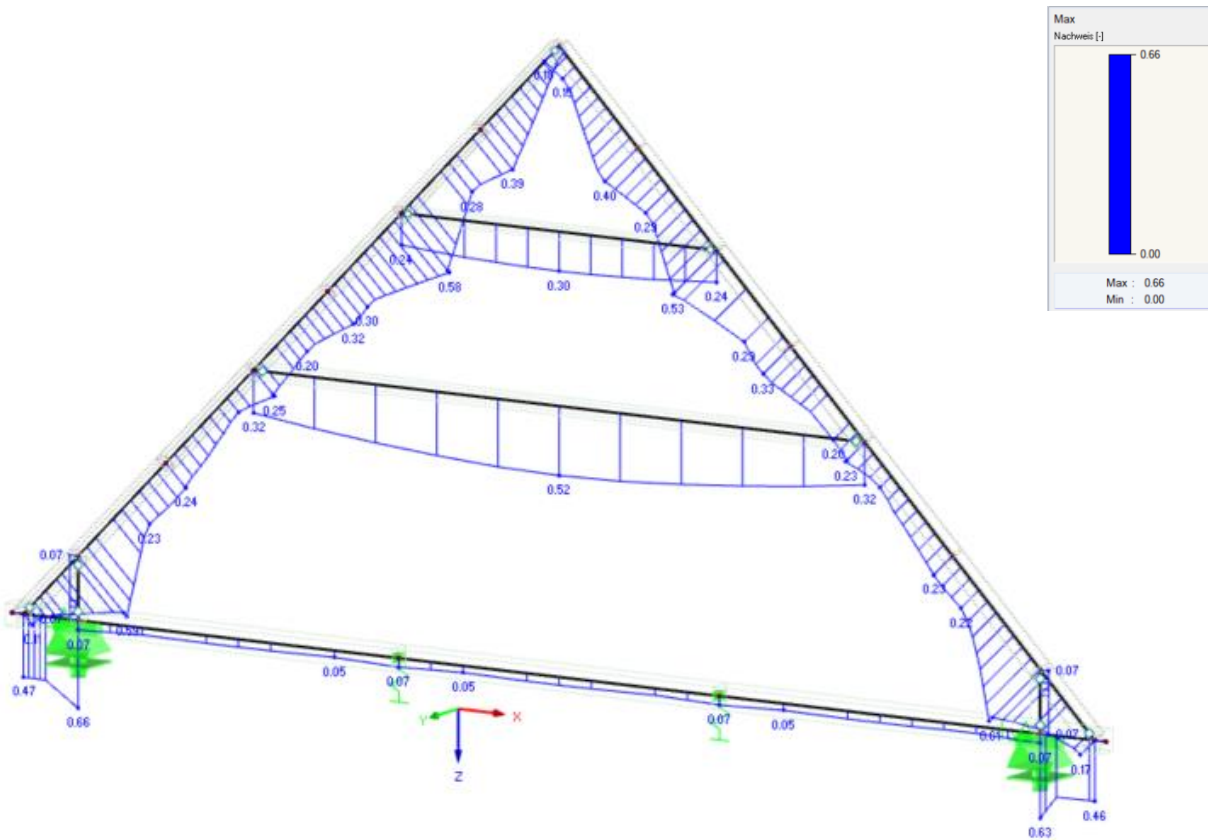
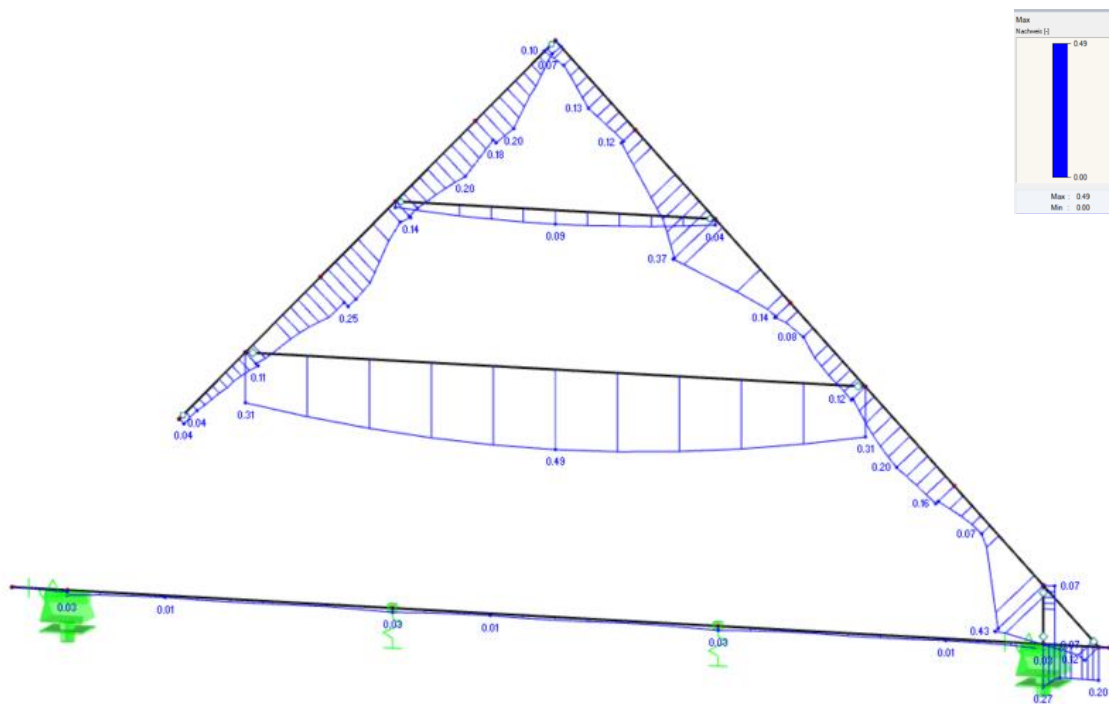
**Vollgespärre 8:**

**Schubnachweis nicht reduziert:**

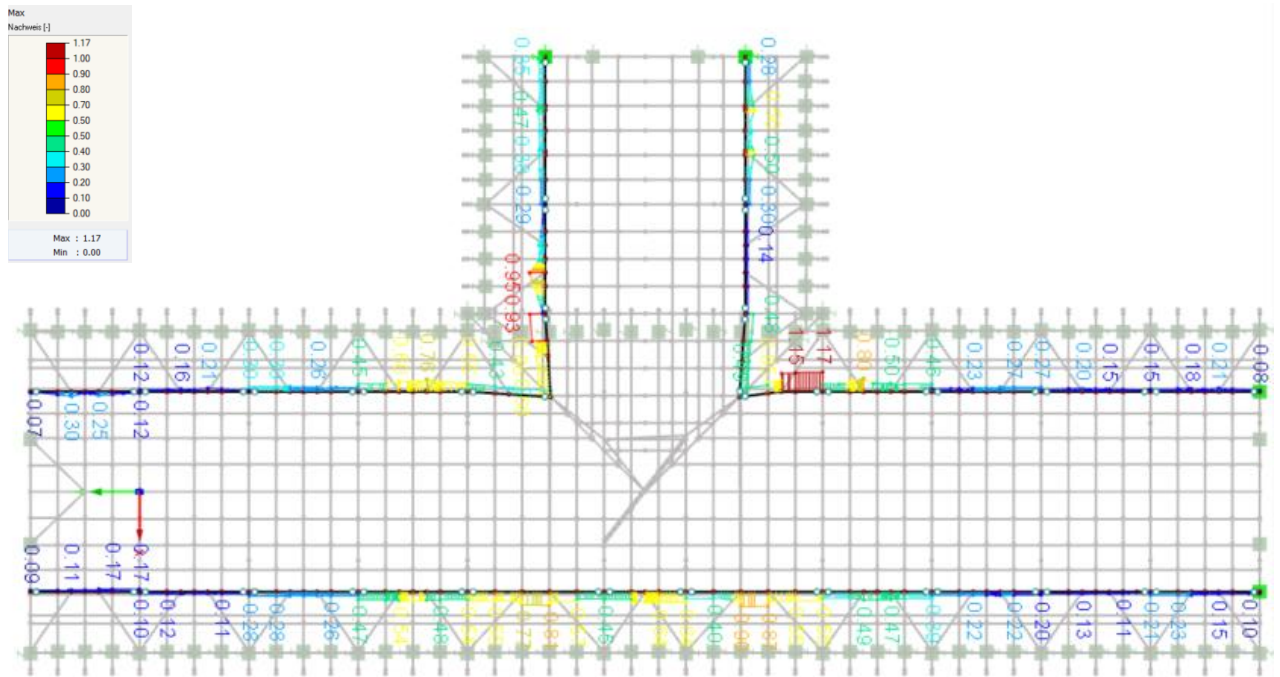


**Schubnachweis reduziert:**

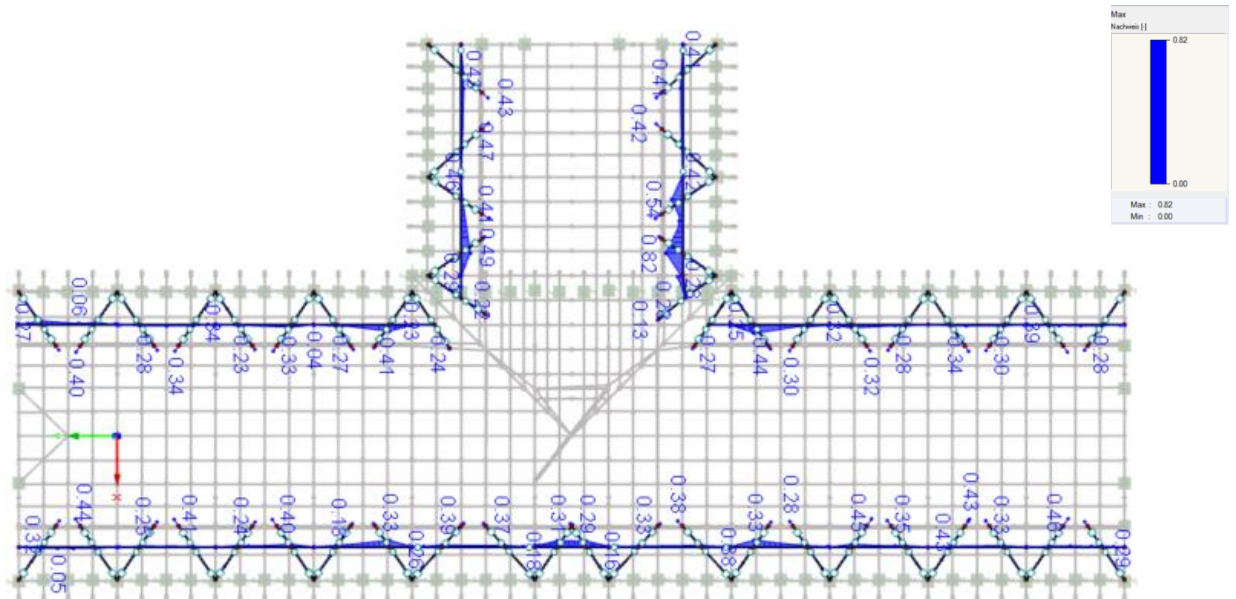


**Leergespärre 2.2:**

**Leergespärre 5.2:**


**Rähm:**



**Brustriegel, Windstrebe:**







# ANHANG E SYSTEMABMESSUNGEN

## BESTANDSERFASSUNG

Hier sind sämtliche aufgenommenen Systemabmessungen abgelegt.

### E-1 Querschnitte

#### Querschnitte Vollgespärre:

Achse	NW/SO									
	Bauteil									
	Bundtram		Spannriegel		Kehlbalken		Hahnenbalk.		Längsunterzug	
	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]
1	n.a	n.a	18,0	23,5	18,0	17,0	16,0	19,5	18,0	18,0
2	n.a	n.a	18,0	23,0	18,0	15,0	13,5	14,0	18,0	18,0
3	24,5	21,5	18,0	24,0	16,0	15,0	17,0	14,0	16,5	15,5
4	25,0	23,5	17,5	24,0	16,0	15,0	15,0	13,0	17,0	17,0
5	22,0	21,5	18,0	23,0	17,0	16,0	15,0	13,0	19,0	17,5
6	22,0	21,0	18,0	24,0	18,0	16,5	14,0	14,0	18,0	17,5
7	25,0	21,5	17,5	24,5	16,0	13,5	15,0	13,0	18,0	15,0
8	24,5	22,5	18,0	24,0	17,5	15,5	12,5	12,0	17,5	15,0
9	25,5	21,0	19,0	24,5	17,0	16,5	14,0	14,5	16,0	16,0
10	24,0	21,5	18,0	23,5	17,5	15,5	11,5	11,5	17,0	15,5
11	22,0	21,5	18,0	n.a	16,5	15,0	15,0	13,5	18,0	n.a
12	20,5	20,0	18,0	n.a	14,5	14,0	15,5	13,5	17,5	n.a
Ø	23,5	21,6	18,0	23,8	16,8	15,4	14,5	13,8	17,5	16,5

Achse	NW													
	Bauteil													
	Stuhlsäule		Kopfband		Sp.knecht		Rähm		Sparren E1		Sparren E2		Sparren E3	
	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]
1	17,0	28,0	13,0	19,5	15,0	15,0	15,0	25,0	18,5	18,5	18,0	14,0	13,0	12,5
2	18,0	28,0	13,0	18,0	15,0	15,0	15,0	23,0	16,0	n.a	16,0	15,0	14,5	13,0
3	19,5	30,0	12,5	18,0	14,0	13,0	16,0	26,0	19,0	16,0	18,0	15,0	17,0	15,0
4	19,0	30,0	12,0	18,0	16,0	15,0	15,0	23,0	17,0	n.a	16,0	15,0	15,0	15,0
5	19,0	31,5	13,0	18,5	13,0	13,0	15,0	21,5	19,0	n.a	18,0	17,0	17,0	15,0
6	20,0	28,0	13,0	18,0	n.a	n.a	15,0	22,0	n.a	n.a	n.a	n.a	17,0	14,0
7	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	16,0	15,0	16,0	15,0
8	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	16,0	15,5	15,5	12,5
9	19,5	27,5	12,0	18,0	14,0	14,0	15,0	22,0	17,5	16,5	17,0	16,0	16,0	13,5
10	20,0	25,0	13,5	17,0	14,0	14,0	15,0	22,0	18,0	n.a	15,5	13,0	14,5	12,5
11	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	17,0	13,5	16,5	15,0
12	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	15,0	18,0	13,0	15,5
Ø	19,0	28,5	12,8	18,1	14,4	14,1	15,1	23,1	17,9	17,0	16,6	15,2	15,4	14,0

Achse	SO													
	Bauteil													
	Stuhlsäule		Kopfband		Sp.knecht		Rähm		Sparren E1		Sparren E2		Sparren E3	
	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]
1	18,5	31,5	13,0	19,5	14,0	15,0	15,0	23,0	17,0	17,0	17,0	17,0	13,0	11,0
2	20,0	28,0	12,5	18,0	15,0	15,0	15,0	24,0	18,0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,0
3	18,5	29,0	12,0	18,0	15,0	13,0	12,0	23,0	16,0	18,0	16,0	14,0	15,0	14,0
4	18,0	29,0	12,0	18,0	16,0	13,0	15,0	23,0	18,5	15,5	18,5	15,5	16,5	15,0
5	18,0	27,5	12,0	18,0	15,0	14,0	15,5	21,5	18,0	17,0	18,0	17,0	18,0	17,0
6	19,0	32,5	13,0	18,0	n.a	n.a	15,0	21,0	17,0	17,0	16,0	15,0	18,0	14,0
7	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	13,5	15,5	13,5	15,5
8	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	14,5	15,0	15,0	14,0
9	20,0	28,0	12,5	18,0	14,0	14,0	15,0	22,0	16,0	n.a	17,0	16,0	15,5	13,5
10	19,0	26,0	13,0	18,0	14,0	14,0	15,0	22,0	17,0	16,0	15,5	n.a	15,5	15,0
11	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	15,5	n.a	15,0	15,5
12	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	14,0	14,5	13,0	15,5
Ø	18,9	28,9	12,5	18,2	14,7	14,0	14,7	22,4	17,2	16,6	16,0	15,6	15,3	14,6

Achse	SW/NO									
	Bauteil									
	Bundtram		Spannriegel		Kehlbalken		Hahnenbalk.		Längsunterzug	
	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]
A	18,0	20,0	16,5	24,0	16,5	17,0	17,0	14,0	x	x
B	21,5	20,0	18,5	23,5	15,5	15,5	17,0	15,0	18,0	17,0
C	18,0	23,0	18,5	23,0	13,0	12,0	17,0	14,5	18,0	17,0
Ø	19,2	21,0	17,8	23,5	15,0	14,8	17,0	14,5	18,0	17,0

Achse	SW													
	Bauteil													
	Stuhlsäule		Kopfband		Sp.knecht		Rähm		Sparren E1		Sparren E2		Sparren E3	
	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]
A	18,5	28,5	13,0	17,0	x	x	15,5	22,0	16,5	n.a	15,0	18,0	15,0	18,0
B	18,0	29,0	13,0	19,0	x	x	15,5	22,0	15,5	14,0	16,0	15,0	16,0	15,0
C	17,5	30,0	13,0	18,5	x	x	15,5	22,0	15,5	n.a	17,0	n.a	17,0	n.a
Ø	18,0	29,2	13,0	18,2	x	x	15,5	22,0	15,8	14,0	16,0	16,5	16,0	16,5

Achse	NO													
	Bauteil													
	Stuhlsäule		Kopfband		Sp.knecht		Rähm		Sparren E1		Sparren E2		Sparren E3	
	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]
A	19,0	27,5	14,5	17,5	x	x	15,0	25,0	17,5	15,0	15,0	17,5	11,5	17,5
B	19,0	28,0	13,0	19,0	n.a	n.a	15,0	25,0	18,0	15,5	16,5	14,5	16,5	14,5
C	18,0	30,0	13,5	18,5	14,0	14,0	15,0	25,0	17,5	n.a	17,0	14,0	17,0	14,0
Ø	18,7	28,5	13,7	18,3	14,0	14,0	15,0	25,0	17,7	15,3	16,2	15,3	15,0	15,3

## Querschnitte Leergespärre

Achse	NW/SO					
	Bauteil					
	Bundtram		Kehlbalken		Hahnenbalk.	
	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]
1.1	23,0	20,0	14,5	13,0	12,0	14,0
1.2	23,0	19,0	14,0	16,0	12,0	14,0
1.3	20,0	18,0	14,0	17,0	12,0	14,0
2.1	18,0	19,0	16,0	14,0	13,0	11,0
2.2	25,0	18,0	15,5	14,5	14,0	11,0
2.3	18,0	17,0	14,5	13,0	15,0	13,0
3.1	24,5	21,5	14,0	13,0	14,0	13,0
3.2	24,5	21,5	15,0	16,0	11,0	11,0
3.3	21,0	20,0	16,0	14,0	12,0	12,0
4.1	21,5	19,0	14,0	13,0	15,0	13,0
4.2	25,0	21,0	16,0	15,0	15,0	13,0
4.3	21,5	21,0	12,5	12,5	15,5	13,0
5.1	21,5	21,0	14,0	14,0	15,0	14,0
5.2	25,0	21,0	15,0	14,5	13,0	15,0
5.3	22,0	20,5	11,0	15,0	13,0	12,0
5.4	23,0	21,5	15,5	12,5	13,0	11,0
6.1	24,5	21,5	15,0	12,0	13,5	9,5
6.2	23,0	22,0	16,0	13,0	13,5	9,5
7.1	24,0	22,0	15,5	14,5	13,5	10,0
7.2	22,5	21,5	16,0	15,0	12,5	11,0
7.3	21,0	21,0	15,5	15,5	13,0	11,0
7.4	23,0	21,0	16,0	14,0	13,0	12,5
8.1	22,0	21,0	17,0	16,0	15,0	17,0
8.2	26,5	22,0	15,5	14,0	13,0	12,0
8.3	23,5	21,0	15,5	14,0	12,0	11,0
9.1	17,5	21,0	16,0	14,5	14,5	13,0
9.2	20,5	20,5	14,0	11,5	14,0	13,0
9.3	26,0	20,0	15,0	14,5	14,0	13,5
10.1	25,5	21,0	16,5	13,0	13,0	12,5
10.2	24,5	22,0	16,0	12,5	13,0	11,5
10.3	23,5	21,5	14,5	12,0	13,5	13,0
11.1	22,5	20,5	14,0	13,5	13,5	12,5
11.2	23,5	22,0	17,0	15,5	15,5	15,5
11.3	26,0	21,5	15,0	12,0	14,0	16,5
∅	22,8	20,6	15,0	13,9	13,5	12,6

Achse	NW							
	Bauteil							
	Sp.knecht		Sparren E1		Sparren E2		Sparren E3	
	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]
1.1	12,0	12,0	17,0	13,0	13,0	11,0	13,0	11,0
1.2	12,5	12,5	17,0	13,0	16,0	12,0	13,0	13,0
1.3	16,0	16,0	17,0	14,0	15,5	13,0	13,0	13,0
2.1	x	x	15,5	13,5	15,5	13,5	12,5	12,0
2.2	x	x	15,5	13,5	15,0	13,0	15,0	13,0
2.3	13,0	13,0	18,0	13,0	16,0	13,0	14,5	12,5
3.1	12,0	13,0	18,0	14,0	15,5	13,5	12,0	13,0
3.2	x	x	15,5	13,5	15,5	12,5	14,0	12,0
3.3	x	x	15,5	13,5	15,5	13,5	13,0	13,0
4.1	12,0	12,0	18,0	13,0	15,0	13,0	12,5	11,0
4.2	12,0	12,0	16,0	14,0	15,0	13,0	13,0	11,0
4.3	x	x	15,0	14,0	15,5	13,0	13,0	11,0
5.1	10,0	13,0	18,0	17,0	18,5	17,0	12,0	11,0
5.2	x	x	14,5	11,0	14,5	11,0	14,5	11,0
5.3	x	x	x	x	14,5	11,0	15,0	14,0
5.4	x	x	x	x	x	x	15,0	14,0
6.1	n.a	n.a	n.a	n.a	13,5	15,5	13,5	15,5
6.2	n.a	n.a	n.a	n.a	13,5	15,5	13,5	15,5
7.1	n.a	n.a	n.a	n.a	11,0	11,0	11,0	11,0
7.2	n.a	n.a	n.a	n.a	15,0	15,5	14,0	15,0
7.3	n.a	n.a	n.a	n.a	13,5	15,5	13,5	16,0
7.4	n.a	n.a	n.a	n.a	15,5	14,0	14,0	11,5
8.1	n.a	n.a	n.a	n.a	14,5	13,5	10,5	11,5
8.2	n.a	n.a	n.a	n.a	16,0	12,5	14,0	11,0
8.3	n.a	n.a	n.a	n.a	16,0	11,0	15,0	11,5
9.1	12,5	11,5	18,0	14,0	15,5	13,5	12,0	12,0
9.2	15,0	13,2	17,5	14,0	16,0	13,0	13,0	11,5
9.3	11,5	10,0	17,0	13,0	15,5	13,0	13,0	11,5
10.1	n.a	n.a	n.a	n.a	17,0	14,0	16,0	13,5
10.2	n.a	n.a	n.a	n.a	14,5	13,0	12,0	11,5
10.3	n.a	n.a	n.a	n.a	17,5	13,5	15,0	11,0
11.1	n.a	n.a	n.a	n.a	15,5	13,5	13,0	12,5
11.2	n.a	n.a	n.a	n.a	16,5	15,0	16,5	14,5
11.3	n.a	n.a	n.a	n.a	14,5	12,0	13,0	15,5
∅	12,6	12,6	16,6	13,6	15,2	13,3	13,5	12,6

Achse	SO							
	Bauteil							
	Sp.knecht		Sparren E1		Sparren E2		Sparren E3	
	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]
1.1	12,5	12,0	16,0	14,0	10,5	13,0	14,0	13,0
1.2	12,0	12,0	17,0	13,0	15,5	13,0	14,0	13,0
1.3	16,0	15,0	17,0	14,0	15,0	12,0	14,0	11,0
2.1	13,0	11,0	1,0	14,0	15,0	n.a	13,5	12,5
2.2	12,5	12,5	18,0	14,0	16,0	11,5	14,0	12,0
2.3	12,5	12,5	17,5	15,0	15,5	14,0	13,0	13,0
3.1	12,0	12,0	19,0	14,0	16,5	n.a	13,0	12,0
3.2	13,0	12,0	18,0	14,5	17,0	12,5	14,0	13,0
3.3	13,0	12,0	18,0	15,5	15,5	14,0	14,0	13,0
4.1	13,0	13,0	17,0	14,0	15,0	n.a	12,0	13,0
4.2	12,0	12,5	19,5	14,5	18,0	14,0	15,5	13,5
4.3	13,0	12,0	18,0	14,0	13,5	14,0	13,0	12,0
5.1	10,0	13,0	18,0	17,0	13,0	13,0	12,0	11,0
5.2	13,0	12,0	17,5	14,0	15,5	n.a	13,0	13,0
5.3	13,0	11,0	17,5	13,5	16,0	13,0	14,0	12,0
5.4	13,0	12,0	27,5	15,5	16,0	16,0	15,0	14,0
6.1	n.a	n.a	n.a	n.a	17,0	13,0	14,5	n.a
6.2	n.a	n.a	n.a	n.a	14,0	11,5	9,5	10,0
7.1	n.a	n.a	n.a	n.a	15,5	13,0	14,0	13,0
7.2	n.a	n.a	n.a	n.a	13,5	n.a	14,0	n.a
7.3	n.a	n.a	n.a	n.a	13,0	12,0	9,5	10,5
7.4	n.a	n.a	n.a	n.a	14,0	13,5	11,5	12,5
8.1	n.a	n.a	n.a	n.a	15,5	n.a	14,5	13,0
8.2	n.a	n.a	n.a	n.a	15,0	13,0	15,0	11,5
8.3	n.a	n.a	n.a	n.a	15,0	13,0	14,5	11,0
9.1	15,0	14,5	16,5	n.a	15,0	n.a	13,5	n.a
9.2	12,5	12,5	19,0	14,0	18,0	13,5	13,0	11,5
9.3	11,0	10,5	17,5	14,5	15,0	15,5	12,5	12,0
10.1	n.a	n.a	n.a	n.a	16,0	14,0	12,0	13,0
10.2	n.a	n.a	n.a	n.a	14,0	13,5	12,0	13,0
10.3	n.a	n.a	n.a	n.a	14,5	13,5	11,5	13,0
11.1	n.a	n.a	n.a	n.a	16,5	15,0	14,0	13,0
11.2	n.a	n.a	n.a	n.a	16,5	15,5	15,5	14,5
11.3	n.a	n.a	n.a	n.a	14,0	12,5	14,0	11,0
∅	12,7	12,3	17,3	14,4	15,2	13,4	13,3	12,4

Achse	SW/NO			
	Bauteil			
	Bundtram		Hahnenbalk.	
	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]
A.1	18,0	18,0	11,5	9,5
A.2	18,0	18,5	11,5	11,5
A.3	18,5	18,0	13,5	12,0
A.4	18,0	21,5	12,5	13,0
A.5	18,5	19,0	13,0	13,0
B.1	21,5	22,0	12,5	12,0
B.2	21,0	19,0	12,5	12,0
B.3	20,0	20,0	12,5	12,0
C.1	x	18,5	n.a	n.a
∅	19,2	19,4	12,4	11,9

Achse	SW									
	Bauteil									
	Sp.knecht		Sparren E1		Sparren E2/E3		Kehlbalken		Längsbalken	
	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]
A.1	x	x	14,0	12,5	13,5	11,0	13,5	12,5	16,0	15,0
A.2	x	x	16,0	9,0	14,0	12,0	13,5	12,5	16,0	15,0
A.3	x	x	16,5	13,0	14,0	12,5	16,0	15,5	16,0	15,0
A.4	x	x	16,5	n.a	13,5	12,0	14,0	13,0	16,0	15,0
A.5	x	x	15,0	13,0	13,0	12,0	16,5	16,5	16,0	15,0
B.1	12,5	13,0	17,0	12,5	17,5	13,5	17,5	18,0	x	x
B.2	12,0	11,0	17,5	n.a	16,5	11,5	13,5	15,5	x	x
B.3	13,0	12,0	15,0	14,0	16,5	12,5	19,0	15,0	x	x
C.1	x	x	16,0	15,0	n.a	n.a	17,0	14,5	x	x
∅	12,5	12,0	16,4	13,8	16,8	12,5	15,6	14,8	16,0	15,0

Achse	NO									
	Bauteil									
	Sp.knecht		Sparren E1		Sparren E2/E3		Kehlbalken		Längsbalken	
	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]
A.1	x	x	14,0	13,5	12,5	12,0	16,0	16,0	17,5	14,5
A.2	x	x	16,0	13,5	14,5	13,0	14,5	12,5	17,5	14,5
A.3	x	x	16,0	13,5	13,0	12,0	17,0	14,5	17,5	14,5
A.4	x	x	18,0	n.a	17,5	n.a	15,0	15,0	17,5	14,5
A.5	x	x	17,5	13,0	14,5	12,0	15,0	15,0	17,5	14,5
B.1	12,5	13,0	18,0	15,0	17,0	14,0	17,5	18,0	x	x
B.2	12,0	11,0	16,0	13,0	15,0	13,0	13,5	15,5	x	x
B.3	13,0	12,0	18,5	14,5	15,0	13,0	19,0	15,0	x	x
C.1	x	x	16,0	15,0	n.a	n.a	17,0	14,5	x	x
∅	12,5	12,0	16,7	13,9	15,7	13,3	16,1	15,1	17,5	14,5



**Querschnitte Stuhlwände:**

Achse	NW					
	Bauteil					
	Strebe 1		Strebe 2		Brustriegel	
	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]
1-2	14,0	16,0	10,0	13,0	14,0	17,0
2-3	10,0	13,5	9,5	14,0	15,0	20,5
3-4	13,0	15,0	x	x	15,0	18,0
4-5	13,0	15,0	11,0	14,0	15,5	17,5
5-6	12,0	15,5	x	x	15,0	18,0
6-7	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
7-8	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
8-9	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
9-10	15,5	17,0	13,0	15,0	15,5	17,0
10-11	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
11-12	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
∅	12,9	15,3	10,9	14,0	15,0	18,0

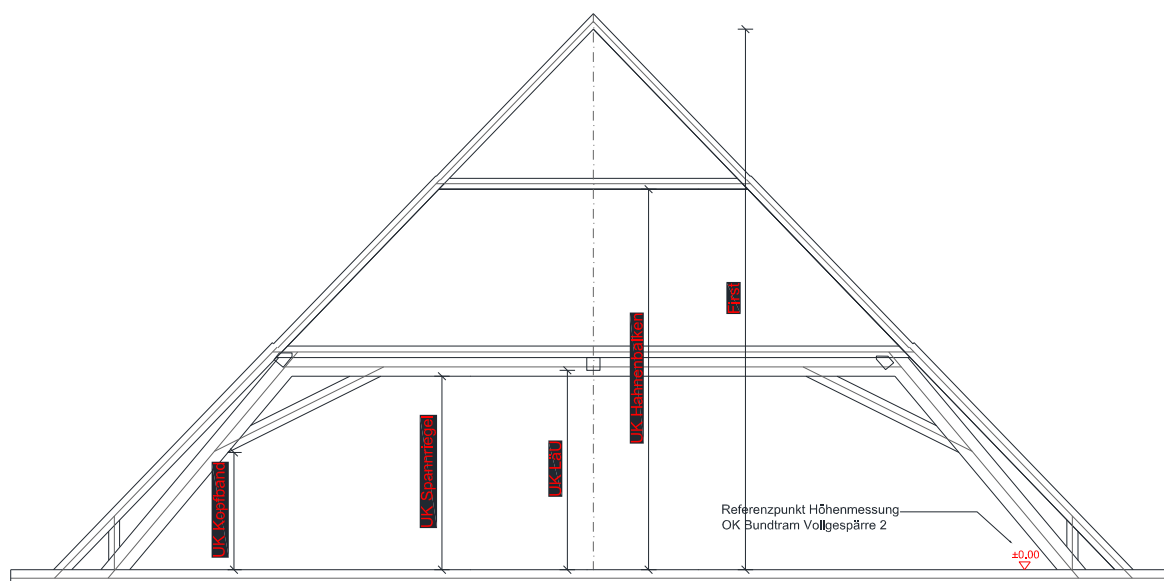
Achse	SO					
	Bauteil					
	Strebe 1		Strebe 2		Brustriegel	
	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]
1-2	14,0	16,0	14,0	16,0	16,0	18,0
2-3	14,0	16,0	14,0	16,0	14,0	17,0
3-4	15,0	15,0	14,0	15,5	15,0	18,0
4-5	14,0	14,0	14,5	16,5	15,0	17,0
5-6	12,5	15,5	15,0	16,0	15,0	18,0
6-7	x	x	x	x	x	x
7-8	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
8-9	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
9-10	15,0	16,0	13,0	15,0	16,0	18,0
10-11	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
11-12	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
∅	14,1	15,4	14,1	15,8	15,2	17,7

Achse	NO					
	Bauteil					
	Strebe 1		Strebe 2		Brustriegel	
	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]
A-B	14,0	15,0	10,0	13,5	16,0	17,5
B-C	15,0	15,5	13,5	14,5	15,0	17,0
∅	14,5	15,3	11,8	14,0	15,5	17,3

Achse	SW					
	Bauteil					
	Strebe 1		Strebe 2		Brustriegel	
	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]	b [cm]	h[cm]
A-B	13,0	16,0	12,0	15,0	15,0	16,0
B-C	11,0	12,0	11,0	13,0	14,5	16,5
∅	12,0	14,0	11,5	14,0	14,8	16,3

## E-2 Gemessene Höhenangabe

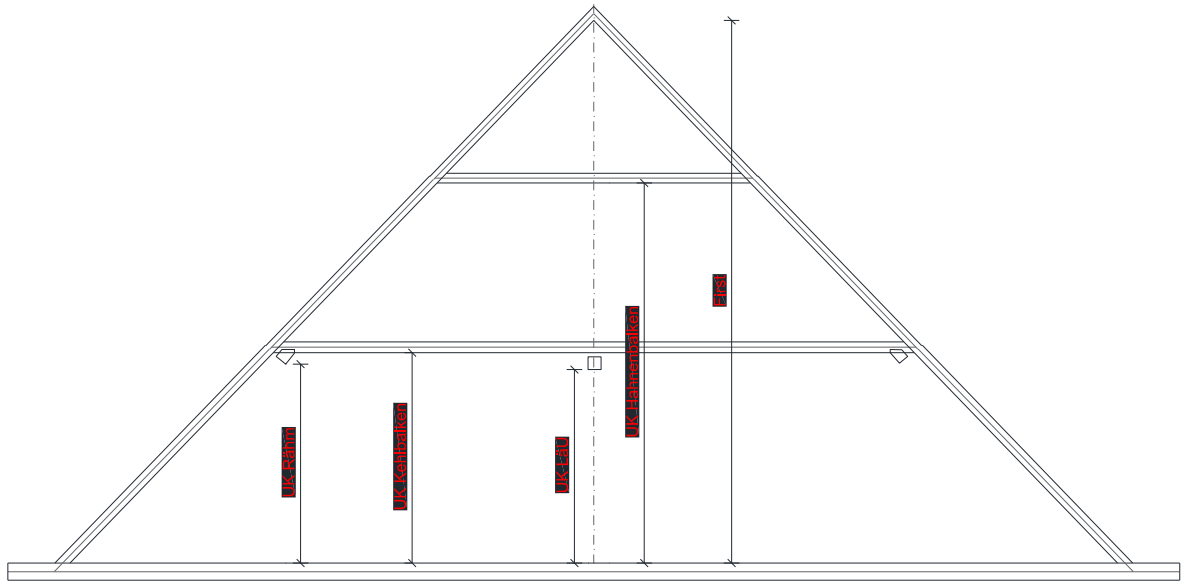
### Höhen Vollgespärre:



Achse	OK Bundtram [cm]		UK Spannriegel [cm]		Mitte	UK Läu [cm]	UK Kopfband		UK Hahnenb. [cm]		First [cm]
	NW	SO	NW	SO			NW	SO	NW	SO	
1	-1,5	0,0	264,0	260,0	261,0	262,0	162,0	163,0	497,0	497,0	709,0
2	-5	0,0	254,0	254,5	251,5	256,5	155,5	160,5	499,5	498,5	705,5
3	-9,5	-3,0	250,0	257,0	249,0	254,5	153,0	157,0	500,5	497,0	703,0
4	-16,0	-4,5	239,0	247,0	235,5	242,5	142,0	149,0	488,5	486,5	698,5
5	-17,5	-4,5	242,0	242,5	239,5	244,5	143,0	147,5	498,0	488,0	693,0
6	n.a	-3,0	n.a	245,5	232,5	236,5	n.a	152,5	473,5	492,0	687,0
7	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	700,0
8	n.a	n.a	245,5	249,5	n.a	252,0	n.a	n.a	493,0	496,5	704,0
9	-12,0	-5,0	250,0	251,5	247,5	255,5	149,5	151,5	495,5	498,5	706,0
10	-6,0	-5,0	260,0	259,5	253,0	256,0	152,5	148,5	491,5	497,5	704,5
11	n.a	n.a	249,5	247,0	n.a	251,0	n.a	n.a	497,0	494,0	704,0
12	n.a	n.a	253,5	252,5	n.a	251,0	n.a	n.a	489,0	486,0	697,0

Achse	OK Bundtram [cm]		UK Spannriegel [cm]		Mitte	UK Läu [cm]	UK Kopfband		UK Hahnenb. [cm]		First [cm]
	SW	NO	SW	NO			SW	NO	SW	NO	
A	-7,0	-16,0	250,5	251,5	249,0	x	152,0	149,5	507,5	509,0	692,5
B	-9,0	-16,5	236,0	236,0	234,0	239,0	138,0	138,5	477,5	474,5	683,0
C	-18,0	-12,5	215,0	239,5	222,0	224,0	115,0	138,5	454,5	465,5	672,0

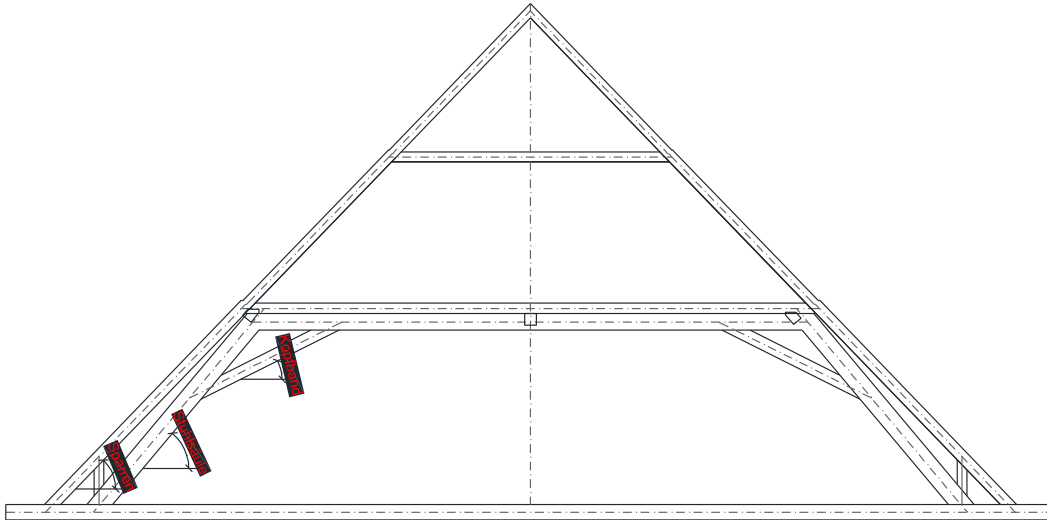
**Höhen Leergespärre:**



Achse	OK Bundtram [cm]		UK Kehlbalken [cm]		Mitte	UK Läu [cm]	UK Rähm		UK Hahnenb. [cm]		First [cm]
	NW	SO	NW	SO			NW	SO	NW	SO	
1.3	-1,0	-3,0	279,5	283,0	275,0	256,0	261,5	264,0	504,5	503,5	709,0
2.2	-7,0	-0,5	272,0	276,5	272,0	256,5	258,5	260,5	494,0	494,5	707,0
3.2	-10,0	-4,5	263,0	271,0	263,0	255,5	249,0	254,5	483,5	486,0	697,0
4.2	-13,5	-4,5	262,5	268,0	264,0	246,5	248,0	252,0	488,0	488,0	695,0
5.1	n.a	-2,5	266,0	271,5	261,5	239,0	250,0	254,5	484,0	484,0	692,0
5.4	n.a	-2,0	x	269,0	254,0	255,5	x	255,0	478,0	478,0	693,0
8.2	n.a	n.a	271,0	273,0	n.a	254,0	n.a	n.a	496,0	497,0	703,0
9.2	-11,5	-6,0	275,5	277,0	271,5	257,0	258,0	260,0	491,5	494,0	699,5
10.2	n.a	n.a	272,0	272,0	n.a	251,0	n.a	n.a	491,5	493,5	702,5
11.2	n.a	n.a	271,5	268,5	n.a	251,0	n.a	n.a	492,0	490,5	701,0

Achse	OK Bundtram [cm]		UK Kehlbalken [cm]		Mitte	UK Läu [cm]	UK Rähm		UK Hahnenb. [cm]		First [cm]
	SW	NO	SW	NO			SW	NO	SW	NO	
A.3	-15,5	-15,5	267,0	264,5	x	x	245,0	241,0	472,0	476,4	692,0
B.2	-10,0	-14,0	252,5	263,0	n.a	233,0	236,0	244,5	471,0	477,5	685,0

## E-3 Winkel



### Winkelmessungen an Bauteilen:

Achse	Sparren E1		Sparren E2		Sparren E3		Stuhlsäule		Kopfband	
	NW	SO	NW	SO	NW	SO	NW	SO	NW	SO
1	46,2	45,4	46,1	46,0	x	x	51,3	49,9	27,0	26,8
1.2	46,3	45,3	46,6	46,2	46,5	47,0	x	x	x	x
2	46,6	45,7	46,3	45,3	46,0	45,3	50,9	48,9	27,0	25,8
2.2	46,0	44,6	46,8	45,9	46,7	46,4	x	x	x	x
3	45,9	46,7	46,5	45,9	46,0	46,2	49,6	49,8	26,5	26,0
3.2	45,4	44,5	46,5	44,6	48,0	44,9	x	x	x	x
4	46,6	46,0	47,1	45,8	46,9	45,3	49,8	49,0	26,8	26,0
4.2	45,1	44,6	47,2	45,8	48,0	45,3	x	x	x	x
5	46,9	45,2	46,7	45,3	46,8	45,9	50,6	48,2	26,7	25,6
5.2	47,7	43,2	48,0	43,5	48,1	44,2	x	x	x	x
5.4	n.a	43,7	45,0	42,7	46,7	42,8	x	x	x	x
6	x	44,9	x	44,2	44,5	43,0	50,2	47,6	25,4	24,8
7	n.a	n.a	47,5	47,0	47,5	47,0	x	x	x	x
8	n.a	n.a	47,0	47,0	47,0	47,0	n.a	n.a	n.a	n.a
9	46,9	47,0	47,0	46,0	46,2	46,4	50,3	50,0	27,0	26,0
9.2	45,6	46,2	47,0	46,0	47,0	46,0	x	x	x	x
10	46,4	46,2	46,0	46,5	46,0	46,5	50,0	50,0	26,8	26,6
11	n.a	n.a	47,0	46,5	45,7	46,3	n.a	n.a	n.a	n.a
12	n.a	n.a	46,0	46,0	45,1	46,4	n.a	n.a	n.a	n.a
∅	46,3	45,3	46,7	45,6	46,6	45,7	50,3	49,2	26,7	26,0

Achse	Sparren E1		Sparren E2-E3		Stuhlsäule		Kopfband	
	SW	NO	SW	NO	SW	NO	SW	NO
A	46,1	48,0	46,0	47,2	50,5	52,5	26,8	27,0
A.3	45,5	43,5	46,5	48,5	x	x	x	x
B	47,0	44,5	47,5	47,0	52,0	49,5	27,0	26,0
B.2	47,0	45,0	47,5	45,5	x	x	x	x
C	46,5	44,5	47,5	44,0	50,5	50,5	27,0	26,5
C.5	x	x	48,6	46,2	x	x	x	x
∅	46,4	45,1	47,3	46,4	51,0	50,8	26,9	26,5

**Dachneigung:**

Achse	NW	SO
1.2	45,7	43,4
3	46,1	44,7
5	46,6	44,6
6	44,5	43,7
7	47,1	45,2
8	46,5	44,5
9	46,0	45,0
10	45,0	45,5
11	46,0	46,0
12	46,0	45,0
∅	46,0	44,8

Achse	SW	NO
A	46,0	47,0
A.3	46,0	45,5
B	47,0	45,5
B.2	47,5	45,5
C	47,5	45,0
∅	46,8	45,7

## E-4 Achsabstände

### Achsabstände firstparallel:

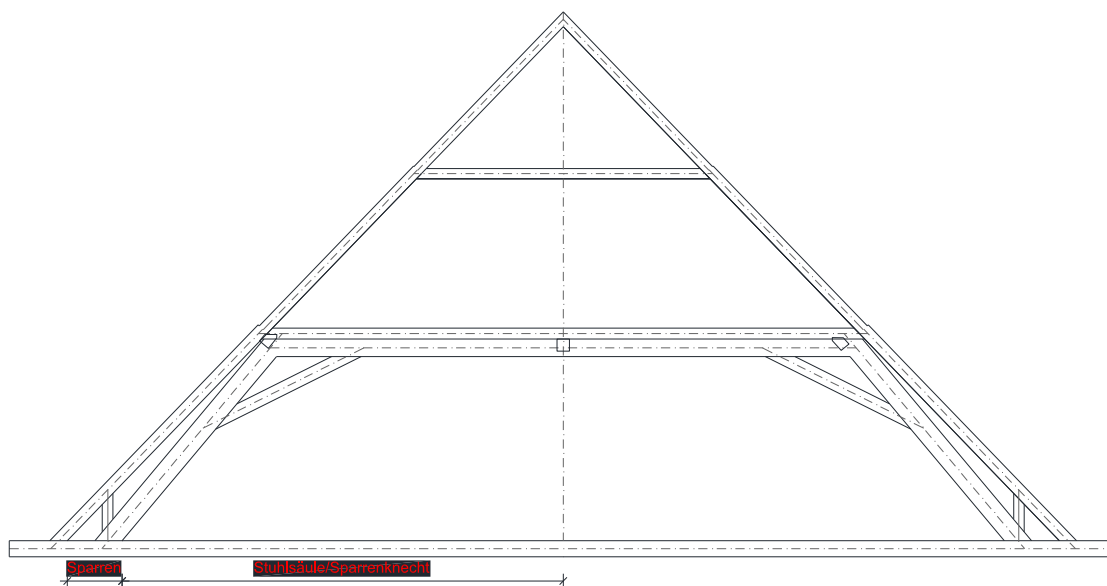
Achse	NW	SO
1	112,0	105,0
1.1	96,0	98,0
1.2	109,0	103,0
1.3	98,0	111,0
2	107,0	97,0
2.1	99,0	108,0
2.2	129,0	106,5
2.3	103,0	133,0
3	119,5	120,5
3.1	118,5	123,0
3.2	118,0	123,0
3.3	105,0	93,5
4	106,5	105,0
4.1	113,0	102,0
4.2	102,0	96,0
4.3	90,0	96,0
5	79,5	99,5
5.1	136,0	111,5
5.2	116,0	109,0
5.3	102,0	102,0
5.4	101,5	108,5
6	110,0	106,5
6.1	126,0	131,0
6.2	134,0	124,0
7	88,5	90,0
7.1	98,0	98,0
7.2	107,0	107,0
7.3	113,0	107,0
7.4	107,5	107,5
8	104,5	98,5
8.1	99,0	102,0
8.2	94,0	92,0
8.3	95,5	97,5
9	94,0	96,0
9.1	122,5	117,5
9.2	117,0	125,0
9.3	124,5	122,0
10	126,0	125,5
10.1	121,0	123,0
10.2	102,5	102,5

Achse	SW	NO
A	99,5	98,5
A.1	90,0	90,5
A.2	99,0	100,0
A.3	96,0	99,0
A.4	98,0	94,5
A.5	96,5	101,0
B	111,0	110,0
B.1	111,5	116,0
B.2	108,5	103,5
B.3	109,5	113,0
∅	102,0	102,6

10.3	105,0	103,0
11	98,5	100,5
11.1	97,5	98,5
11.2	110,0	112,5
11.3	104,0	101,0
∅	108,0	107,5

---



**Achsabstände quer zur Firstlinie:**


Achse	NW [cm]		$\Sigma$ [cm]	SO [cm]		$\Sigma$ [cm]
	Stuhls./Sp.kn.	Sparren		Stuhls./Sp.kn.	Sparren	
1	594,0	80,0	674,0	587,5	83,0	670,5
1.1	606,5	69,0	675,5	625,5	73,0	698,5
1.2	607,0	71,0	678,0	626,5	72,5	699,0
1.3	605,0	70,0	675,0	626,5	71,0	697,5
2	579,5	86,0	665,5	616,0	79,5	695,5
2.1	x		660,0	627,5	71,5	699,0
2.2	x		656,5	627,5	73,5	701,0
2.3	609,0	84,0	693,0	627,5	70,0	697,5
3	585,0	83,0	668,0	604,0	79,5	683,5
3.1	605,5	82,0	687,5	628,0	71,0	699,0
3.2	x		672,0	628,0	70,0	698,0
3.3	x		666,0	631,0	69,0	700,0
4	589,5	118,0	707,5	608,0	82,5	690,5
4.1	604,0	71,0	675,0	629,0	66,5	695,5
4.2	604,0	74,0	678,0	633,0	70,0	703,0
4.3	584,5	92,0	676,5	634,5	66,5	701,0
5	580,5	85,0	665,5	623,0	82,0	705,0
5.1				637,0	66,0	703,0
5.2				641,0	64,0	705,0
5.3				645,5	63,0	708,5
5.4				647,5	69,6	717,1
6				633,5	83,0	716,5
$\emptyset$	596,5	81,9	674,9	626,7	72,6	699,3

Achse	NW [cm]		$\Sigma$ [cm]	SO [cm]		$\Sigma$ [cm]
	Stuhls./Sp.kn.	Sparren		Stuhls./Sp.kn.	Sparren	
9.1	618,0	58,0	676,0	621,0	51,0	672,0
9.2	616,5	51,0	667,5	619,0	49,0	668,0
9.3	615,5	49,0	664,5	615,5	50,0	665,5
∅	616,7	52,7	669,3	618,5	50,0	668,5

Achse	NO [cm]		SW [cm]	
	Stuhlsäule	Sparren	Stuhlsäule	Sparren
A	588,5		587,0	
A.1		649,5		n.a
A.2		657,0		n.a
A.3		665,0		n.a
A.4		664,0		n.a
A.5		663,0		n.a
B	580,5			n.a
B.1		669,5		648,0
B.2		675,0		636,0
B.3		677,0		634,0
C	568,0		538,5	607,5
∅	579,0	665,0	562,8	631,4

Dies ist eine Veröffentlichung des

### **FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ**

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“. Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe

S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | F – Forschungsberichte  
V – Vorträge, Tagungen | M – Masterarbeiten

Institutskennzahl:

1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau  
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke  
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft  
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl