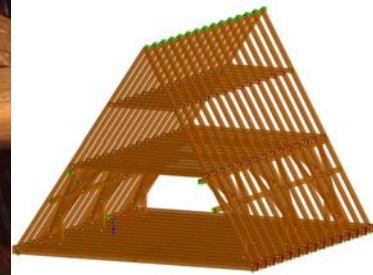
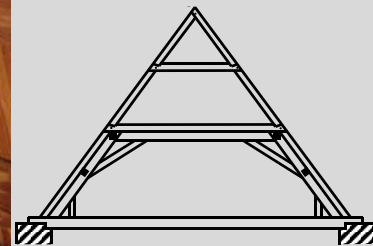


Bestandserfassung, Modellbildung und Tragverhalten historischer Dachstühle am Beispiel des Stiftes Zwettl

D-4-05/2010



Bertram Buchhäusl

Institut für Holzbau und Holztechnologie
Technische Universität Graz

Bestandserfassung, Modellbildung und Tragverhalten historischer Dachstühle am Beispiel des Stiftes Zwettl

Masterarbeit von
Bertram Buchhäusl

Eingereicht am
Institut für Holzbau und Holztechnologie



Fakultät für Bauingenieurwissenschaften
Technische Universität Graz

Begutachter
Univ.-Prof. Dipl.-Ing Dr. techn. Gerhard Schickhofer

Betreuer
DDipl.-Ing. Andreas Meisel

Graz am 11. Juni 2010

Eidesstattliche Erklärung

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

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

Graz, am 11.06.2010

(Bertram Buchhäusl)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, welche mich auf meinem Weg durch das Studium tatkräftig unterstütz haben.

Für das Begutachten dieser Arbeit und die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes möchte ich Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Schickhofer meinen Dank aussprechen.

Weiters möchte ich mich bei den Mitarbeitern des Institutes für Holzbau und Holztechnologie und der „holz.bau forschungs gmbh“ für die gute Zusammenarbeit und Hilfe bedanken.

Ganz besonderer Dank gilt meinem Betreuer DDipl.-Ing Andreas Meisel, welcher durch seinen engagierten Einsatz und seine fachkundige Unterstützung eine große Hilfe und Bereicherung für mich war.

Ein herzliches Dankeschön für die Gastfreundlichkeit und die Bereitstellung einer Unterkunft auch an das Stift Zwettl.

... der Glaube beginnt dort wo das Wissen endet...

Kurzfassung

Zu Beginn dieser Arbeit werden die wichtigsten Ereignisse in der Geschichte des Stiftes Zwettl und die Grundlagen für diese Arbeit dokumentiert.

Für die zahlreichen unterschiedlichen Dachstühle innerhalb des Hauptgebäudes des Stiftes Zwettl wird eine Bestandserfassung inklusive Besonderheiten durchgeführt.

Historische Dachstühle sind in der Regel statisch hochgradig unbestimmte Systeme mit einem dreidimensionalen Tragverhalten. Die Schnittkräfte werden ganz wesentlich von der Geometrie und der Steifigkeitsverteilung innerhalb des statischen Modells beeinflusst.

Um den Einfluss der schnittkraftbestimmenden Parameter zu analysieren, werden fünf verschiedene statische Modelle generiert und deren Schnittkräfte miteinander verglichen.

Eines der Modelle ist statisch linear, die anderen Modelle sind statisch nichtlineare, dreidimensionale Systeme. Der Unterschied zwischen den Modellen liegt in der Abbildung des mechanischen Verhaltens der verschiedenen Verbindungen. Bei der Analyse werden je nach Modell das Ausfallen auf Zug, die Exzentrizitäten und die Nachgiebigkeiten der zimmermannsmäßigen Verbindungen berücksichtigt.

Es zeigt sich, dass erst die Berücksichtigung des Ausfallens beziehungsweise der Nachgiebigkeit auf Zug sowie einzelne Exzentrizitäten der Verbindungen zu realistischen Schnittgrößen und Ausnutzungsgraden führt.

Weiters beinhaltet diese Arbeit die Untersuchung von teiltragfähigen Verbindungen und die damit verbundenen dreidimensionalen Lastumlagerungen.

Abstract

In the beginning of this diploma thesis the most important events in the history of the reference object, the Zwettl monastery, and the fundamentals for this work are documented.

A condition evaluation including all distinctive features is carried out for the numerous different roofs of the main building.

Historical roof structures are highly statically indetermined systems with a spatial (three-dimensional) load bearing behaviour. The forces and moments in the structure are determined by the geometry as well as the distribution of stiffnesses within the structural model.

In order to analyse the influence of parameters determining the internal forces, five different structural models are generated and compared. While four models are statically non-linear systems, one is a statically linear system. The models differ in the modelling of the various connections.

Depending on the model tension failure, eccentricities and the flexibility of the carpentry joints are taken into consideration in the analyses.

It is shown, that only after consideration of tension failure and as the case may be flexibility as well as single eccentricities of the joints realistic internal forces and utilisation ratios are achieved.

Moreover this work includes the investigation of components with insufficient load bearing capacity and the therewith combined spatial load redistributions.

Allgemeines	5
1 Geschichte	7
1.1 Die Zisterzienser und die Gründung des Stiftes Zwettl	7
1.2 Geschichte des Stiftes Zwettl	7
1.3 Baugeschichte	9
2 Eigenschaften des Holzes	13
3 Grundlagen historischer Holzkonstruktionen	17
3.1 Historische Dachstühle	17
3.2 Prinzip: Sparren-/Pfettendach	19
3.2.1 Begriffsdefinition	19
Übersicht der Dachstühle	25
4 Ablauf einer Instandsetzung	27
4.1 Zielanalyse (Stufe I)	27
5 Bestandserfassung (Stufe II)	29
5.1 Die Dachstuhltypen im Stift Zwettl	29
5.1.1 Übersichtsplan über das Hauptgebäude	31
5.1.2 Bereich I	32
5.1.3 Bereich II	35
5.1.4 Bereich III	37
5.1.5 Bereich IV	39
5.1.6 Bereich V	39
5.1.7 Bereich VI	40
5.1.8 Bereich VII	42
5.1.9 Bereich VIII	44
5.1.10 Bereich IX	46
5.1.11 Bereich X	47
5.1.12 Bereich XI	48
5.1.13 Bereich XII	50
5.1.14 Bereich XIII	51
5.1.15 Bereich XIV	53
5.1.16 Bereich XV	54
5.1.17 Bereich XVI	56
5.1.18 Bereich XVII	56
5.1.19 Bereich XVIII	57
5.1.20 Bereich XIX	58
5.2 Zusammenfassung	59

6	Schadensanalyse (Stufe III)	61
	Generieren des statischen Modells (Stufe IV)	63
7	Lastaufstellung nach EN 1991-1-4	65
7.1	Eigengewicht	65
7.2	Schnee	65
7.3	Nutzlast	66
7.4	Windlast	66
7.5	Lastfälle	68
7.6	Lastfallgruppen	69
8	Visuelle Sortierung des Bauholzes	71
8.1	DIN 4074-1	71
8.2	Analyse der Holznägel	73
9	Bereich XI - Aufnahme und Modellbildung	77
9.1	Querschnitte	77
9.2	Das Tragsystem und die statische Modellbildung	80
9.2.1	Tragwerk	80
9.2.2	Modellbildung	81
9.2.3	Exzenter	82
9.2.4	Nachgiebigkeit (Federn)	84
9.3	Verbindungen	90
9.3.1	Allgemein	90
9.3.2	D1: Mauerbank-Bundtram	92
9.3.3	D2: Sparren-Bundtram	96
9.3.4	D3: Stuhlsäule-Bundtram	103
9.3.5	D4: Stuhlsäulenknecht-Bundtram	107
9.3.6	D5: Stuhlsäulenknecht-Stuhlsäule	108
9.3.7	D6: Brustriegel-Stuhlsäule	109
9.3.8	D7: Kopfband-Stuhlsäule	109
9.3.9	D8: Rähm-Stuhlsäule beziehungsweise Kehlbalken	116
9.3.10	D9: Sparren-Kehlbalken	123
9.3.11	D10: Druckriegel-Stuhlsäule	129
9.3.12	D11: Kopfband-Druckriegel	134
9.3.13	D12: Hahnenbalken-Sparren	140
9.3.14	D13: Sparren-Sparren	141
9.3.15	D14: Windrispe-Rähm	143
9.3.16	D15: Windrispe-Stuhlsäule	143
9.3.17	Zusammenfassung der Eingabewerte:	144

9.4	Plausibilitätskontrollen:	145
Ergebnisse und deren Interpretation		147
10	Vergleiche der Modelle M0 - M4	149
10.1	Momente $M_y(x)$ - Sparren HG 2.0	150
10.2	Normalkräfte $N(x)$ - Sparren HG 2.0	153
10.3	Momente $M_y(x)$ - Sparren LG 2.2	155
10.4	Normalkraft $N(x)$ - Sparren LG 2.2	157
10.5	Normalkraft N und Querkraft V_z in den Exzentern E8	159
10.6	Momente $M_y(x)$ Druckriegel HG 2.0	161
10.7	Normalkraft $N(x)$ - Druckriegel HG 2.0	163
10.8	Momente $M_y(x)$ - Stuhlsäule HG 2.0 IH	165
10.9	Normalkraft $N(x)$ - Stuhlsäule HG 2.0 IH	167
10.10	Biegemoment M_z und Torsionsmoment M_t	168
10.11	Untersuchung des Einflusses des verminderten Torsionswiderstandes	168
10.12	Zusammenfassung	171
11	Ausfallen der Sparren auf der Kampseite	173
11.1	Momente $M_y(x)$ - Sparren HG 2.0	176
11.2	Normalkräfte $N(x)$ - Sparren HG 2.0	178
11.3	Momente $M_y(x)$ - Stuhlsäule IH	180
11.4	Normalkräfte $N(x)$ - Stuhlsäule HG 2.0	181
11.5	Momente $M_y(x)$ - Druckriegel	182
11.6	Normalkraft N und Querkraft V in den Exzentern D8	183
11.7	Zusammenfassung	184
Anhang		187
12	Sortierung des Bauholzes nach DIN 4074-1	189
13	Gemittelte Querschnitte	191
14	Überprüfung der Kraftübertragungsflächen der Sparrenfüße	193
15	Modell M0	207
16	Nachweise	221
16.1	Nachweise des Bundtrams unter Zugbeanspruchung	222
16.2	Nachweis des Kehlbalkens auf Druck (hier C24)	223
16.3	Nachweis des Kehlbalkens auf Zug (hier C24)	224
16.4	Nachweis des Hahnenbalkens auf Druck	225

16.5	Nachweis des Sparrens auf Druck	226
16.6	Nachweis der Stuhlsäule auf Druck	229
16.7	Nachweis des Druckriegels auf Druck	230
16.8	Nachweis des Kopfbandes auf Druck	231
16.9	Nachweis des Kopfbandes auf Zug	232
16.10	Stirnversatzzapfen (Sparren-Bundtram)	233
16.11	Fersenversatzzapfen (Stuhlsäulen-Bundtram)	234
16.12	Verbindungen unter Zug	235

A Allgemeines

Der allgemeine Teil ist in drei Unterkapitel gegliedert. Das erste befasst sich mit der Geschichte des Stiftes Zwettl und handelt von den Anfängen der Zisterzienser, der Gründung des Stiftes und betrachtet wichtige politische sowie kulturelle Einwirkungen auf das Stift und seine Baugeschichte.

Das zweite und dritte Kapitel liefert allgemeine Grundlageninformationen über das Holz und Dachstühle für die weiteren Teile dieser Arbeit.

1 Geschichte

(vgl. [5], [40], [44], [39])

1.1 Die Zisterzienser und die Gründung des Stiftes Zwettl

Die Zisterzienser haben ihren Ursprung im Benediktinerorden. Dieser wurde von Benedikt von Nursia gegründet und gilt als ältester Orden des westlichen Ordenslebens. Benedikt gründete im Jahr 529 n.Chr. das erste Kloster bei Montecassino (Italien), welches wenig später von den Langobarden zerstört, 717 aber wieder neu errichtet wurde.

Die Langobarden (= Langbärte) besiedelten im 6. Jahrhundert Italien und wurden 773 von Karl dem Großen, welcher dem damaligen Papst (Hadrian I) beistand, wieder aus Italien vertrieben.

Insgesamt gründete Benedikt zwölf Klöster. Der später heilig Gesprochene verfasste nach seinen Vorstellungen Klosterregeln, die sogenannten Benediktinerregeln, welche im wesentlichen vom Leitspruch „Ora et Labora“ geprägt sind.

Als die Benediktinerklöster über die Jahrhunderte durch Spenden, Stiftungen und Erbschaften immer mehr Reichtum angehäuften hatten, war die Ausgewogenheit zwischen Beten und Arbeiten nicht mehr gegeben. Die Eigenversorgung, das heißt das Arbeiten trat in den Hintergrund und stundenlanges Beten stand an der Tagesordnung der Mönche.

Ein typisches Kloster, welches diesen Lebensstil verkörperte war Cluny in Frankreich. Diesem einflussreichen Kloster waren viele andere Klöster unterstellt.

1091 kam es zu einer Protestbewegung, welche den Ursprung im französischen Kloster Molesme hatte und von dem Benediktinerabt Robert in Gang gesetzt wurde. Er wollte das Klosterleben wieder zu jener ursprünglichen Einfachheit und Reinheit zurückführen, wie es in den Benediktinerregeln geschrieben stand. Abt Robert zog mit einer kleinen Schar von Anhängern in die unwirtliche Gegend von Citeaux - lateinisch Cistercium- und gründete dort den Zisterzienserorden und eine neue Stätte klösterlichen Lebens. Dort stand die Eigenversorgung wieder im Vordergrund. Weiters wurden Schenkungen und Spenden strikt abgelehnt. In der ersten Hälfte des 12. Jahrhunderts kam es zu einem Aufschwung des Zisterzienserordens, welcher eine Ausbreitung auf fast ganz Europa zur Folge hatte. Diese Reformbewegung hatte einen sehr zentralistischen Charakter und so ist es auch nicht verwunderlich das alle Zisterzienserklöster einheitlich, und ohne Ausnahme dieselbe Heilige, die Heilige Maria, verehrten. Im Vergleich dazu war es unter den Benediktinern üblich, dass jedes Kloster ihren eigenen Kirchenpatron bestimmen konnte.

Anfänglich wendete sich der Drang zur Einfachheit auch gegen die künstlerische Entfaltung und Ausstattung der Klosterräume und reduzierte auch die Buchverzierungen auf ein Minimum. Diese strenge Auslegung des Klosterlebens unterlag aber bald dem Einfluss des Wohlstandes und erfuhr eine Lockerung.

1.2 Geschichte des Stiftes Zwettl

Im Jahre 1120 schwappte die französische Reformbewegung auch auf das deutschsprachige Gebiet über. Nachdem bereits das Stift Rein in der Steiermark gegründet worden war, kam eine weitere Gründungskolonie aus Frankreich, siedelte sich im Wienerwald an und gründete 1133 das Stift Heiligenkreuz. Schon bald darauf wurden von dort, im Advent 1137, einige Mönche losgeschickt um im Waldviertel das Stift Zwettl zu gründen. Das Stift Zwettl ist das drittälteste noch aktive Zisterzienserklöster weltweit.

Das Stift Zwettl liegt in einer Senke in der Nähe der gleichnamigen Stadt Zwettl im heutigen Niederösterreich. Die Anlage wird dreiseitig vom Fluss „Kamp“ umschlossen. Der Legende nach stand dort inmitten der Winterlandschaft eine grüne Eiche, welche dem ersten Abt des Stiftes im Traum erschienen war. Diesem Zeichen waren die Mönche gefolgt und wurden dort fündig. Die nächsten, zwei Jahrhunderte waren geprägt von einem anhaltenden Aufschwung, welcher das Stift Zwettl zu einem blühenden Ordenshaus machte. Es folgten zwei einschneidende Ereignisse, welche sogar die Existenz des Stiftes gefährdeten. Das erste Geschehnis war die Pest, welche zahlreichen Mönchen das Leben kostete.

Die Pest, auch als der „Schwarze Tod“ bezeichnet, wütete in Europa von circa 1347 bis 1353 und kostete mehr als 25 Millionen Menschen das Leben.

Die zweite Begebenheit war der Einfall der Hussiten. Sie legten 1427 große Teile des Stiftes in Schutt und Asche. Wertvolle Kulturgüter konnten in letzter Sekunde von den Mönchen in Sicherheit gebracht werden.

Der Name Hussiten ist auf den tschechischen Theologen und Reformator Jan Hus zurückzuführen. Ihm war vor allem der Reichtum der Kirche ein Dorn im Auge. Nach seinem Tod (Verbrennung) kam es zum Aufstand, der auch den „Prager Fenstersturz“ (1419) zur Folge hatte. 1425 drangen die Hussiten erstmals in das Gebiet von Niederösterreich ein und plünderten dort zahlreiche Städte und Klöster.

Nur der große Überlebenswille und Hilfe von Außen ließen das Stift weiterhin bestehen und es folgte rasch, um 1500, die nächste wirtschaftliche Blütezeit, welche eine rege Ausbautätigkeit mit sich brachte.

Während der nächsten 100 Jahre wurde die bauliche Substanz des Stiftes nicht verändert. Dies hatte aber keineswegs wirtschaftliche Gründe, sondern bedingt war dies, durch die Zeit der Reformation. Viele Mönche verließen das Kloster und es gab sehr wenige Neuzugänge. Zeitweise befanden sich im Stift Zwettl vorübergehend nur drei Patres.

Die Reformation, welche im 16. Jahrhundert von Martin Luther initiiert wurde, endete in einer Spaltung der Kirche, welche diese sehr schwächte.

1530 musste das Stift ein Viertel seiner Güter verkaufen, da es zur Einführung einer sogenannten „Türkensteuer“ zur Finanzierung des Krieges gegen die Türken kam.

Der neuerliche Aufschwung kam mit der Gegenreformation der Kirche und führte wiederholt zu einer regen Bautätigkeit, welche den Ausbau in Richtung Osten zur Folge hatte. Dabei stand der Konventbereich mit dem Dormitorium im Mittelpunkt. Klosterangehörige bekamen eigene Zellen, in denen sie sich aufhalten konnten. Die neuzeitlich-humanistische Bewegung spiegelte sich somit in der Bautätigkeit des Klosters wider. Bemerkenswert ist dabei, dass dies zu einer Zeit geschah, in der weite Teile Europas mit den Auswirkungen des Dreißigjährigen Krieges zu kämpfen hatten.

Die Gegenreformation war die Reaktion der Kirche auf die Reformation. Die Maßnahmen der Gegenreformation erstreckten sich nicht nur auf den kirchlichen Bereich, sondern beeinflussten auch die Politik, was ein Mitgrund für den Dreißigjährigen Krieg (1618-1648) war.

Auch die tiefgreifenden Reformen des Kaisers Joseph II überstand das Kloster unbehelligt.

Joseph II, Sohn Maria Theresias, setzte viele politische als auch religiöse Reformen durch. So wurden unter Joseph II auch andere Religionen (Protestantismus, Judentum) toleriert. Unter seiner Regentschaft wurden viele Klöster, welche keine sozialen Aufgaben ausübten, geschlossen und enteignet.

Im 18. Jahrhundert setzte die Barockisierung ein, in der hauptsächlich die Kirche neu gestaltet wurde, aber auch Gebäudeteile hinzugefügt wurden (siehe Kap. 1.3).

In der jüngeren Geschichte, während des nationalsozialistischen Regimes, kam es zur Andro-

hung der Aufhebung des Klosters. Es blieb bei einer Drohung. Trotzdem verlor das Stift in dieser Zeit 700 Hektar Wald und Ackerfläche durch Zwangsverkäufe.

Die Ordensstruktur der Zisterzienser ist durch eine besondere Beziehung zum jeweiligen Mutterorden bestimmt. Da viele Klöster direkt von Frankreich aus gegründet worden waren und eine gute Verbindung zum Mutterorden bestand, wurden viele Klöster von den französischen Baustilen beeinflusst. Es ist daher auch nachvollziehbar, dass der in Frankreich entstandene Baustil der Gotik die architektonische Gestaltung der österreichischen Zisterzienserklöster beeinflusste. Der Kreuzgang spiegelt diese enge Beziehung zu den französischen Mutterklöstern wider. Obwohl im frühen 13. Jahrhundert errichtet, weist der Kreuzgang eindeutig gotische Merkmale auf, während die regionale Baukunst dieser Zeit noch deutlich von der Romanik bestimmt wurde.

1.3 Baugeschichte

Alle Zisterzienserklöster haben eine gewisse Gebäudeanordnung und Raumaufteilung. Der „Idealplan“ sieht ein schlichtes Gebäudeviereck vor, welches einen zentralen Innenhof entstehen lässt. Der nördliche Trakt besteht aus der Kirche. Sie ist größer als die restlichen Gebäudeteile und um keinen störenden Schatten zu werfen, bildet sie stets den nördlichen Abschluss. Im östlichen Trakt befinden sich der Kapitelsaal, welcher als Versammlungssaal dient, ein Sprechzimmer, da im übrigen Klausurbereich Schweigepflicht herrschte, und Arbeitsräume. Im ersten Obergeschoss war der gemeinsame Schlafräum (= Dormitorium). Im südlichen Bereich befindet sich der Speisesaal (= Refektorium) und die Küche. Den Westtrakt bildeten Wirtschafts- und Vorratsräume.

Diese Aufteilung spiegelt sich im Stift Zwettl wider. Diese Gebäudeteile sind somit die ältesten im romanischen Stil errichtete und zum größten Teil noch ursprünglich erhaltenen.

Der Kapitelsaal

Der Kapitelsaal ist ein typisches Beispiel für die Romanik und wurde ca. 1145 bis 1150 erbaut. Das verwendete Baumaterial ist Granit, welcher am anderen Ufer des Kampflusses gebrochen wurde. Der Kapitelsaal ist neben der Kirche der wichtigste Raum der Mönche. Nach der Frühmesse versammeln sich die Mönche in diesen Raum und es werden „Kapitel“ aus den benediktinischen Ordensregeln oder den klosterinternen Zusatzregeln vorgetragen. Weiters wird der Raum bei der Abtwahl, Beichte und der Angelobungszeremonie der Mönche verwendet. Die in der Mitte stehende Stütze symbolisiert dabei Jesus Christus, der als Lebensbaum und Stütze mitten im Paradies steht. Im Boden befinden sich alte Gräber von besonderen Förderern des Klosters. (siehe Abb. 1.1)

Der Kreuzgang

Im Erdgeschoss des Stiftes wurden die einzelnen Gebäudeteile beziehungsweise Wohn-, Schlaf- und Wirtschaftsräume mit dem sogenannten Kreuzgang verbunden. Den Namen erhielt der Kreuzgang von den ursprünglich abgehaltenen Prozessionen, bei denen ein Kreuz vorangetragen wurde.

Allgemein handelt es sich bei einem Kreuzgang um einen offenen Arkadengang mit Säulen. (siehe Abb. 1.2)

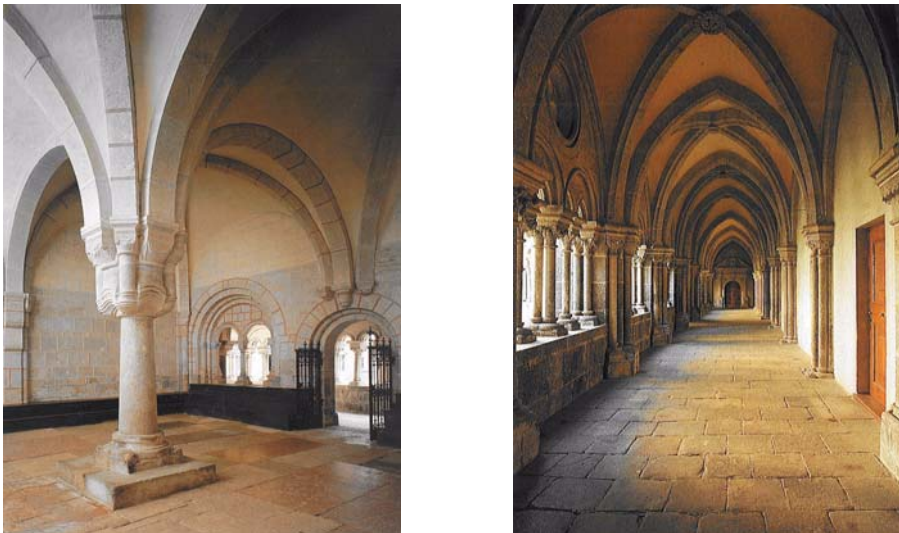


Abb. 1.1: Der Kapitelsaal (links) und der Kreuzgang von innen (rechts) ([40] S. 46-47)

Man vermutet, dass der erste Kreuzgang aus Holz gezimmert wurde. Der Gang stammt in seiner heutigen Gestalt somit nicht aus der ersten Bauaktivität, wie zum Beispiel der Kapitelsaal oder die ursprüngliche Kirche, sondern entsprang der zweiten Phase der Bautätigkeit. Eine genauere Betrachtung des Baustils lässt erkennen, dass es sich hierbei um eine Übergangsform vom spätromanischen zum frühgotischen Stil handelt (siehe Abb. 1.2).

Angefangen hat man mit dem Bau des Kreuzganges im Bereich der Kirche. Danach wurden die anderen Teile im Uhrzeigersinn nacheinander hinzugefügt. Daraus resultiert die Abfolge der unterschiedlichen Baustile. Während der Nordtrakt und Osttrakt noch die für den spätromanischen Baustil typischen Rundbögen besitzt, hat der Westtrakt schon die für den frühgotischen Baustil charakteristischen Spitzbögen. Der Südtrakt besitzt eine Mischform dieser beiden Stile. (siehe Abb. 1.2)



Abb. 1.2: Der Kreuzgang und seine unterschiedlichen Baustile [12]

Die Stiftskirche

Die Stiftskirche wurde 1159 zum ersten Mal geweiht und im Laufe ihres Bestehens mehrmals um- und ausgebaut.

Über den anfänglich romanischen Baustil und das damalige Aussehen des Stiftes hat man heute leider nur sehr wenige Informationen. In der Mitte des 14. Jahrhunderts wurde sie bereits wieder

abgerissen und im gotischen Stil neu errichtet. Diese Neuerrichtung wurde von der im Kapitel 1.2 bereits angesprochenen Pestepidemie unterbrochen, konnte aber anschließend fertiggestellt werden. 1472 kam es zum Einfall der Hussiten, welche die Kirche innen und außen stark beschädigten. So ist von der mittelalterlichen Kirchengestaltung nichts erhalten geblieben und auch der Außenbereich wurde nur in reduzierter Form wiederhergestellt. 1722-1727 erfolgte die Barockisierung der Kirche. Dabei erhielt sie die heutige Turmfassade aus Granit und eine komplett neue Innenausstattung. In den letzten Jahren wurde das Kirchendach wiederum erneuert. (siehe Abb. 1.3)



Abb. 1.3: Die Kirche des Stiftes Zwettl: links Westansicht, rechts Südostansicht [44]

Der Abteihof

Mit der Zeit veränderte sich die Nutzung der Gebäude dahingehend, dass die weltlichen Belange von den geistlichen getrennt wurden. Das Verwaltungsgebäude, das Gästehaus und die Werkstätten wurden nun um den Abteihof situiert und waren der Öffentlichkeit zugänglich. Die heutige Gestalt des geschlossenen Abteihofes entstand erst im 17. Jahrhundert, indem der damalige Abt die unregelmäßige Anordnung der Gebäude durch ein weiteres Geviert ersetzte. Dies geschah im Zuge der Barockisierung des Klosters. Vom Refektorium und der Bibliothek war die Öffentlichkeit ausgeschlossen und man konnte diese nur über die Klosterpforte erreichen. Auf diese Weise wurde das klösterliche Leben nicht gestört. Die Prälatur befindet sich zwischen den beiden Höfen, denn es war die Aufgabe des Prälaten sich um die Gäste des Stiftes zu kümmern. Es war üblich, dass er nicht mit den Patres, sondern mit den Gästen in einem eigenen Speisesaal dinierte.

Der Bibliothekssaal

Der Bibliothekssaal stammt aus den Dreißigerjahren des 18. Jahrhunderts und wurde nach der Errichtung der Turmfassade und des neuen Abteihofes im Zuge der Barockisierung errichtet. Die Decke besteht aus fünf Gewölben (siehe Kap. 5.1.14, Abb. 1.4).



Abb. 1.4: Bibliothek Stift Zwettl [44]

2 Eigenschaften des Holzes

In diesem Abschnitt werden Basisinformationen für die weiteren Kapitel zusammengefasst. Dies umfasst sowohl Informationen über das Holz allgemein als auch Messmethoden, welche in dieser Arbeit angewandt werden.

Holz ist einer der ältesten Werkstoffe und sehr vielseitig einsetzbar. Von den geschätzten 25000-30000 Holzarten, die es auf der Welt gibt, werden global circa 500 Holzarten gehandelt. (vgl. [10] S. 31) Jede dieser Holzart hat besondere Eigenschaften und das ist auch einer der Gründe für die vielseitige Einsetzbarkeit von Holz. Grob kann man zwischen Nadelbäumen und Laubbäumen unterscheiden. Die Produktpalette reicht von Schaffung feinsten Musikinstrumente bis hin zu robusten Bauteilen im Bauwesen. Leider ist auch Holz gegen gewisse Umwelteinflüsse nicht resistent. Schädigungen können sowohl durch nichtbiologische (= mechanische Abnutzung, aggressive Chemikalien, UV-Strahlung ...), als auch durch biologische Einflüsse (= Pflanzen, Pilze, Mikroorganismen, Insekten ...) auftreten.

Anatomie des Holzes:

Grundsätzlich haben Bäume drei Organe:

- Wurzeln
- Sprossachse (Stamm, Äste und Zweige)
- Blätter bzw. Nadeln

Im Bauwesen wird hauptsächlich der Stamm verwendet. Den Stammquerschnitt kann man wie folgt einteilen:

- Markröhre
- Kern- und Splintholz
- Kambium
- Innenrinde
- Außenrinde

Der Grundbaustein des Holzes ist die Zelle, welche sich je nach Aufgabe in mehrere Zelltypen unterscheiden lässt. Die meisten Zellen werden als Fasern bezeichnet da sie eine längliche Form besitzen und sich in Richtung des Stammes erstrecken. Ausnahme bilden die sogenannten Holzstrahlen, welche eine radiale Richtung besitzen. Sie dienen der Querarmierung des Holzes, halten die Holzfasern gegen Ausknicken und sperren den axialen Schub benachbarter Holzstrahlen. Der Aufbau der Zelle bestimmt die Festigkeit beziehungsweise die Elastizität des Holzes. Sie besitzt insgesamt vier Schichten mit einer unterschiedlichen Anordnung von:

- **Lignin:** Aufnahme von Druckkräften verantwortlich, sprödes Verhalten.
- **Cellulose:** Aufnahme von Zugkräften verantwortlich, elastisches Verhalten.

Da der Baum durch Umwelteinflüsse (zum Beispiel: Schnee, Wind) und das Eigengewicht belastet wird, kommt es auf der einen Seite zu zugbelasteten Bereichen (zum Beispiel Astoberseite oder Luvseite des Stammes) und auf der anderen Seite zu druckbelasteten Bereichen (zum Beispiel: Astunterseite oder Leeseite des Stammes). Um genau diesen Belastungen entgegenzuwirken, erhöht der Baum in diesen Teilen den Celluloseanteil beziehungsweise den Ligninanteil. Holz ist ein anisotroper Werkstoff. Dies spiegelt sich in den unterschiedlichen Festigkeitskenngrößen längs beziehungsweise quer zur Faserrichtung wider. Die Festigkeiten und Steifigkeiten in Faserrichtung sind am größten, in axialer Richtung, abhängig von der Dichte und Größe der Holzstrahlen, deutlich geringer und in tangentialer Richtung am geringsten. (vgl. [10], [38], [36])

Die Rohdichte wird durch den Porenanteil bestimmt. Je dichter der Holzwerkstoff ist, desto tragfähiger ist er.

Zwischen dem Holz und der Rinde befindet sich eine Schichte, die Kambium genannt wird. Sie ist nur wenige Zellen dick und ist für das Dickenwachstum des Baumes verantwortlich. Das Kambium scheidet Holzzellen nach innen und viel weniger Rindenzellen nach außen aus. Holz ist kein homogenes Material. Dies zeigen sehr anschaulich auch visuell erkennbar die Jahresringe, welche sich durch eine unterschiedliche Zelldichte auszeichnen. Die Jahresringe entstehen durch die unterschiedlichen Wachstumsphasen des Baumes. Im Frühjahr benötigt der Baum viel Wasser und Nährstoffe. In dieser Zeit wird das sogenannte Frühholz gebildet, welches sich durch weitlumige, dünnwandige Holzzellen auszeichnet. Hingegen werden gegen Ende der Vegetationszeit englumige, dickwandige Zellen produziert. Die Rinde hat eine Schutzfunktion gegen Austrocknung und mechanischen Einwirkungen für das Kambium und das Holz. Das Wachstum in die Höhe erfolgt in der Spitze des Baumes. (vgl. [10], [38], [36])

Eine weitere Unterteilung kann über die Funktionsverteilung im Stamm des lebendigen Baumes getroffen werden:

Splintholzarten (Birke, Erle, Bergahorn, Spitzahorn)

Reifholzarten (Fichte, Tanne, Buche, Birnbaum)

Kernholzarten (Eiche, Kiefer, Lärche, Föhre, Eibe, Weide)

Bei den Splintholzarten erfolgt der Wasser- beziehungsweise der Nährstofftransport über den gesamten Querschnitt. Reifholzbäume haben ihre Transportleitungen hauptsächlich in den äußeren Jahresringen. Prinzipiell besitzen weder Splintholzarten noch Reifholzarten, im Gegensatz zum Kernholz, eine farbliche Änderung innerhalb ihres Querschnittes. Diese Dunkelfärbung des Kernholzes erfolgt durch das Absterben der Speicherzellen und Einlagerungen von Harzen und Gerbstoffen. Somit ist das Kernholz für den Stoffwechsel des Baumes ohne Bedeutung und besitzt auch einen geringeren Wassergehalt. Es ändern sich im Bereich des Kernholzes auch die physikalischen und mechanischen Eigenschaften, so ist die Rohdichte und Festigkeit deutlich höher und das Quell- und Schwindverhalten weniger stark ausgeprägt als im Splintholz. (vgl. [10], [38])

Holzfeuchte

Die Holzfeuchte hat Einfluss auf die physikalischen, mechanischen und technologischen Eigenschaften des Holzes. Eine bestimmte Holzfeuchte schafft sowohl für pflanzliche als auch für tierische Holzschädlinge die notwendige Lebensgrundlage. Daher ist eine geringe Holzfeuchte schon ein gewisser Holzschutz.

Die Holzfeuchte wird mit der Formel $u = \frac{m_u - m_o}{m_o} \cdot 100 \%$ berechnet.

Es ist daher auch möglich, dass es eine Holzfeuchte $> 100 \%$ gibt.

Arten der Holzfeuchtenbestimmung:

- direkte Feuchtebestimmung: Darrmethode, Destillationsverfahren, Extraktionsverfahren
- indirekte Feuchtebestimmung: elektrischer Widerstand

Darrmethode

Eine sehr exakte Messmethode ist die sogenannte Darrmethode. Dafür wird eine Holzprobe entnommen, sofort gewogen, anschließend getrocknet und nochmal gewogen. Über die Gewichts-differenz kann man mit der oben angeführten Formel auf die Holzfeuchte rückgeschlossen wer-

den. Diesem Vorteil der exakten Messung steht aber dem Nachteil das zerstören der Messprobe gegenüber. Da es beim Denkmalschutz darum geht den Bestand weitestgehend zu erhalten, ist der Erhalt der Konstruktion wichtiger als die genaue Bestimmung der Holzfeuchte.

Die Darmmethode wurde in dieser Arbeit zur Bestimmung der Holzart der im Stift verwendeten Holznägel verwendet.

Elektrische Widerstandsmessung

Die indirekte Feuchtebestimmung verändert im Gegensatz zur direkten Feuchtebestimmung den Feuchtegehalt des Holzes nicht. Die meistverwendete indirekte Feuchtebestimmung basiert auf der Messung des elektrischen Widerstandes, welcher bei einer geringeren Holzfeuchte größer ist als bei einer höheren Holzfeuchte. Der elektrische Widerstand ist jener, den das Holz dem Durchgang des elektrischen Stromes entgegensetzt. Der Vorteil bei dieser Meßmethode ist, dass man Messungen durchführen kann, ohne dabei den Bauteil zu zerstören. Daher ist die indirekte Messmethode über den elektrischen Widerstand bei hochbeanspruchten Bauteilen und denkmalgeschützten Bauwerken zu bevorzugen. Die elektrische Widerstandsmessung kann direkt vor Ort durchgeführt werden, stößt aber an Grenzen, wenn das Holz mit salzhaltigen Holzschutzmitteln versetzt ist.

Dichte

Um die Dichte bestimmen zu können, benötigt man zwei Messungen, nämlich eine Massenbestimmung und eine Volumsbestimmung. Je nach Ausgangsstoff bei den Messungen kann man zwischen mehreren Dichten unterscheiden:

Rohdichte:

$$\rho_u = \frac{m_u}{V_u}$$

Dabei ist m_u die Masse inklusive des Wassers im Holz und v_u das Volumen inklusive des Porenraums. Da das Holz ein quellfähiges Material ist und somit Wasser aufnehmen kann, ändert sich somit mit der Wasseraufnahme auch die Rohdichte. Die Rohdichte ist also abhängig von dem Holzfeuchtegehalt, der Holzart und dem Standort des Baumes.

Darrdichte: Die Darrdichte ist die Dichte bei einer Holzfeuchte von Null und ist somit konstant.

Normalrohndichte: Ist die Dichte gemessen bei 20° C und 65 % Luftfeuchtigkeit.

Reindichte: Ist die Dichte mit einer darrtrockenen Masse und dem Volumen ohne Poren. Sie ist für alle Holzarten circa gleich und beträgt 1500 kg/m³. (vgl. [36], S. A3/23)

3 Grundlagen historischer Holzkonstruktionen

Die Baukunst des Zimmermanns ist über Jahrhunderte gewachsen und beruht auf Probieren, Erfahrung und Überlieferung. Da es sich um empirisch erworbenes Wissen handelt, gab es keinerlei Nachweise der Standsicherheit, Tragsicherheit oder Gebrauchstauglichkeit. Daher ist die Nachvollziehbarkeit der historischen Tragstruktur für den sehr analytisch denkenden Bauingenieur oft schwer. Zimmermannsmäßige Holzkonstruktionen besitzen oft einen schwer nachvollziehbaren Kräftefluss. (vgl. [18] S. 23)

3.1 Historische Dachstühle

Bauteile in Dachstühlen sind stabförmige Elemente. Um diese leichter miteinander verbinden zu können, werden die runden Baumstämme zuerst bearbeitet und begradigt.

Das Bauholz in historischen Dachstühlen wurde aufgrund der fehlenden Technologie nicht gesägt, sondern bis circa 1870 vorwiegend händisch behauen.

Um aus einem runden Baumstamm einen geradkantigen Balken zu machen, musste dieser zuerst entastet und anschließend „beschlagen“ werden. Zuerst wurde der Stamm auf Zimmer- oder Hauböcken aufgelegt. Anschließend wurde mit Schnurschlägen eine Richtungslinie aufgebracht. Diese diente zur Orientierung und als Markierung der herzustellenden Kanten, welche je nach Bauteil variieren konnten. In weiterer Folge wurden alle 60 cm große Kerben, bis 1 cm vor dieser Markierung herausgehauen und das dazwischenliegende Holz herausgehackt. Für diese grobe Bearbeitung verwendete man zuerst eine sogenannte Bandhacke (= Zimmermeisteraxt beziehungsweise Bundaxt). Der Keil der Bandhacke ist schmal und lang und besitzt eine kurze Schneide. Anschließend wird ein Breitbeil verwendet, um eine glatten Ebene zu schaffen. Das Breitbeil ist kürzer als die Bandhacke, hat aber eine lange Schneide, welche zum Stiel etwas versetzt und verdreht ist (siehe Abb. 3.2). Die Schnittführung mit der Bandhacke erfolgt oft entlang des Faserverlaufes. Aus diesem Grund besitzen Bauteile, wie zum Beispiel der Sparren, in historischen Dachstühlen eine starke Konizität. Ein Vorteil des Beschlagens entlang des Faserverlaufes ist, dass diese Vorgehensweise materialsparender ist, als wenn man parallele Seiten schafft und den Faserverlauf anschneidet. Gerade gehackte Bauteile in Dachstühlen findet man also nur in Gebäuden, welche von wohlhabenden Besitzern gebaut worden sind. Ein weiterer Vorteil von konisch belassenen Bauteilen ist, dass die Randfasern nicht angeschnitten werden und das Bauteil somit eine höhere Festigkeit aufweist. Prinzipiell wurden historische Bauteile von außen nach innen bearbeitet, was bedeutet dass sich die Markröhre mit großer Wahrscheinlichkeit im Zentrum des Bauteils befindet. Dies bedeutet weiters, dass sich das juvenile Holz (= Frühholz), welches eine geringere Festigkeit besitzt, stets im Inneren des Bauteils befindet. Dies hat den Vorteil, dass sich bei auf Biegung beanspruchten Bauteilen das festere adultes Holz an der stärker beanspruchten Randfaser befindet (vgl.[17] S. 227).



Abb. 3.1: Beschlagen der Kerben (links), Bearbeiten mit Axt (rechts)



Abb. 3.2: Bearbeiten mit Breitbeil (links), Breitbeil (rechts)

Durch das sehr zeitintensive Behauen der Querschnitte der Zimmermeister, kann man davon ausgehen, dass es zu einer gewissen Selektion des Bauholzes kam. Die damalige Sortierung, welche rein auf der Erfahrung und Intuition der Zimmerleute beruhte, war keineswegs genormt oder geregelt.

3.2 Prinzip: Sparren-/Pfettendach

Dieses Kapitel wurde inhaltlich ident aus [17] entnommen.

3.2.1 Begriffsdefinition

Nach dem **statischen System** können die beiden Grundtypen wie folgt definiert werden:

Sparrendach (Gespärredach): Beim Sparrendach (siehe Abb. 3.5) handelt es sich um mehrfach hintereinander angeordnete Dreigelenkrahmen ohne beziehungsweise mit horizontal verschieblichen oder unverschieblichen weiteren Unterstüzungen der Sparren. Die Sparren nehmen also Biegemomente, Normalkräfte und Querkräfte auf. Der Horizontalschub (F_H) wird durch den als Zugband wirkenden Bundtram aufgenommen. Nicht jedes Sparrenpaar (Gespärre) erfordert einen Bundtram, häufig sind letztere nur in jedem dritten bis siebenten Gespärre angeordnet. Um die freie Spannweite der Sparren zu verringern, kann das Gespärre (wie bereits angesprochen) weitere Unterstüzungen – zum Beispiel durch einen Kehlbalken – erhalten. Dies führt zum Kehlbalkendach (siehe zum Beispiel Abb. 3.7).

Beim Sparrendach sind die Sparren wesentlicher Bestandteil der Konstruktion und nicht der Dachhaut. Für die Einleitung des Horizontalschubes in den Bundtram ist in der Regel ein Mindestmaß an Vorholzlänge (Verbindung mittels Versatz) und somit ein Aufschiebling erforderlich (siehe Abb. 3.3 und Abb. 3.4).

Pfettendach (Rofen-/Rafendach): Die Sparren des Pfettendachs (siehe Abb. 3.6) sind geneigte Biegeträger, welche ein oder mehrere Felder, mit oder ohne Auskragung überspannen und auf Pfetten aufgelagert sind. Daher nehmen die Sparren von Normalkräften aus der Schräglage und aus Windbeanspruchung (bei nicht abgestrebten Stühlen) abgesehen, nur Biegemomente und Querkräfte auf. Die Pfetten wiederum lagern entweder direkt auf Wänden oder auf Stuhlsäulen auf. Letztere können Bestandteil aufwendiger Stühle (zum Beispiel von Hängewerken) sein.

Konstruktiv sind beim Pfettendach die Sparren Bestandteil der Dachhaut.

(vgl. [4] S. 16–17, [7] S. 146–148, [13] S. 196–200, [14] S. 111–135, [16] S. 1–2, [18] S. 36–50, [32] S. 92–250, [33] S. 83–120, [34])

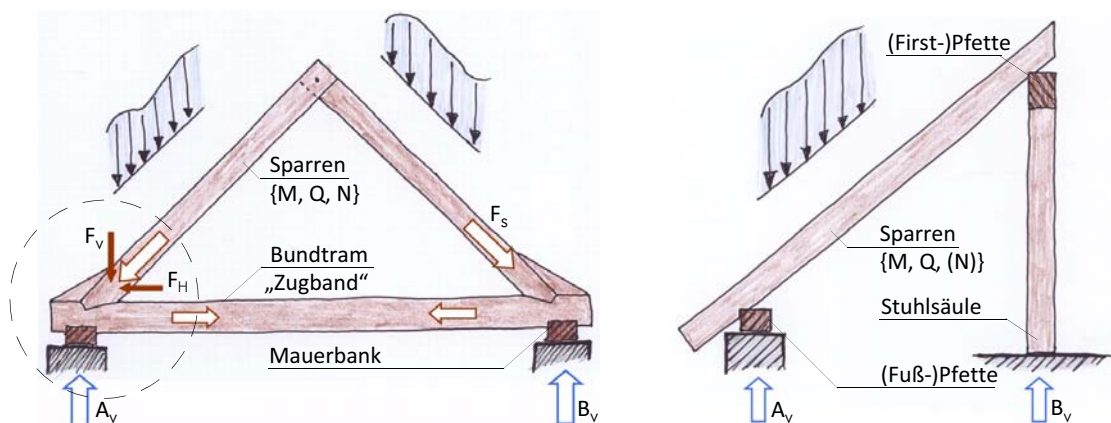


Abb. 3.3: Statische Wirkungsweise, Links: des Sparrendachs, Rechts: des Pfettendachs

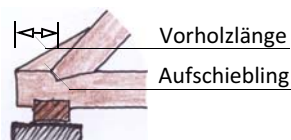


Abb. 3.4: Fußpunkt: einfaches Sparrendach

Darstellung der Grundsysteme

Zur Verdeutlichung des konstruktiven Aufbaues (beziehungsweise deren Unterschiede) und der wesentlichen Begriffe von Sparren- und Pfettendächern werden zuerst Skizzen der einfachsten Grundsysteme gezeigt.

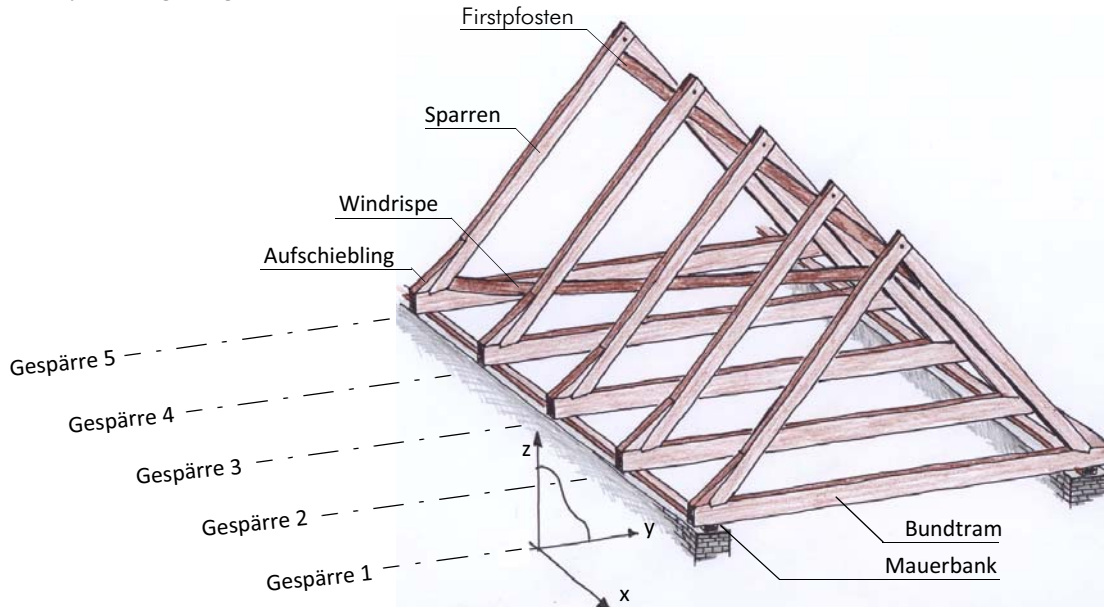


Abb. 3.5: Einfaches Sparrendach

Gegenüberstellung von Sparren- und Pfettendach

Diese Gegenüberstellung bezieht sich auf *einfache* Sparren-/Kehlbalken- und Pfettendächer und soll die wesentlichen Unterschiede sowie Vor- und Nachteile der beiden Tragsysteme erläutern.

Kriterien	Sparrendach
Dachneigung	Das Sparrendach ist erst ab rund 30° Neigung sinnvoll, da darunter der Horizontalschub überproportional stark anwächst. Die Konstruktion eignet sich auch gut für steile Dächer mit 60° Neigung und mehr.
Auflagerung	Die gesamte Lastabtragung erfolgt (weitgehend) gleichmäßig verteilt auf die Außenwände.
räumliche Aussteifung	Die Systemaussteifung erfolgt meist in der Dachebene mittels Windrispen.
Nutzungsmöglichkeiten	Die Nutzung des Dachraums ist nahezu uneingeschränkt möglich.
Dachdurchbrüche	Alle Durchbrüche, die die Auswechslung von Sparren erfordern, sind mit einem hohen konstruktiven Aufwand verbunden.
Grundrissgeometrie	Beim Sparrendach sind nur relativ einfache Grundrisse möglich.
Aufrissgeometrie	Das Sparrendach ist nur für nahezu symmetrische Dächer ohne ausgeprägten Kniestock sinnvoll.
Holzverbrauch	Einfache Sparren- und Kehlbalkendächer weisen einen geringeren Holzverbrauch als Pfettendächer auf.

Verbindungen

Für die Aufnahme des Horizontalschubes am Sparrenfußpunkt sind vergleichsweise aufwendige Verbindungen notwendig.

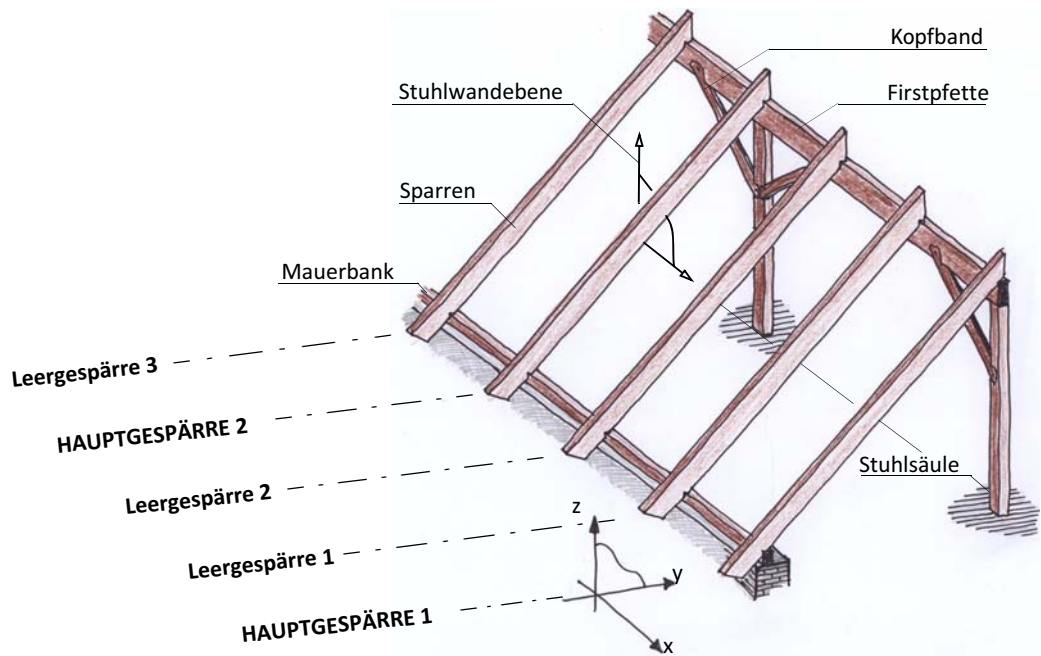


Abb. 3.6: Einfaches Pfettendach

Kriterien	Pfettendach
Dachneigung	Das Pfettendach ist besonders gut für flach geneigte Dächer geeignet. Die maximale Dachneigung beträgt rund 45° , da darüber die Ableitung der Windlasten sehr aufwendig wird.
Auflagerung	Aus den Stühlen werden hohe Einzellasten konzentriert in das darunterliegende Geschoß eingeleitet.
räumliche Aussteifung	Die Systemaussteifung erfolgt meist in der Stuhlwandebene in Form von Kopfbändern (Rahmensystem).
Nutzungsmöglichkeiten	Die Nutzung des Dachraums ist infolge von Stützen/Streben/Kopfbändern etc. eingeschränkt.
Dachdurchbrüche	Alle Sparren können nachträglich vergleichsweise problemlos ausgewechselt werden.
Grundrissgeometrie	Das Pfettendach ist auch für komplexe Grundrissgeometrien geeignet.
Aufrissgeometrie	Das Pfettendach lässt sich gut an komplizierte Dachgeometrien anpassen.
Holzverbrauch	Flachgeneigte Pfettendächer weisen einen geringeren Holzverbrauch als Sparrendächer auf.

(vgl. [14] S. 111–135, [16] S. 83–120, [41] S. 66–68)

Übersicht der Tragsysteme

Um die Zuordnung und Unterscheidung von Dachstühlen nach ihrem statischen System zu erleichtern, erscheint folgende – allgemeingültige – Einteilung (siehe Abb. 3.7) sinnvoll. Die gewählte Gliederung weicht teilweise stark von jenen in der Literatur gebräuchlichen (oftmals nur beispielhaften oder unvollständige Einteilungen) ab. In folgenden Literaturquellen erfolgt die Gliederung der Tragsysteme von Dächern ähnlich wie hier dargestellt: ([7] S. 148), ([14] S. 110–150), ([18] S. 24–26), ([33] S. 83, 90, 104)

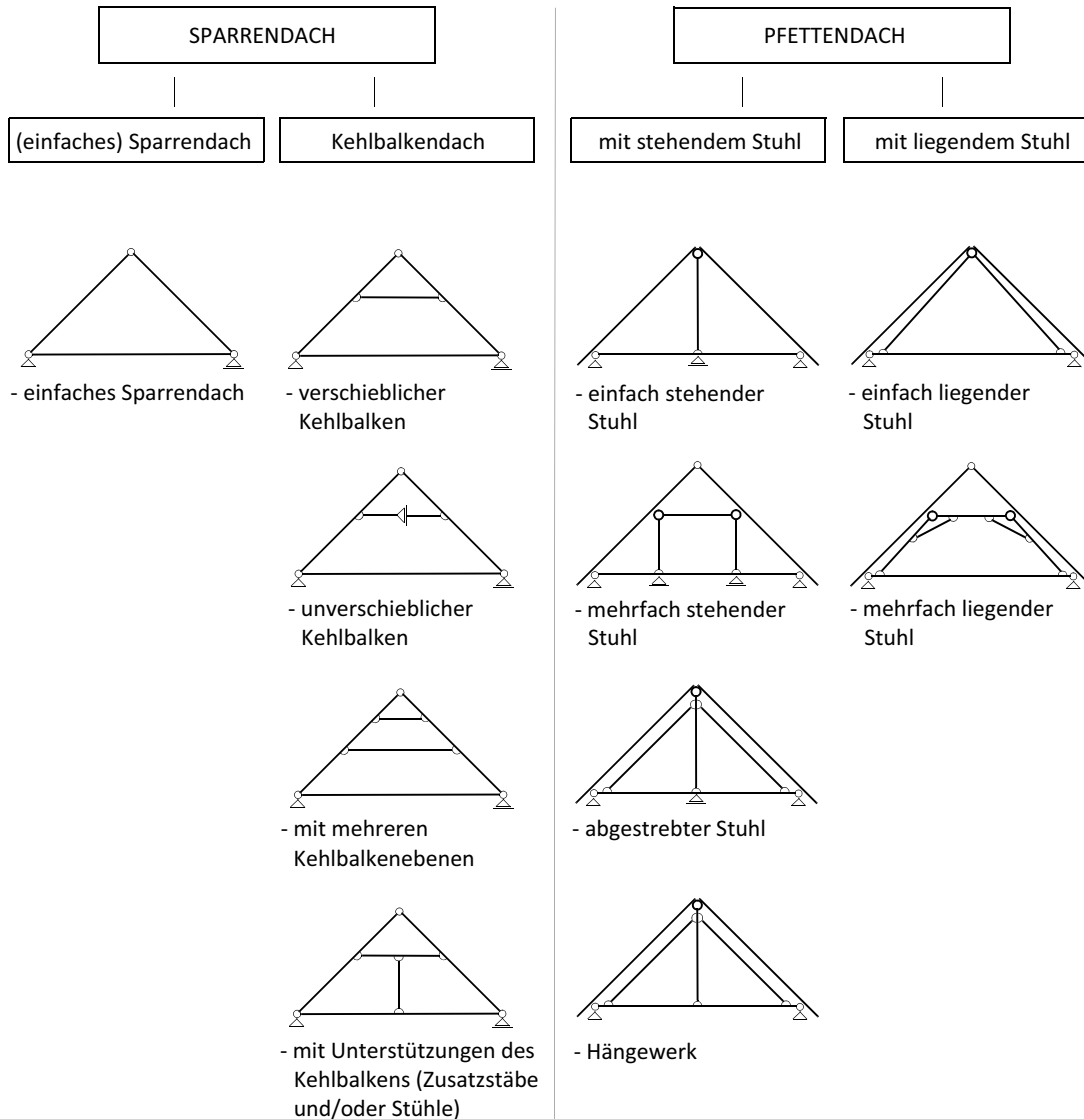


Abb. 3.7: Einteilung der Dachstühle nach dem statischen System

Die vorgeschlagene Systematik ist nach folgenden Kriterien aufgebaut:

Die Tragsysteme werden zuerst nach der Richtung und Art der wesentlichen auftretenden Kräfte unterschieden. Danach erfolgt die weitere Verfeinerung von einfachen hin zu komplexen Systemen. Jedes tatsächlich vorkommende Tragwerk lässt sich auf die Kombination und/oder Variation der abgebildeten Systeme zurückführen.

Anmerkung zur Bezeichnung von Hybridsystemen

Die Dachstühle der Gegenwart lassen sich relativ problemlos den oben erläuterten Grundsystemen zuordnen. Insbesondere bei einfachen Tragsystemen können keinerlei Zweifel über statische Wirkung und Bezeichnungsweise auftreten. Im Gegensatz dazu sind bei vielen historischen Dachstühlen kaum eindeutige statische Systeme erkennbar. Es handelt sich bei diesen Tragwerken häufig um statisch innerlich wie äußerlich mehrfach unbestimmte Systeme. Beispielsweise wurden ab dem 14. Jahrhundert die Kehlbalkenlagen von Kehlbalkendachstühlen durch zusätzliche Pfetten (häufig auch als „Rähme“ bezeichnet) unterstützt, die wiederum auf eigenen Stühlen aufliegen. Je nach Steifigkeitsverhältnis zwischen Pfette, Stuhl und Kehlbalkendach tragen die einzelnen Tragglieder in unterschiedlichem Maße zur Lastabtragung bei. Sind die unterstützenden Stühle und Pfetten vergleichsweise steif, so liegt ein „pfettendachartiges“ Tragverhalten vor (vgl. [4] S. 16), da die Sparren (nahezu) ausschließlich Biegemomente und Querkräfte aufnehmen. In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass immer dann die Bezeichnung Sparren-(beziehungsweise Kehlbalken-)dach zutrifft, wenn die Sparren nicht unmittelbar durch Pfetten unterstützt werden. Statisch gesehen liegen jedoch häufig Mischkonstruktionen („Hybridsysteme“) zwischen Sparren- und Pfettendach vor. (vgl. [4] S. 16–17, [18] S. 36–50, [33] S. 83–120)

Für die statische Berechnung ist bei Pfettendächern in erster Näherung die – rechnerische – Entkoppelung von Sparren („getragen“) und Stuhl („tragend“) möglich. Beim Sparrendach (ohne Stuhl) ist immer die gesamte Einheit zu betrachten. (vgl. [16] S. 1–2)

Einteilung nach der Dachneigung

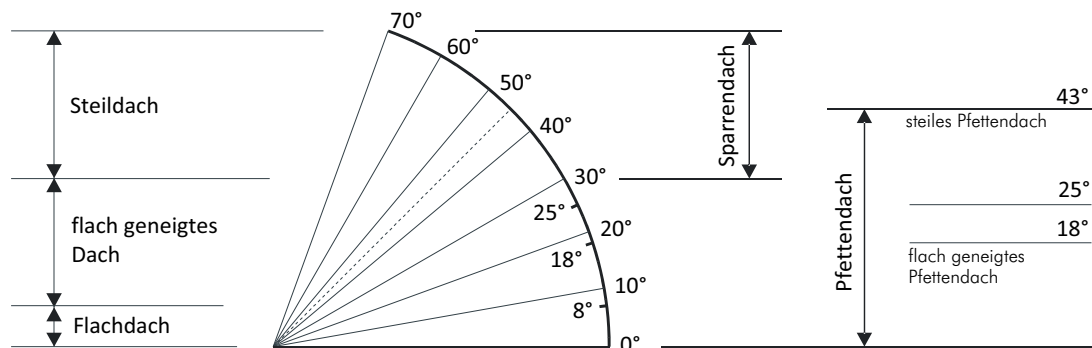


Abb. 3.8: Anhaltswerte für die Einordnung der Dächer nach der Dachneigung (vgl. [14] S. 108)

B Übersicht der Dachstühle

Dieser Teil der Arbeit befasst sich mit dem Ablauf und Inhalt der Zielanalyse, Bestandserfassung und der Schadensanalyse.

Die Zielanalyse beinhaltet eine allgemeine Definition und die konkrete Anwendung auf das Stift Zwettl. Die Bestandserfassung liefert eine Übersicht über die unterschiedlichen Dachstuhltypen des Hauptgebäudes inklusive der Querschnitts- und Abstandsabmessungen (siehe Kap. 5.1.1).

4 Ablauf einer Instandsetzung

Auslöser einer Instandsetzung können sein:

- die natürliche Alterung aller Baustoffe
- Schäden an der Bausubstanz (zum Beispiel: verursacht durch mangelnden Holzschutz)
- neue, sich auf die bestehende Bausubstanz auswirkende, wissenschaftliche Erkenntnisse (= rückwirkende Normänderung)
- Anmerkung: wenn sich die Nutzung ändert, wird dies in der Norm [20] als Modifikation bezeichnet.

Der allgemeine Ablauf einer Instandsetzung kann in folgende Stufen eingeteilt werden (vgl. [18] S. 12):

Stufe I	Zielanalyse
Stufe II	Bestandserfassung (= Bestandsanalyse)
Stufe III	Schadensanalyse
Stufe IV	Bauzustandsanalyse
Stufe V	Festlegung der baulichen Maßnahmen
Stufe VI	Instandsetzungsausführung
Stufe VII	Bestandserhaltung (Instandhaltung)

In den folgenden Kapiteln werden die oben angeführten Stufen teils mit neuen Erkenntnissen ergänzt, teils nur kurz behandelt oder vollständig vernachlässigt (vgl. [18] S. 12). Die „Zielanalyse“ wird in einem Unterkapitel behandelt. Der „Bestandserfassung“ (siehe Kap. 5), der „Schadensanalyse“ (siehe Kap. 6) und der „Bauzustandsanalyse“ wird jeweils ein ganzes Kapitel gewidmet. Die „Instandsetzungsausführung“, die „Festlegung der baulichen Maßnahmen“ und die „Erhaltung“ werden in dieser Arbeit nicht behandelt. Für weitere Informationen zu diesen Bereichen siehe zum Beispiel [1], [8], [10], [17], [18], [38].

4.1 Zielanalyse (Stufe I)

Ein Ziel ist ein definierter und angestrebter Endpunkt eines Prozesses, wie in diesem Fall die Instandsetzung (vgl. [42] Ziel).

Die Ziele sind für jedes Bauobjekt individuell, unter dem Einbeziehen der Wünsche und Vorstellungen des Bauherrens, festzulegen. Oft ändern sich mit dem Entschluss zu einer Instandsetzung die Nutzung (zum Beispiel: Dachbodenausbau) und die Nutzungsansprüche (zum Beispiel: bessere Wärmedämmung), was bei der Lastaufstellung berücksichtigt werden muss. Die zusätzlichen Lasten können eine entscheidende Rolle in den Tragsicherheitsnachweisen beziehungsweise in den Gebrauchstauglichkeitsnachweisen spielen.

Durch das Stift wurde festgelegt, dass der Dachraum künftig keinem anderen Nutzungszweck unterliegt, sondern weiterhin nur für Wartungszwecke begehbar sein soll.

Die Bestimmung des Sollzustandes, welcher im Rahmen der Zielanalyse erfolgt, war zuerst nicht direkt auf den Dachraum bezogen. Auslöser der generellen Überprüfung des Dachstuhls des

Hauptgebäudes des Stiftes (siehe Abb. 5.1) war eine Rissbildung im Gewölbe über dem Festsaal (siehe Abb. 4.1). Durch die Untersuchung eines Ziviltechnikers konnte festgestellt werden, dass die Risse nicht auf eine Setzung des Bauwerkuntergrundes zurückzuführen waren, sondern, dass die Ursache in einem schadhafte Bereich des Dachstuhl liegen könnte (vgl. [43]). Um weitere schadhafte Stellen zu lokalisieren und zu erfassen, wurde der gesamte Dachraum visuell untersucht und bewertet. Dies diente zur Einschätzung des aktuellen Zustandes und als Grundlage für mögliche vorbeugende Maßnahmen, um weiterer Risse zu vermeiden. Schadhafte Stellen in der Dachkonstruktion und die in der Regel damit verbundenen Lastumlagerungen sind häufig die Ursache von Rissen im darunterliegenden Mauerwerk.



Abb. 4.1: Rissbildung im Gewölbe des Festsaals

5 Bestandserfassung (Stufe II)

Die Bestandserfassung (= Bestandsanalyse) umfasst die Dokumentation des Bauwerks oder eines Bauwerkteils. Die Erfassung kann in die Bestandsaufnahme (aufnehmen der Systemabmessungen, abmessen der Querschnitte, dokumentieren der Verbindung etc.) und in die Bestandsuntersuchung (recherchieren der Baugeschichte, erkennen des statischen Systems, seiner Materialien und deren Kennwerte etc.) unterteilt werden.

Im Fall des Stiftes Zwettl bezog sich die Bestandserfassung auf den Dachstuhl. Im Rahmen der Bauaufnahme wurden Aufmaßpläne des Tragwerks und Detailpläne der Verbindungen, sowie eine Fotodokumentation erstellt. Weiters mussten Informationen für die Qualitätseinschätzung der verwendeten Bauteile gesammelt werden, um in weiterer Folge die Festlegung der Materialfestigkeitsklasse zu ermöglichen.

5.1 Die Dachstuhltypen im Stift Zwettl

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurden, um die Auswahl eines geeigneten Dachstuhltyps für die Modellbildung (siehe Kap. 9) zu erleichtern, Übersichtspläne aller Dachstühle des Hauptgebäudes (siehe Abb. 5.1) erstellt. In diesem Kapitel werden alle Tragwerke kurz erläutert und markante Besonderheiten mit Bildern angeführt. Die Abstands- und Querschnittsangaben wurden repräsentativ für den ganzen Bereich von *einem* Hauptgespärre aufgenommen. Die Genauigkeit der Aufnahme liegt im Dezimeterbereich. Der erste Wert der Querschnittsangaben in den Skizzen ist die Breite, der zweite Wert die Höhe. Die Breiten in einem Gespärre stehen immer normal zur Gespärreebene, die Höhen sind Abmessungen in der Gespärreebene.

Die im Grundriss eingezeichneten Distanzen beziehen sich auf den Abstand zwischen den Gespärreinnenkanten beziehungsweise der Wand und der Gespärrekante. Für die Abstände der Systemachsen der Gespärre müssen somit die Bauteildicken noch berücksichtigt werden. Weiters besitzen die Pläne keinen einheitlichen Maßstab.

In vielen Bereichen befinden sich nachträglich hinzugefügte, nicht fachgemäße Ergänzungen, auf welche in der folgenden Aufzählung nicht näher eingegangen wird.

Die verwendeten Abkürzungen in den Systemabbildungen sind der Tab. 5.1 zu entnehmen. Da in der Fachliteratur (vgl. [1], [8], [17], [18]) keine einheitliche Verwendung von Bauteilbezeichnungen vorliegt, werden hier auch alternative Bezeichnungen angeführt (siehe Tab. 5.1).

Abkürzung	Bezeichnung	Alternative Bezeichnungen (vgl. [1], [8], [17], [18])		
BR	Brustriegel			
BT	Bundtram	Bundbalken	Binderbalken	Dachbalken
DR	Druckriegel	Spannriegel	Sprengriegel	Binderriegel
FS	Fußschwelle	Schwelle		
HB	Hahnenbalken			
HG	Hauptgespärre	Vollgespärre	Bundgespärre	
HW	Hängewerk			
KB	Kehlbalken	Riegelbalken	Kehlriegel	
KPFB	Kopfband	Kopfbug	Bug	Winkelband
LG	Leergespärre	Leergebinde	Nebengespärre	Feldgespärre
MB	Mauerbank	Mauerlatte	Mauerschwelle	Mauersohle

Tab. 5.1: Verwendete Abkürzungen und alternative Bezeichnungen von Bauteilen

PF	Pfette			
RÄ	Rähm	Stuhlrähm	Längsunterzug	
SP	Sparren	Rafen	Rofen	
SS	Stuhlsäule	Bundstreben (lieg.)	Stuhlstreben	
SSK	Stuhlsäulenknecht			
WB	Wechselbalken			

Tab. 5.1: Verwendete Abkürzungen und alternative Bezeichnungen von Bauteilen

5.1.1 Übersichtsplan über das Hauptgebäude

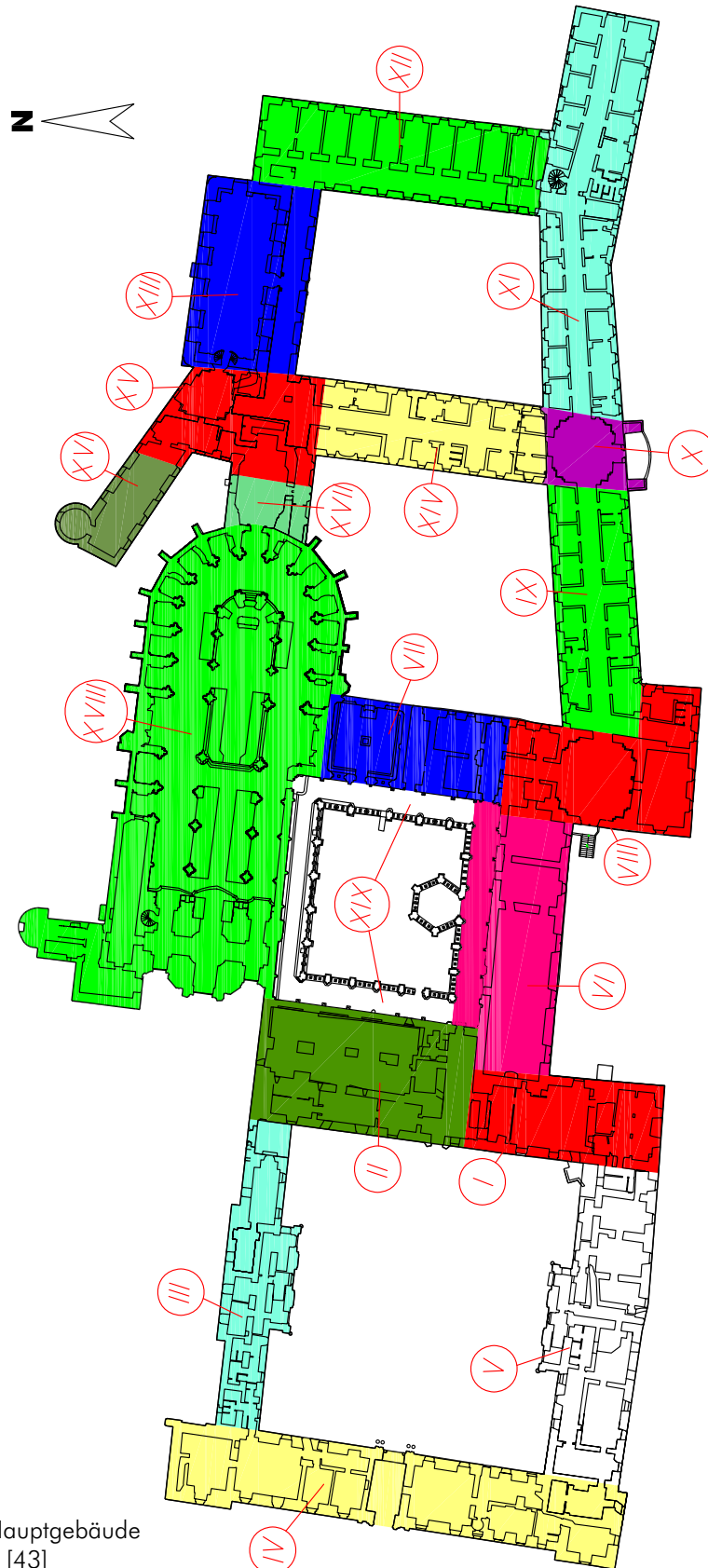


Abb. 5.1: Grundriss Hauptgebäude
Stift Zwettl [43]

M=1:1100

5.1.2 Bereich I (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

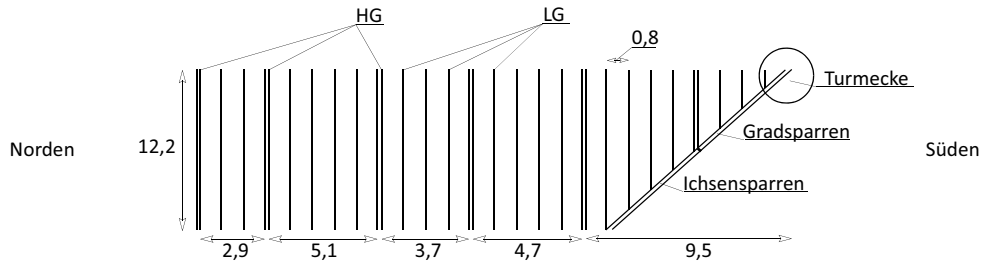


Abb. 5.2: Grundriss

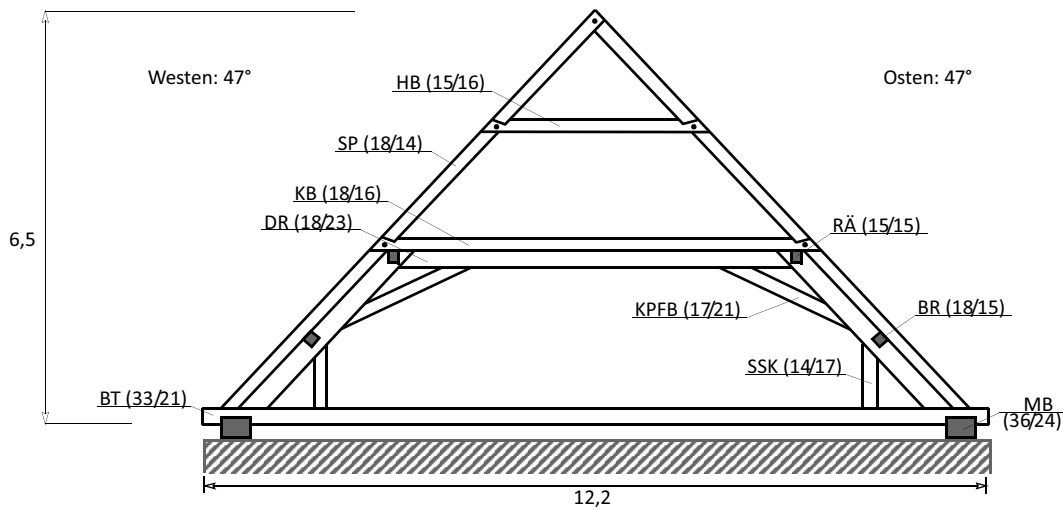


Abb. 5.3: Aufriss: Hauptgespärre

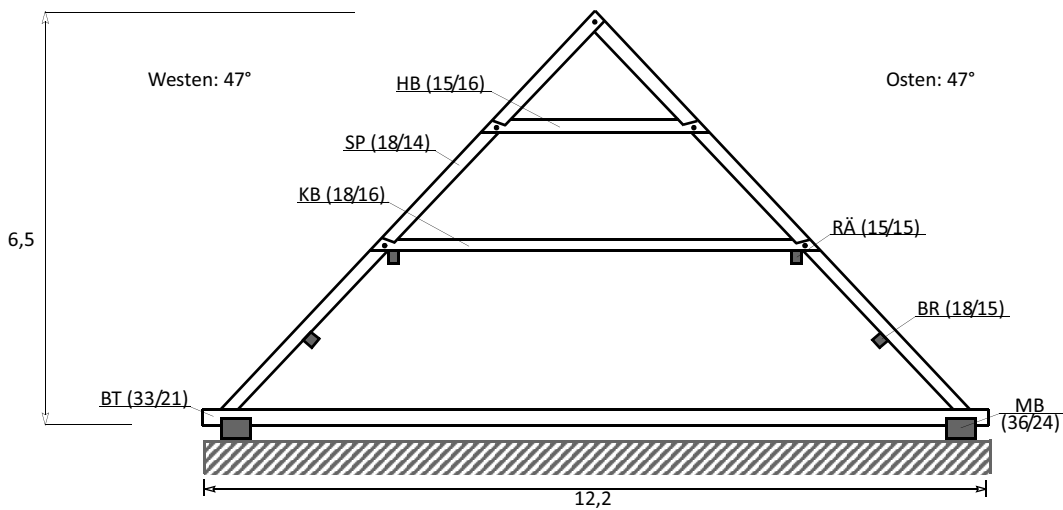


Abb. 5.4: Aufriss: Leergespärre

Beschreibung:

Der Bereich I befindet sich über dem Festsaal, in welchem die zuvor angesprochene Rissbildung aufgetreten ist (siehe Abb. 4.1).

Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach mit Hahnenbalken und zweifach liegendem Stuhl mit Stuhlsäulenknechten**, bezeichnet werden (siehe Abb. 5.3). Viele Leergespärre dieses Bereiches besitzen keinen Bundtram, sondern einen Stichbalken, der in einem Wechselbalken endet. Dies ist einerseits geometrisch (Verschneidungsbereich) bedingt, andererseits könnte der Grund in einer Gewichtsreduktion und Entlastung, für die zum Teil nur *punktuell* aufliegende Mauerbank, liegen. Weiters sind im Bereich des Gradstuhls keine Stuhlsäulenknechte vorhanden.

Die Rissbildung (siehe Abb. 5.5) kann auf einen morschen Stuhlsäulenfuß des Gradstuhls, welcher sich in der südöstlichen Ecke befindet und auf eine morsche Mauerbank, welche sich im Süden des Bereiches befindet, zurückgeführt werden. Die Ursache des Schadens an der Mauerbank ist auf die undichte Dachhaut zurückzuführen. Dies ist besonders im Winter anhand des eindringenden Schnees ersichtlich (siehe Abb. 5.5 rechts). Die Kräfte der nicht mehr tragfähigen, Stuhlsäule und der beschädigten Mauerbank wurden in Folge des Schadens in das angrenzende Mauerwerk, des Eckturms, umgelagert. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich dieser Riss bis in den Festsaal fortsetzt (siehe Abb. 4.1). Weiters wurde festgestellt, dass die Zapfenverbindung zwischen Stichbalken und Wechselbalken keine Zugsicherung (Holznagel), aufweist (siehe Abb. 5.6).

Alte unfachgemäße Instandsetzungsmaßnahmen werden zum Beispiel durch eine ausgeknickte Zugstange sichtbar, welche zwischen dem Kehlbalken bzw. dem Druckriegel eines Hauptgespärres und dem Bundtram eingebaut wurde. Die Ausknickung lässt sich mit der Absenkung eines Teiles des Daches erklären, welche durch das Versagen des Stuhlsäulenfußes entstanden ist. Diese Senkung ist von außen deutlich sichtbar (siehe Abb. 5.7).

In weiterer Folge wurde der Druckriegel dieses Gespärres von zwei Stützen unterstellt, welche auf zwei verzahnten Balken stehen (siehe Abb. 5.8). Diese Balken verteilen die punktuelle Stützenlast auf mehrere Bundträme.

Um eine weitere Ausbreitung des Schadens zu verhindern, wurde bereits die Umsetzung eines Instandsetzungsplans in Auftrag gegeben, auf welchen hier nicht eingegangen wird.



Abb. 5.5: Rissbildung im südöstlichen Turm (siehe Abb. 5.2) (links), vermorschte Mauerbank (rechts)

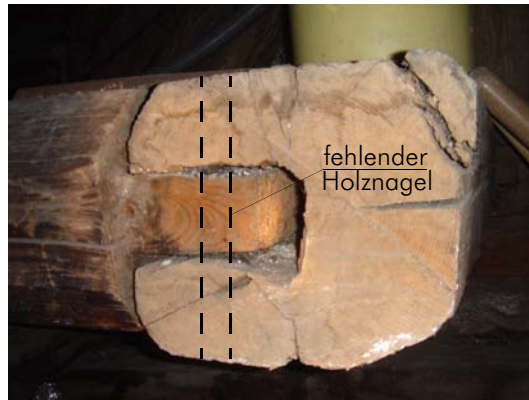
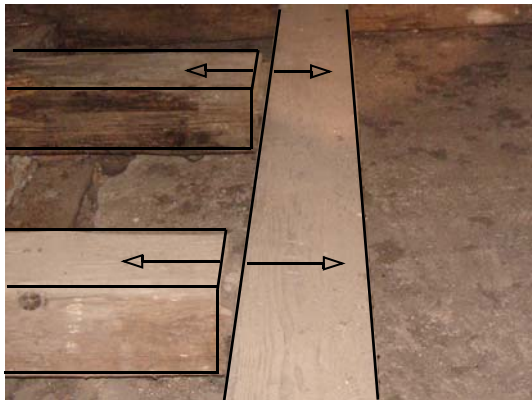


Abb. 5.6: Fehlende Zugsicherung (links), Zapfenverbindung ohne Holznagel (rechts)



Abb. 5.7: Absenkung des Firstes



Abb. 5.8: Verzahrter Balken

5.1.3 Bereich II (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

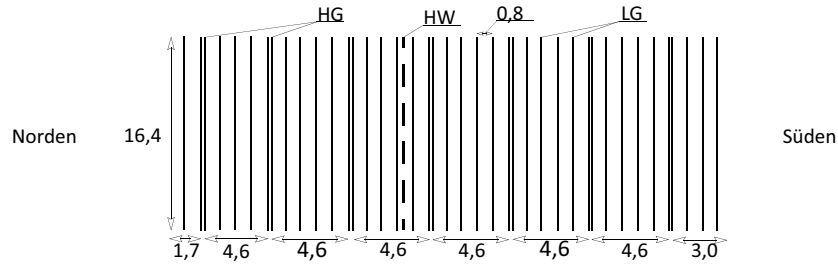


Abb. 5.9: Grundriss

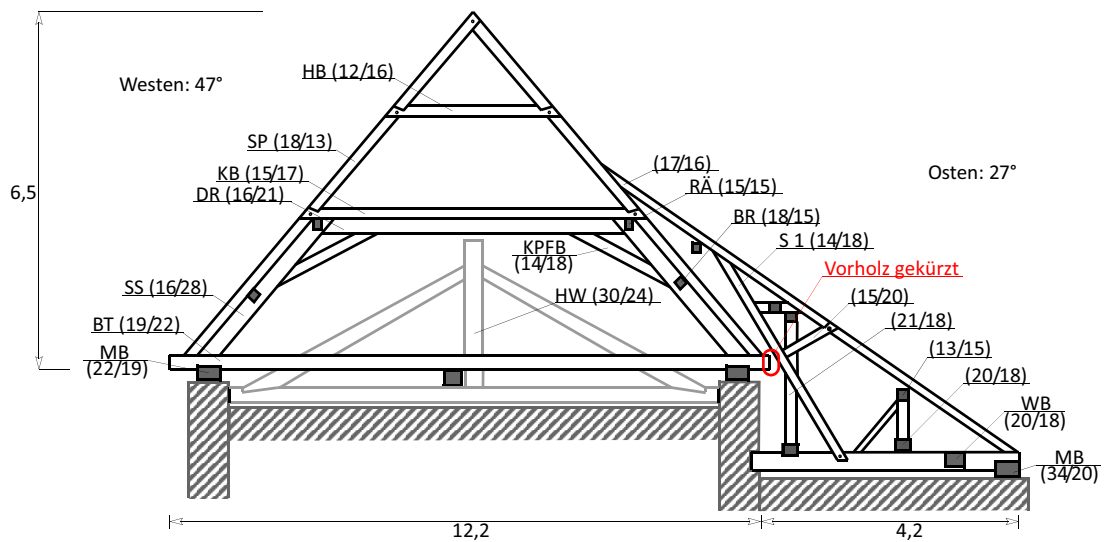


Abb. 5.10: Aufriß: Hauptgespärre

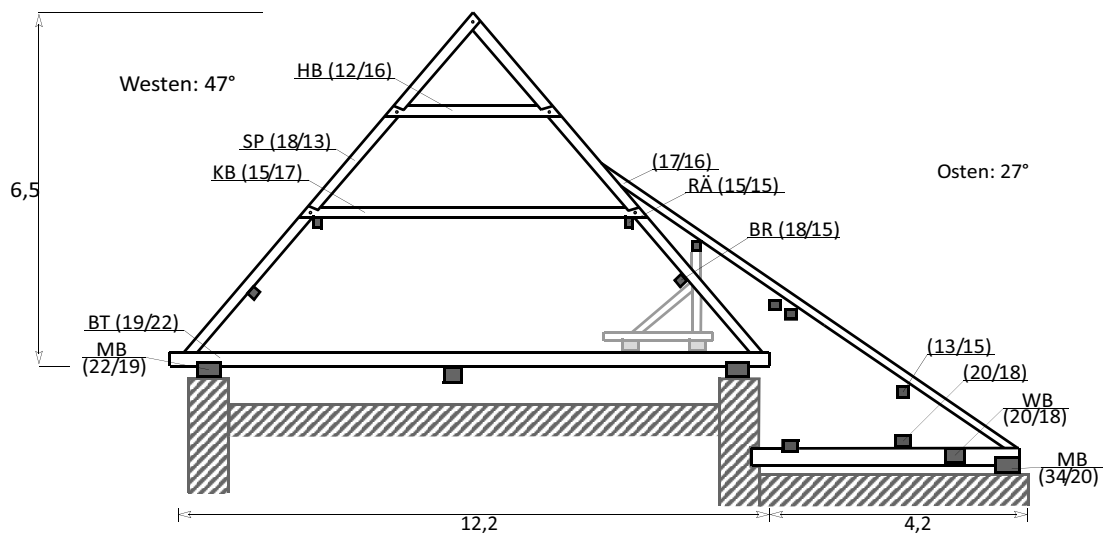


Abb. 5.11: Aufriß: Leergespärre

Beschreibung:

Der Bereich II befindet sich im selben Gebäudetrakt wie der Bereich I. Er liegt über der sogenannten „Prälatur“. Diese ist der Amtssitz des Prälaten, also des Abtes des Stifts.

Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach mit Hahnenbalken und zweifach liegendem Stuhl, mit zusätzlichem Schleppdach** bezeichnet werden (siehe Abb. 5.10). Eine Besonderheit dieses Bereiches ist ein circa in der Mitte des Trakts stehendes einfaches Hängewerk (siehe Abb. 5.9, Abb. 5.10 und Abb. 5.12). Die Verbindung der Druckstreben des Hängewerks mit dem Zugband erfolgt durch einen einfachen Versatz (siehe Abb. 5.13 links). Dieses Hängewerk unterstützt einen zur Mauerbank parallel verlaufenden Unterzug, welcher mittig durch den ganzen Trakt verläuft und mehrmals aufgelagert wurde. Dieser dient dazu, die Bundträme zu unterstützen und ihre Durchbiegungen zu verringern.

Der Dachstuhl besitzt ebenfalls schadhafte Stellen, welche aber eine geringere Ausbreitungstendenz (vgl. Kap. 6) besitzen als jene im Bereich I. Eine dieser Schadstellen betrifft den Bundtram-Sparrenanschluss, welcher eine Stirnversatzzapfenverbindung ist. Dieser befindet sich an der Ostseite des höhergelegenen Teils. Um im Zuge der Errichtung des Schleppdaches die Strebe S1 (siehe Abb. 5.10) einzubauen, musste die Vorholzlänge der Stirnversatzzapfen entweder im Nachhinein gekürzt, oder verkürzt eingebaut werden. Durch diese nicht mehr fachgerechte Verbindung kam es bei vielen Bundträmen zum Querszugversagen des verbleibenden Vorholzes (siehe Abb. 5.10 rot und Abb. 5.13 rechts).



Abb. 5.12: Hängewerk



Abb. 5.13: Versatz im Hängewerk (links), Querszugversagen des zu geringen Vorholzes (rechts)

5.1.4 Bereich III (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung

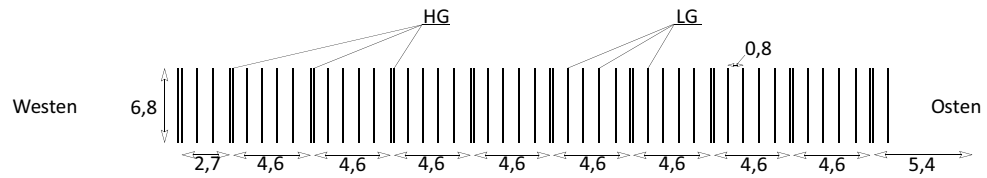


Abb. 5.14: Grundriss

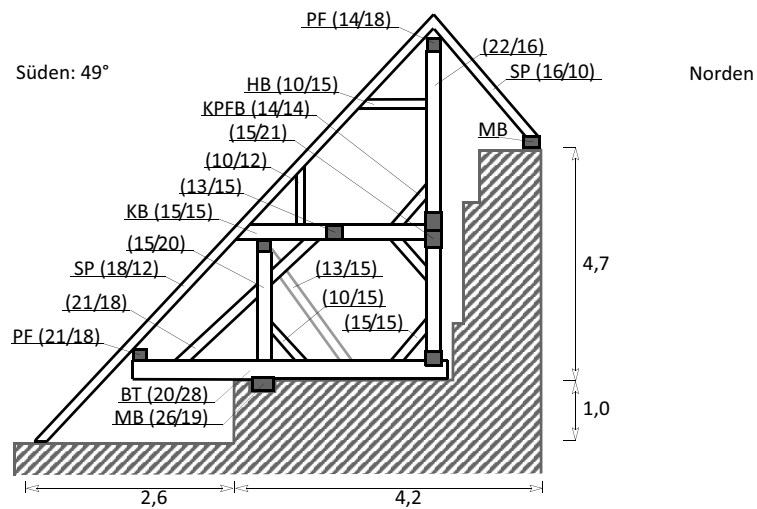


Abb. 5.15: Aufriss: Hauptgespärre

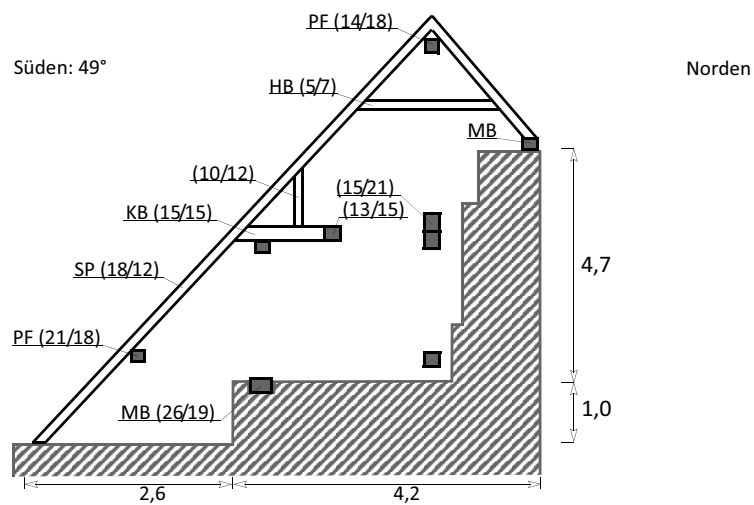


Abb. 5.16: Aufriss: Leergespärre

Beschreibung:

Der Bereich III befindet sich über dem Konvikt, welches im Stift Zwettl die Unterkünfte und Einrichtungen der Zwettler Chorknaben beherbergt.

Das Tragwerk kann als **unsymmetrisches, unregelmäßiges Pfettendach** bezeichnet werden (siehe Abb. 5.15). Auf der Nordseite befindet sich eine hochgezogene Außenmauer, welche ungleiche Traufhöhen verursacht. Pfettendächer lassen sich prinzipiell besser auf komplexe Grundrissgeometrien anpassen, was in diesem Bereich notwendig ist (vgl. [17] S. 25). Weiters befinden sich die Sparrenfüße nicht auf derselben Höhe und deshalb kann es keinen Bundtram geben, welcher als Zugband wirken könnte. Erkennbar ist das Pfettendach weiters an der Firstpfette mit der dazugehörenden Stuhlsäule. Diese Firstpfette ist die einzige in der Dachlandschaft des Stiftes. Außerdem befindet sich die räumliche Systemaussteifung in der Stuhlwandebene und nicht in der Dachebene, was auch ein Hinweis auf das Tragsystem eines Pfettendachs ist. Indizien dafür, dass es sich hierbei nicht um ein reines Pfettendach handelt, sondern auch Elemente eines Sparrendaches aufweist, findet man in der Konstruktionsart des Anschlusses der einseitig stehenden Stühle an die Sparren. Die Sparren sind mit dem Kehlbalken verbunden, und erst dieser ist von dem Rähm unterstellt (siehe Abb. 5.18). Beim Konstruieren eines Pfettendaches wären die Sparren direkt von dem Rähm unterstellt worden. Einen weiteren Hinweis auf die Tragwirkung eines Sparrendaches liefern die Hahnenbalken, welche im Pfettendach nicht vorkommen.

Schadstellen wurden keine festgestellt, können aber nicht ausgeschlossen werden.



Abb. 5.17: Dachraum allgemein



Abb. 5.18: Firstbereich (links, Mitte), Sparren/Kehlbalken/Rähm (rechts)

5.1.5 Bereich IV (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

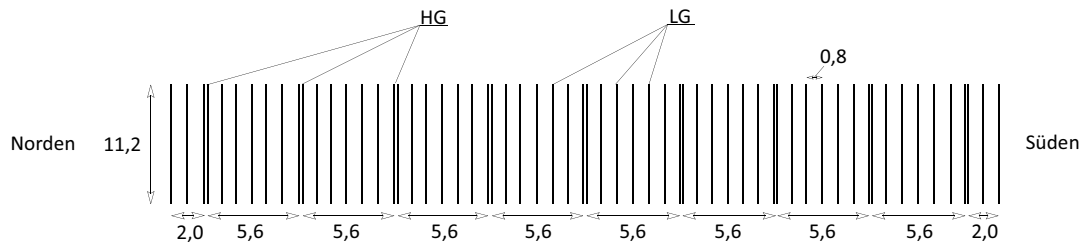


Abb. 5.19: Grundriss

Beschreibung:

Der Bereich IV befindet sich über dem Klosterladen und weist denselben Dachstuhltyp auf wie der Bereich I (siehe Kap. 5.1.2). Die einzigen Unterschiede bestehen darin, dass sich unter den Bundträmen keine ebene Decke, sondern ein Gewölbe befindet und dass die Breite des Bereiches geringer ist. Durch die große Ähnlichkeit der Tragwerke wird auf eine Systemskizze verzichtet und auf den Bereich I (siehe Abb. 5.3) verwiesen.

In diesem Bereich wurden bei vielen Sparren unfachgemäße Längsverbindungen vorgefunden (siehe Abb. 5.20). Es handelt sich dabei um gerade Überblattungen, welche nur mit einem Holznagel gesichert wurden. Die Überblattungslänge beträgt 3 cm. Viele dieser Anschlüsse weisen Klaffungen auf oder haben sich vollständig gelöst (siehe Abb. 5.20).

Anhand einer Gewölbeaussparung kann die Dicke der Mauer in diesem Bereich mit circa 25 cm angegeben werden (siehe Abb. 5.20).



Abb. 5.20: Sparrenverlängerung (links), Gewölbeaussparung (rechts)

5.1.6 Bereich V (siehe Abb. 5.1)

Beschreibung:

In diesem Bereich ist der Dachraum ausgebaut und daher nicht zugänglich.

5.1.7 Bereich VI (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

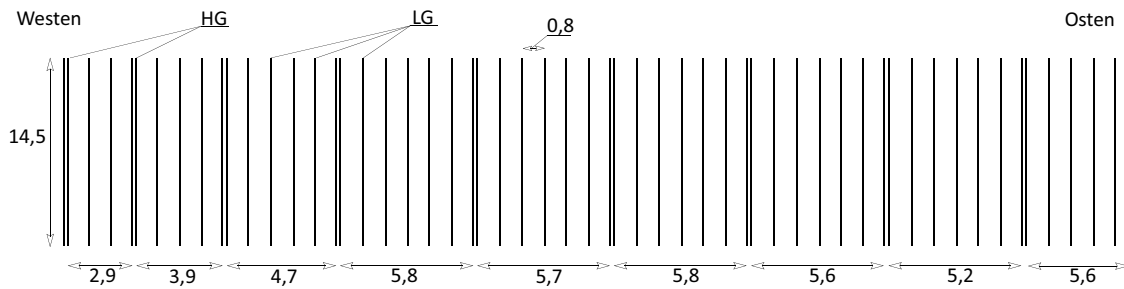


Abb. 5.21: Grundriss

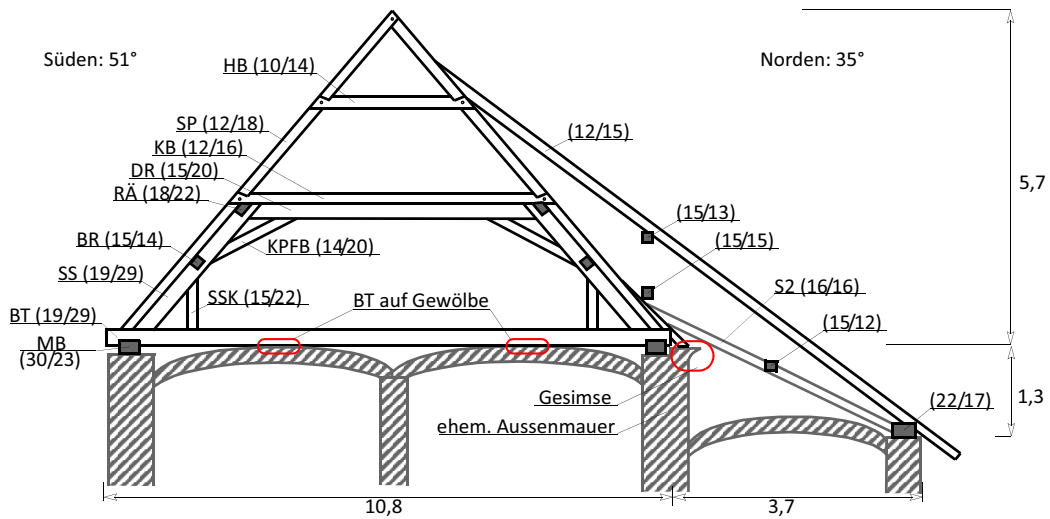


Abb. 5.22: Aufriß: Hauptgespärre

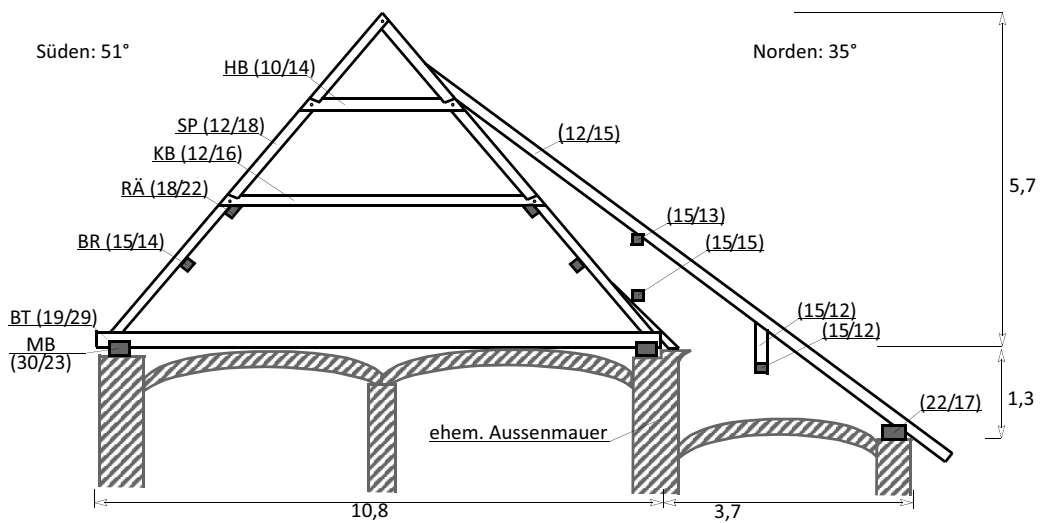


Abb. 5.23: Aufriß: Leergespärre

Beschreibung:

Der Bereich VI befindet sich über dem Refektorium, dem Speisesaal des Stiftes.

Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach mit Hahnenbalken und zweifach liegendem Stuhl, mit zusätzlichem Schleppdach** bezeichnet werden (siehe Abb. 5.22). Auch hier wurde der Dachstuhl teilweise über Gewölbe errichtet. Die Systemskizze stellt nur die Grundkonstruktion der Gespärre dar, die am häufigsten wiederkehrt.

Da der Mauergrundriss in diesem Teil sehr unregelmäßig ist, wurde bei der Konstruktion des Daches viel improvisiert. Bei vielen Gespärren findet man notdürftige Ergänzungsstrukturen, die entweder einen Höhen- oder einen Breitenunterschied ausgleichen. Weiters ist die Strebe S2 (siehe Abb. 5.22), welche das Rähm unterstützt ist, aufgrund ihrer Spannweite und Dimension ein viel zu biegeweicher Bauteil. Dies wird aus den Verformungen sichtbar. Instandsetzungen wurden durch uneinheitliche zusätzliche Streben durchgeführt. Weiters liegen einzelne Bundträme auf den Gewölben mittig auf und belasten diese punktuell (siehe Abb. 5.22 rot, Abb. 5.24 links). Eine Besonderheit in diesem Bereich stellt die Zwischenwand dar. Ein bestehendes Gesimse (siehe Abb. 5.22 rot, Abb. 5.24 rechts) lässt darauf schließen, dass diese Mauer ursprünglich eine Außenwand war. Diese Erkenntnis stimmt mit jener der Baugeschichte des Stiftes überein (vgl. Kap. 1.3). Eine weitere Besonderheit in diesem Bereich ist das Vorkommen von einem stehenden und einem in die Dachneigung gedrehten Rähm innerhalb eines Traktes.



Abb. 5.24: BT liegt auf dem Gewölbe mittig auf (links), Gesimse (rechts)

5.1.8 Bereich VII (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

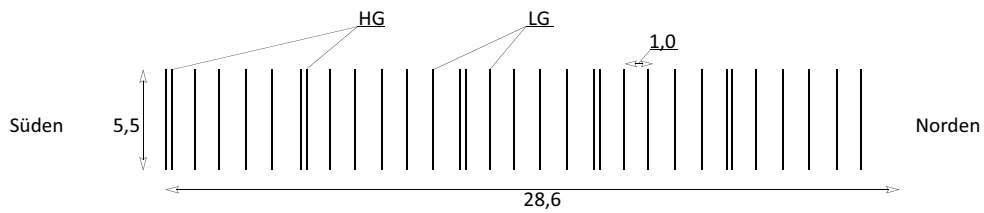


Abb. 5.25: Grundriss

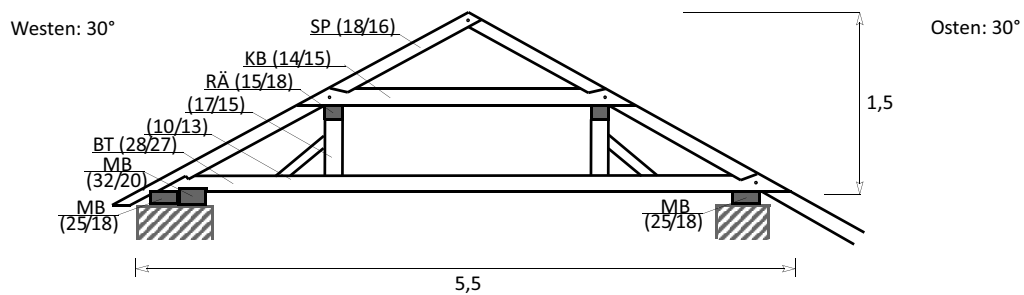


Abb. 5.26: Aufriss: Hauptgespärre

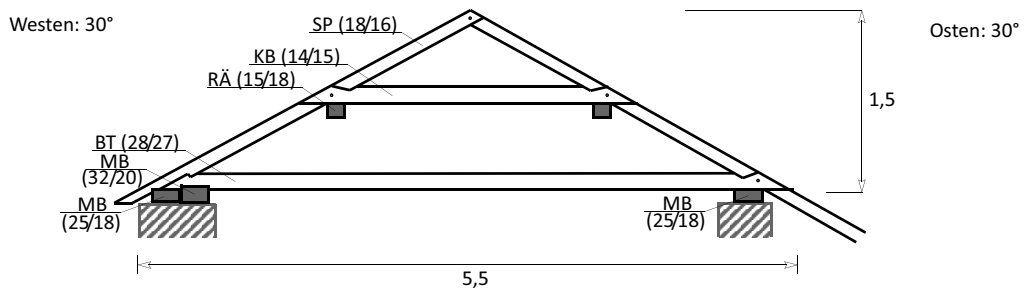


Abb. 5.27: Aufriss: Leergespärre

Beschreibung:

Der Bereich VII befindet sich über dem Kapitelsaal. Dieser ist einer der ältesten und noch ursprünglichsten Gebäudeteile des Stiftes. Auch die Höhe des Daches und somit der Gespärre ist seit jeher die gleiche geblieben. An der Nordseite wird der Trakt durch die Kirche begrenzt.

Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach mit einem zweifach stehenden Stuhl** bezeichnet werden. Die Abstände der Hauptgespärre konnten aus Platzgründen nicht erfasst werden.

Die Rähme weisen erhebliche Durchbiegungen (siehe Abb. 5.28) und klaffende Längsverbindungen auf (siehe Abb. 5.29 links). Eine weitere Besonderheit dieses Traktes bildet der untypische Sparren-Bundtramanschluss.



Abb. 5.28: verformtes Rähm



Abb. 5.29: klaffende Rähmverbindung (links), SP/BT-Anschluss

5.1.9 Bereich VIII (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

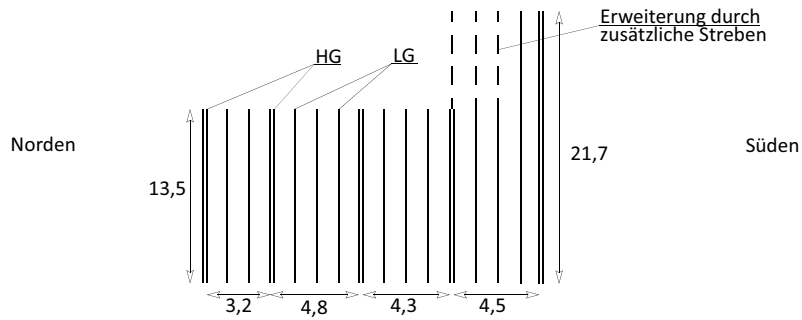


Abb. 5.30: Grundriss

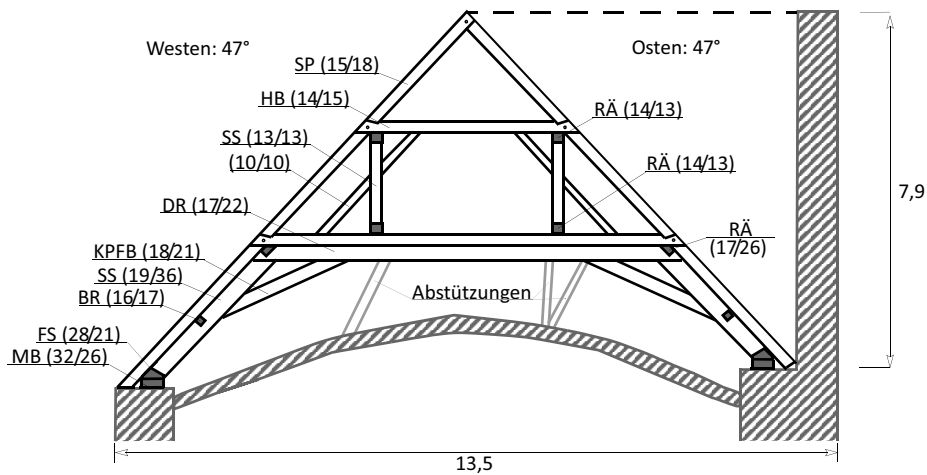


Abb. 5.31: Aufriß: Hauptgespärre

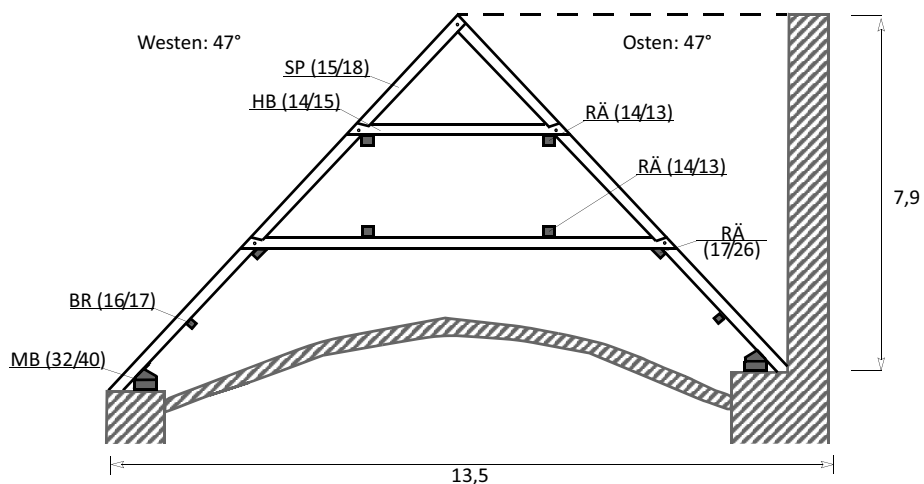


Abb. 5.32: Aufriß: Leergespärre

Beschreibung:

Der Bereich VIII besteht aus der Verschneidung der Dächer aus den Bereichen VI, VII, und IX. Der Bereich VII besitzt eine deutlich geringere Dachhöhe als die restlichen Bereiche (siehe Abb. 5.26, Abb. 5.27) und hat daher nur wenig Einfluss auf den sanierungsbedürftigen Bereich VIII. Bei genauerer Betrachtung ist auch der Bereich IX vom Bereich VIII statisch völlig getrennt. Da dieser Bereich durch die Verschneidungen einen Sonderbereich darstellt, wurden nur die regelmäßigen Gespärre dargestellt.

Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach mit Hahnenbalken, fehlendem Bundtram, zweifach liegendem Stuhl und zweifach abgestrebtem stehenden Stuhl** bezeichnet werden (siehe Abb. 5.31).

Der Dachstuhl überspannt mehrere Gewölbe, wobei diese in die Bundtramebene eindringen und somit den Einbau der Bundträme unmöglich machen. Es ist anzunehmen, dass der Einbau von verhältnismäßig langen Kopfbändern das Fehlen eines Bundtrames kompensieren sollte (siehe Abb. 5.34). Die Mauerbänke sind um circa 35 cm höhenversetzt.

Das Fehlen der Bundträme und einer statisch wirksamen Alternative verursacht große Verformungen sowohl in der Mauerbank als auch in den Gespärren. Dies wird anhand von sich lösenden Verbindungen sichtbar (siehe Abb. 5.34). Es befinden sich in diesem Bereich nicht fachgemäße Abstützungen, welche das darunterliegende Gewölbe punktförmig belasten (siehe Abb. 5.33). Diese Abstützungen wurden nicht passgenau eingefügt und verschlechtern durch ihre Schrägstellung die Situation, indem sie eine horizontale Abtriebskraft erzeugen, welche die Verformungstendenzen verstärken. Um das Herausfallen einzelner Stäbe zu verhindern, wurden an den Verbindungen häufig Klammern angebracht (siehe Abb. 5.34).



Abb. 5.33: Abstützung auf Gewölbe: Osten (links), Westen (rechts)



Abb. 5.34: lange Kopfbänder mit Klammer (links), offene Verbindung mit Klammer (rechts)

5.1.10 Bereich IX (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

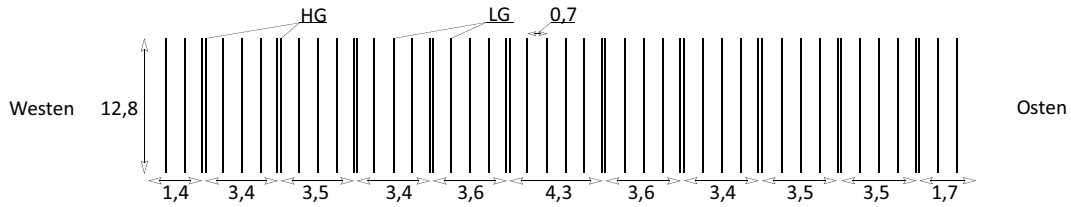


Abb. 5.35: Grundriss

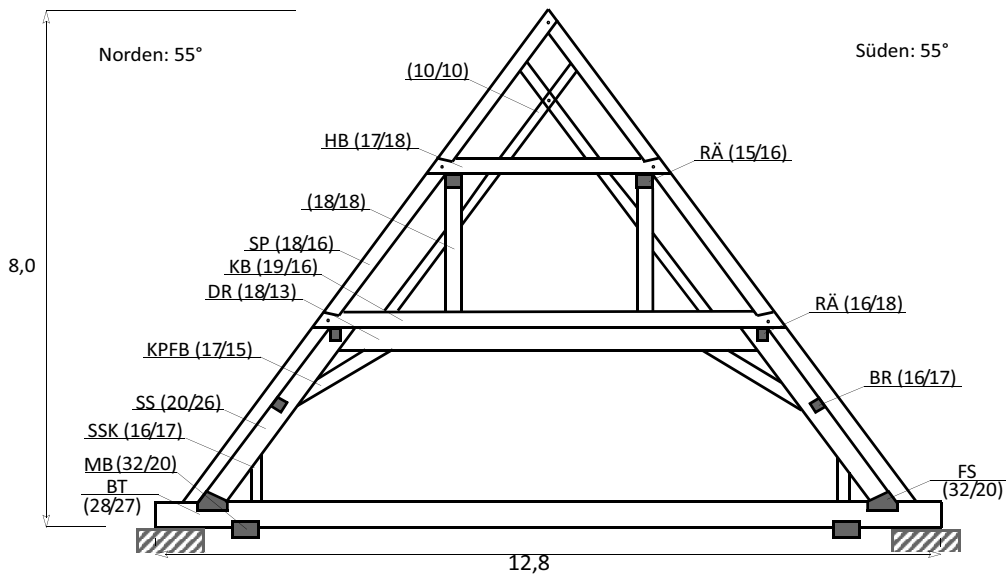


Abb. 5.36: Aufriß: Hauptgespärre

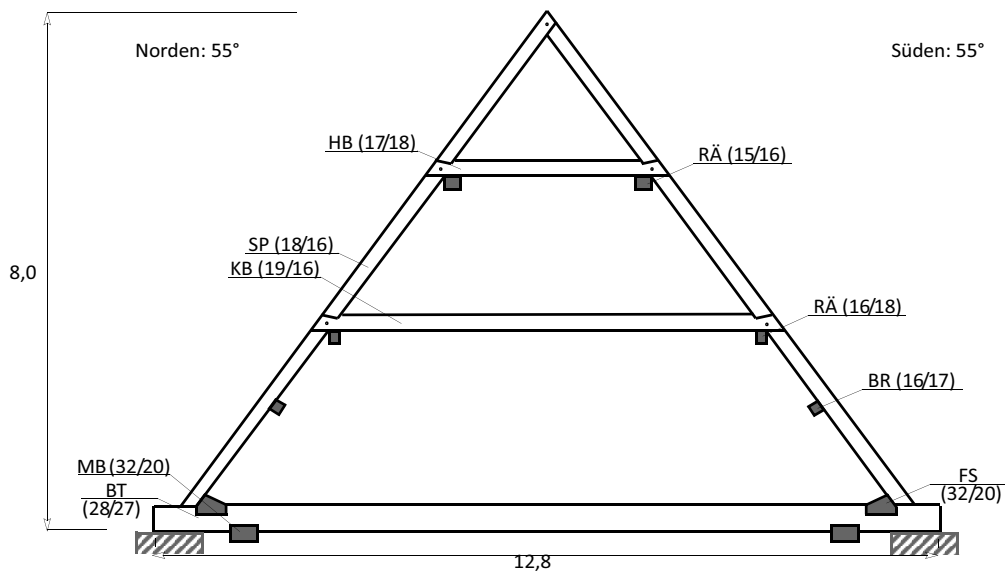


Abb. 5.37: Aufriß: Leergespärre

Beschreibung:

Der Bereich IX befindet sich über dem Konvent. Das Konvent ist der Ort der Zusammenkunft in einem Kloster.

Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach mit Hahnenbalken, zweifach liegendem Stuhl mit Stuhlsäulenknechten und zweifach stehendem Stuhl mit Schwertstreben** bezeichnet werden (siehe Abb. 5.36 und Abb. 5.49 links). Unter der Kehlbalkenebene erfolgt die räumliche Aussteifung mittels Windrispen in der Stuhlwandebene. Oberhalb erfolgt sie durch Kopfbänder, welche den stehenden Stuhl mit dem oberen Rähm verbinden. Die Kopfbänder des liegenden Stuhls sind in den Druckriegel und den Kehlbalken, sowie in die Stuhlsäule und den Sparren eingeblattet (siehe Abb. 5.49 rechts).

5.1.11 Bereich X (siehe Abb. 5.1)

Beschreibung:

Der Bereich X ist eine Verschneidung aus dem Trakt XIV und XI. Die Anbindung des Dachstuhls Richtung Westen ist statisch völlig durch eine Mauer getrennt. Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach mit Hahnenbalken, zweifach liegendem Stuhl mit Stuhlsäulenknechten, und zweifach stehendem Stuhl mit Schwertstreben** bezeichnet werden. Auf eine eigene Systemabbildung wurde hier verzichtet, da sich das selbe Tragwerk im Bereich XI befindet (siehe Abb. 5.36).

Die Kopfbänder in diesem Bereich sind, gleich wie im Bereich IX, nicht nur in die Stuhlsäule und den Druckriegel, sondern auch in den Kehlbalken und den Sparren eingeblattet. Weiters sind große Verformungen sichtbar (siehe Abb. 5.38).

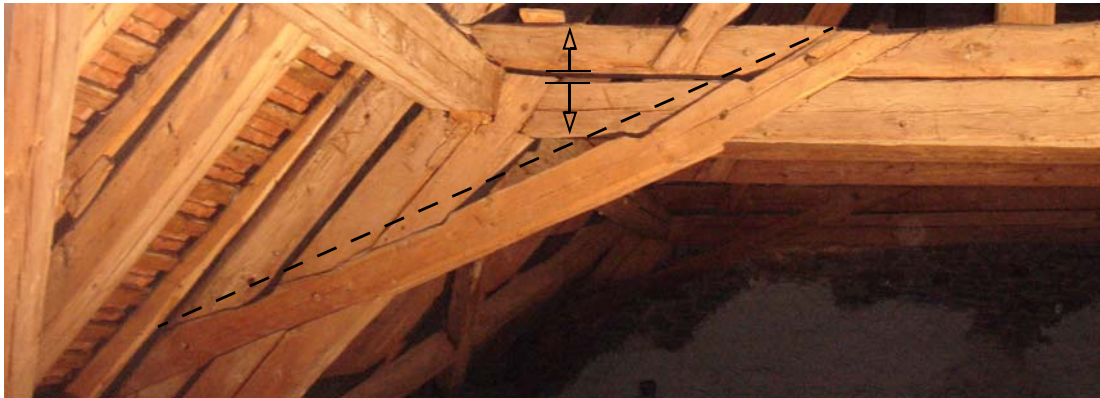


Abb. 5.38: Verformungen

5.1.12 Bereich XI (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

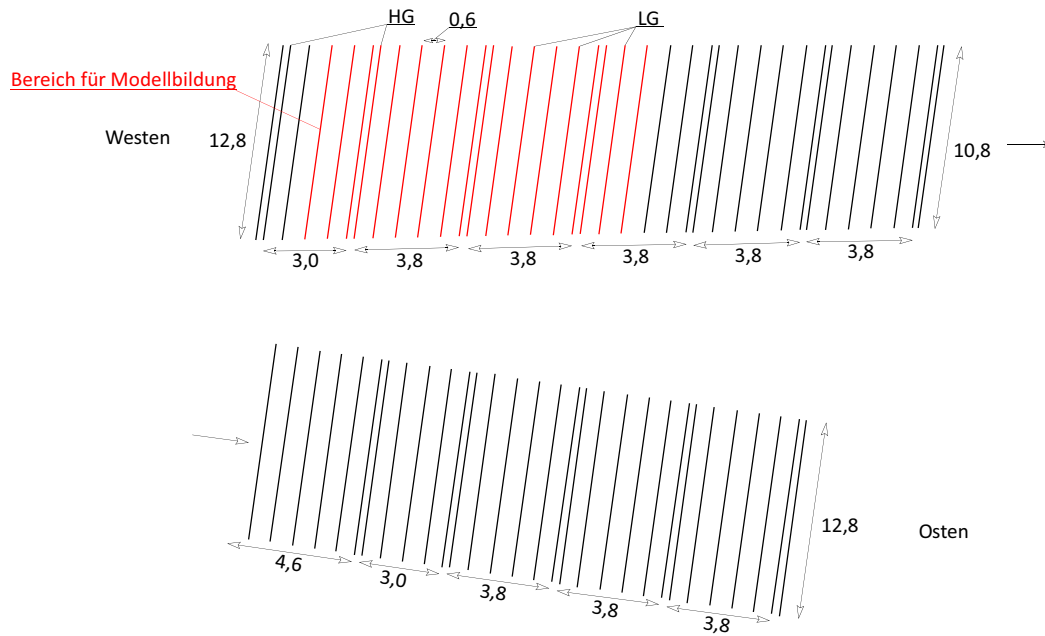


Abb. 5.39: Grundriss

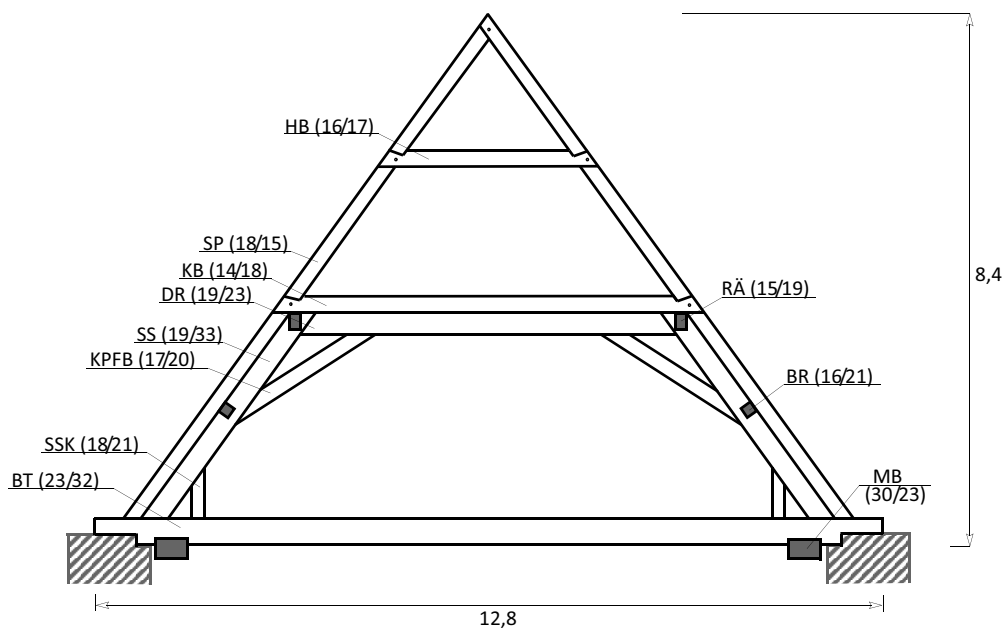


Abb. 5.40: Aufriss: Hauptgespärre

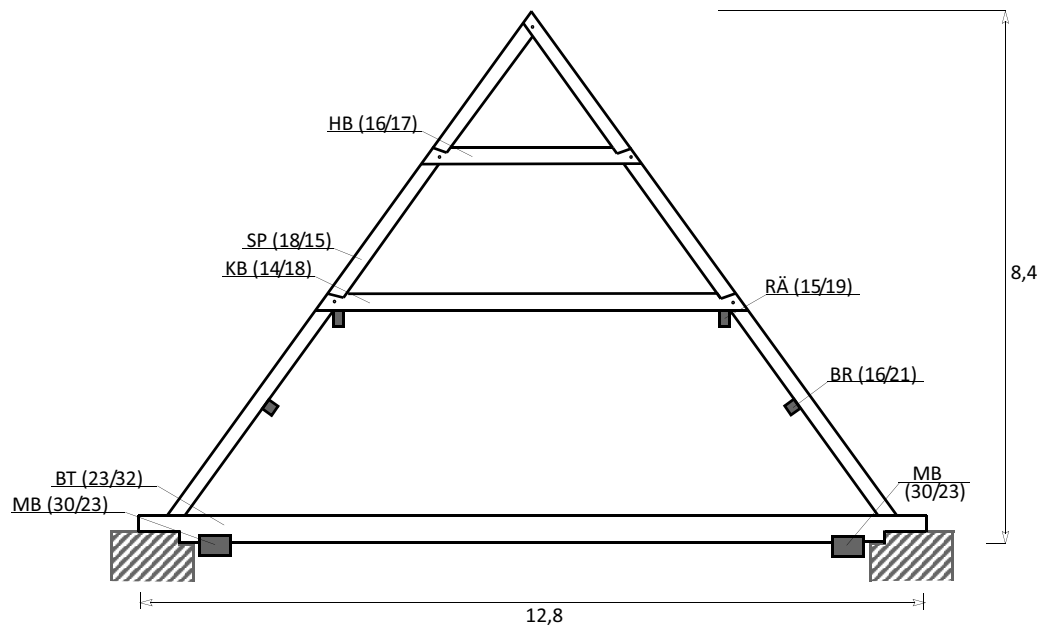


Abb. 5.41: Aufriss: Leergespärre

Beschreibung:

Der Bereich XI befindet sich über dem Konvent und dem Noviziat. Das Noviziat ist der Aufenthaltsbereich jener Personen, die in den Orden aufgenommen und als Novizen bezeichnet werden. Novizen werden eine gewisse Zeit im Stift dahingehend geprüft, ob sie für das Ordensleben geeignet sind und ob sie das Ordensgelübde ablegen dürfen.

Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach, mit Hahnenbalken und zweifach liegendem Stuhl mit Stuhlsäulenknechte** bezeichnet werden. In der ersten Hälfte des Traktes verschmälert sich die Breite gegen Osten hin. Weiters besitzt er einen Knick circa in der Mitte des Traktes, welcher eine Richtungsänderung nach Süden um circa 16° verursacht. Trotz dieser Richtungsänderung, sind in diesem Bereich alle Gespärre parallel. Dies wird durch einen, zur Mauerbank verdrehten, Einbau der Gespärre in der westlichen Hälfte erreicht (siehe Abb. 5.39). Kurz nach dem Knick befindet sich der Anschluss zu dem Richtung Norden verlaufenden Bereich XII. Dabei sind die Gespärre des Bereiches XI fortlaufend und der Bereich XII dazugeführt. Die zweite Hälfte des Traktes verbreitert sich wieder.

Ein Teil dieses Traktes wird in weiterer Folge in dem Kapitel „Generieren des statischen Modells“ (siehe Kap. 9) auf seine Tragwirkung untersucht. Es handelt sich dabei um den in Abb. 5.39 rot dargestellten Bereich. Auf Bilder aus diesem Bereich wird in diesem Kapitel verzichtet (siehe Kap. 9).

5.1.13 Bereich XII (siehe Abb. 5.1)

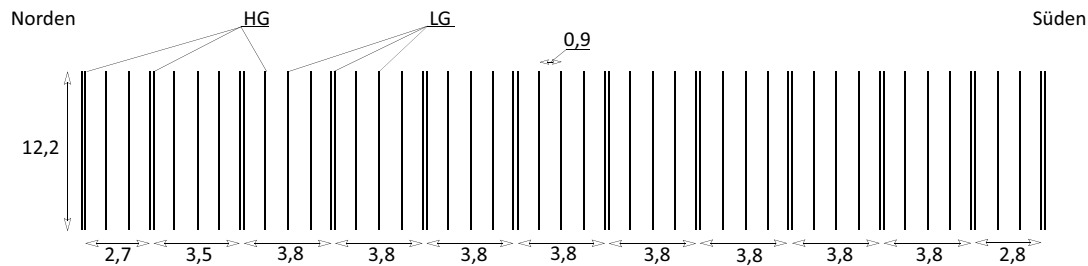


Abb. 5.42: Grundriss

Beschreibung:

Der Bereich XII befindet sich über der Böhmeile. Die Gespärre besitzen ein ähnliches statische System wie im Bereich IX (siehe Abb. 5.36).

Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach mit Hahnenbalken, zweifach liegendem Stuhl und zweifach abgestrebtem stehenden Stuhl** bezeichnet werden. Die einzigen Unterschiede zum Bereich IX bestehen darin, dass in diesem Bereich keine Schwertstreben existieren, sondern eine Verstrebung, die an der Hahnenbalkenebene endet und dass es in den Leergespärren keine durchgehenden Bundträme gibt, sondern Stichbalken, die in Wechselbalken enden.

Aufgrund der großen Ähnlichkeit des Systems mit jenem des Bereiches IX siehe Abb. 5.36.

5.1.14 Bereich XIII (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

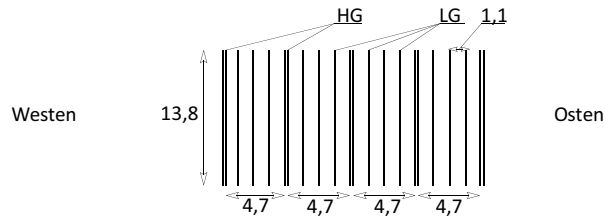


Abb. 5.43: Grundriss

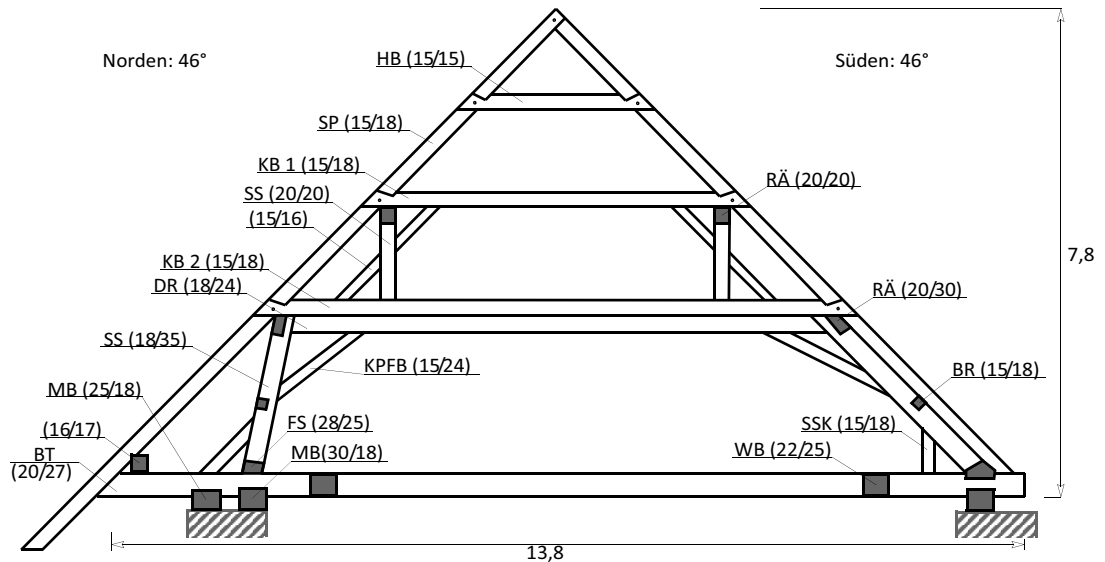


Abb. 5.44: Aufriss: Hauptgespärre

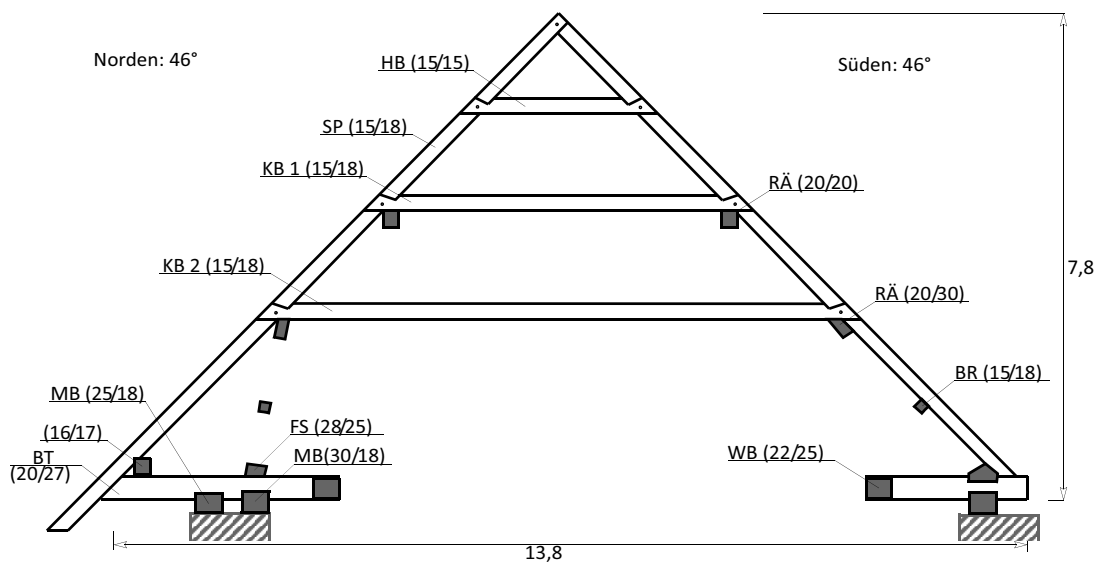


Abb. 5.45: Aufriss: Leergespärre

Beschreibung:

Der Bereich XIII befindet sich über der Bibliothek.

Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach mit zwei Kehlbalken und Hahnenbalken, mit asymmetrischem zweifach liegendem Stuhl mit Stuhlsäulenknechte und einem zweifach abgestrebten stehenden Stuhl** bezeichnet werden. Auch hier befinden sich wie im Bereich VIII Gewölbe, welche in die Bundtramebene eindringen. Diese sind jedoch weitaus kleiner und regelmäßiger. Dadurch war es möglich, die Bundträme der Hauptgespärre zwischen den Gewölben zu verlegen und die Leergespärre mit Stichbalken zu versehen, die in einem Wechselbalken enden.

In diesem Bereich befinden sich sehr große Verformungen. Dies wird zum Beispiel an den Sparren sichtbar (siehe Abb. 5.47)



Abb. 5.46: Gewölbe



Abb. 5.47: Verformter Sparren

5.1.15 Bereich XIV (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

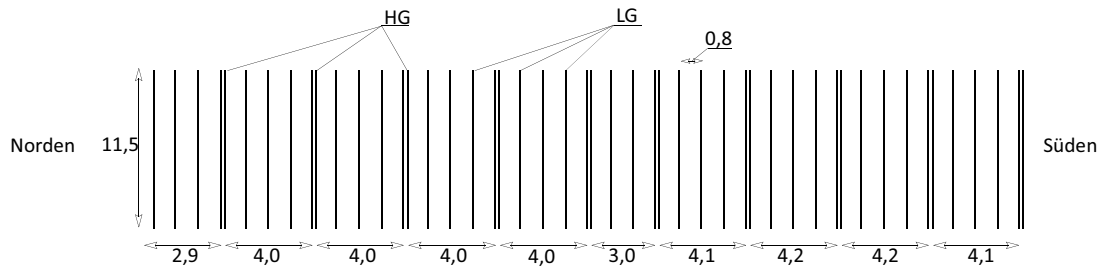


Abb. 5.48: Grundriss

Beschreibung:

Der Bereich XIV hat dasselbe statische System wie der Bereich IX (siehe Abb. 5.36).

Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach mit Hahnenbalken, zweifach liegendem Stuhl mit Stuhlsäulenknechten und zweifach stehendem Stuhl mit Schwertstreben** bezeichnet werden. Der einzige Unterschied zu Bereich IX ist, dass die Leergespärre keine durchlaufenden Bundträmme, sondern sogenannte Stichbalken besitzen, die in einem Wechselbalken enden. Die Kopfbänder der liegenden Stühle sind auch in diesem Bereich nicht nur in die Stuhlsäulen und den Druckriegel, sondern auch in die Sparren und die Kehlbalken eingeklattet (siehe Abb. 5.49 rechts). Auf eine Systemabbildung der Aufrisse wird hierbei verzichtet.



Abb. 5.49: Schwertstreben (links), Kopfbandanschluss (rechts)

5.1.16 Bereich XV (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

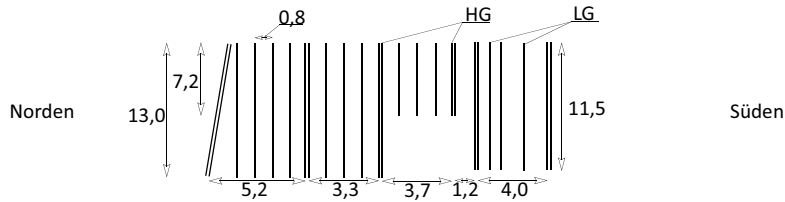


Abb. 5.50: Grundriss

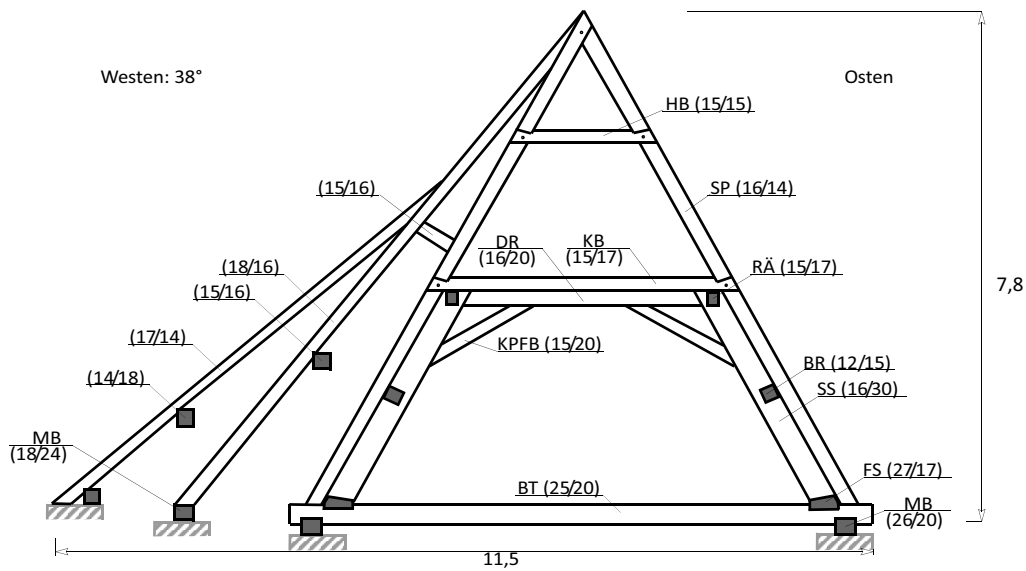


Abb. 5.51: Aufriß: Hauptgespärre

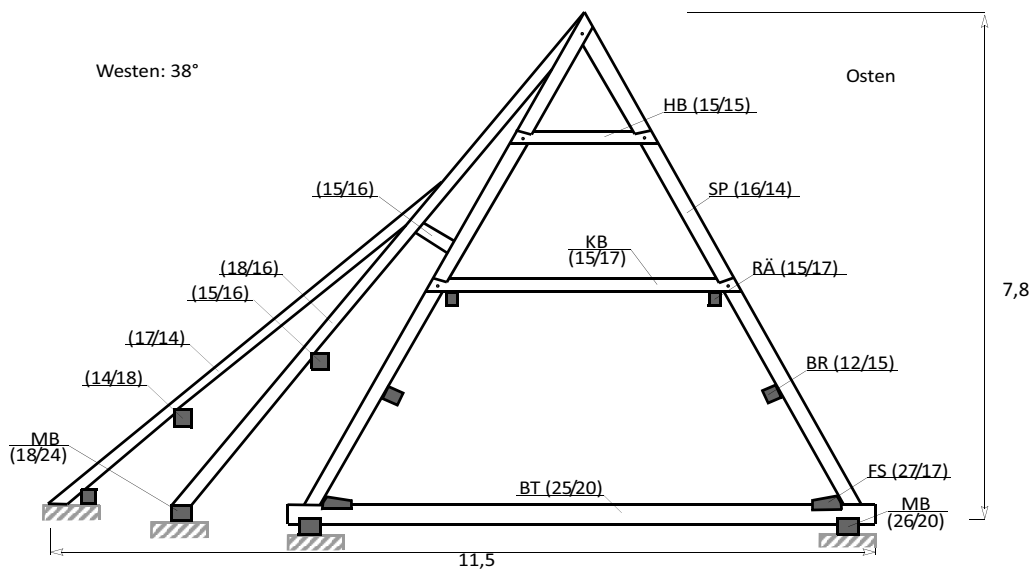


Abb. 5.52: Aufriß: Leergespärre

Beschreibung:

Der Bereich XV ist eine Verschneidung zwischen den Dächern der Bibliothek, der alten Sakristei, der neuen Sakristei und des Konvents. Dementsprechend unregelmäßig ist dieser Bereich bezüglich seines Grundrisses und der Höhen. So ist der Grundriss im Norden breiter als im Süden. Der First des Daches der Bibliothek ist höher, die der Sakristeien niedriger, als jener des Konvents.

Für die Systemabbildung wurde der nördliche Teilbereich gewählt und dargestellt.

Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach, mit Hahnenbalken und zweifach liegendem Stuhl mit Stuhlsäulenknechten und Schleppdach** bezeichnet werden.

5.1.17 Bereich XVI (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

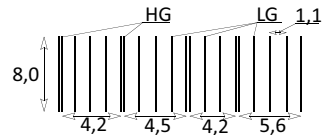


Abb. 5.53: Grundriss

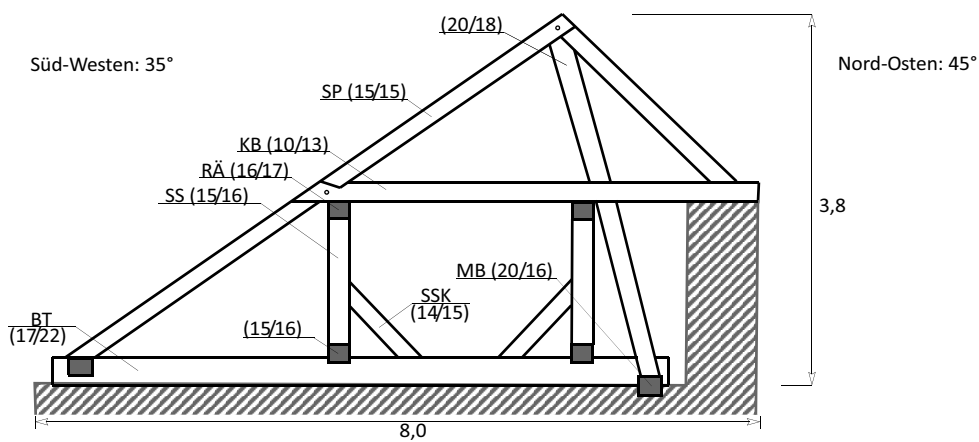


Abb. 5.54: Aufriß: Hauptgespärre

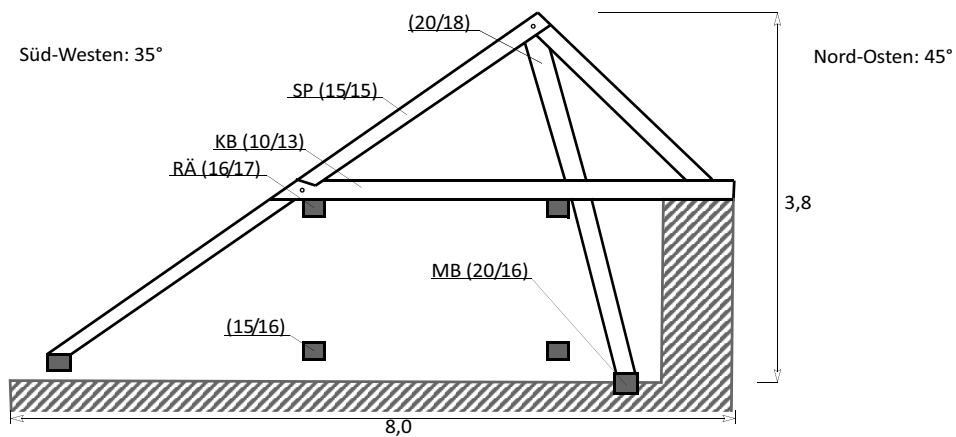


Abb. 5.55: Aufriß: Leergespärre

Beschreibung:

Der Bereich XVI befindet sich über der alten Sakristei, die der Aufbewahrung von Gegenständen dient, beziehungsweise diente, die für den Gottesdienst benötigt werden.

5.1.18 Bereich XVII (siehe Abb. 5.1)

Der Bereich XVII befindet sich über der neuen Sakristei und ist nicht zugänglich.

5.1.19 Bereich XVIII (siehe Abb. 5.1)

Systemabbildung:

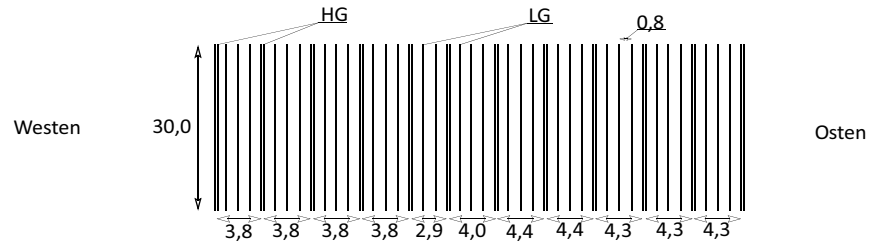


Abb. 5.56: Grundriss

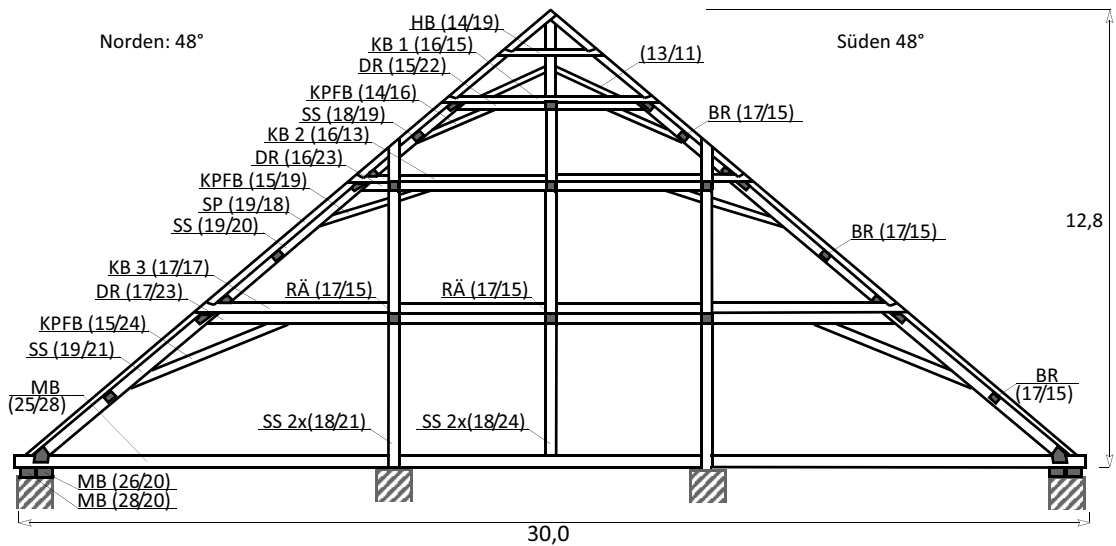


Abb. 5.57: Aufriß: Hauptgespärre

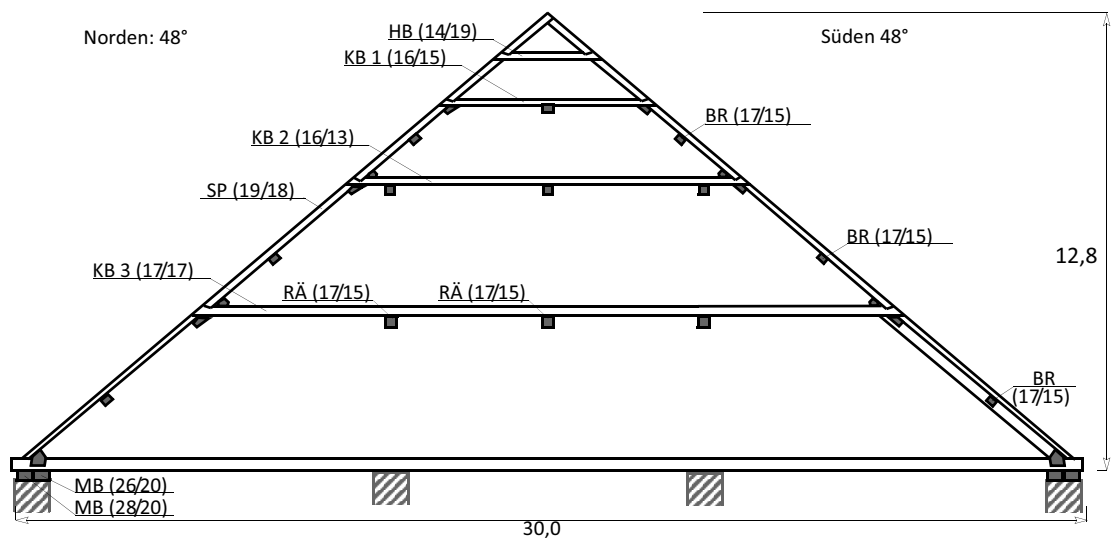


Abb. 5.58: Aufriß: Leergespärre

Beschreibung:

Der Bereich XVIII befindet sich über der Kirche.

Dieses Tragwerk besitzt im Stift Zwettl die größten Dimensionen bezüglich Höhe und Breite der Gespärre.

Das Tragwerk kann als **Kehlbalkendach mit drei Kehlbalken und einem Hahnenbalken, drei zweifach liegenden und einem zweifach stehenden Stuhl und einem Hängewerk in der obersten Kehlbalkenebene** bezeichnet werden.

Eine Besonderheit dieses Bereiches sind die zwei stehenden Stühle und die Stütze des Hängewerks. Sie bestehen jeweils aus zwei Stützenteilen, welche mit Holznägeln verbunden sind (siehe Abb. 5.59). Die Längsaussteifung wird über Kopfbänder der stehenden Stühle und der Stütze des Hängewerks, sowie über Windrispen in der Ebene der liegenden Stuhlsäulen hergestellt.

Die Sparren in diesem Bereich sind durchgehend und nicht verlängert. Sie besitzen eine Länge von circa 20 m, was für die Herstellung des Dachstuhls in der damaligen Zeit eine Meisterleistung darstellt.

Die Dachhaut und der Dachstuhl wurden in den letzten Jahren instandgesetzt.



Abb. 5.59: Zweigeteilte Stütze mit Kopfbändern

5.1.20 Bereich XIX (siehe Abb. 5.1)

Der Bereich XIX befindet sich über dem Kreuzgang und ist nicht zugänglich. Der Kreuzgang ist ein zentraler arkadenumstandener Hof in einem Stift beziehungsweise Kloster.

5.2 Zusammenfassung

Die Bestandserfassung wurde für das Hauptgebäude des Stiftes Zwettl durchgeführt.

Tragsysteme:

Beinahe alle Dachstühle des Stiftes Zwettl beinhalten ein Kehlbalkendach mit Hahnenbalken und zweifach liegendem Stuhl als Grundsystem. Dieses Tragwerk wurde, speziell bei großen Spannweiten beziehungsweise großer Höhe durch stehende, teilweise abgestrebten Stühlen zwischen der Kehlbalkenebene und Hahnenbalkenebene ergänzt. Ausnahmen bilden Dachstühle mit niedriger Gespärrehöhe, welche meist nur einen stehenden Stuhl besitzen. Weiters befindet sich ein Pfettendach an der Nordseite des Hauptgebäudes. Dieses Tragsystem wurde aufgrund des sehr unregelmäßigen Grundrisses und der unterschiedlichen Mauerhöhen für diese Bauaufgabe ausgewählt.

Abmessungen:

Die Spannweiten der Gespärre im Hauptgebäude betragen zwischen 5,5 und 13,8 m. Die Höhen liegen zwischen 1,5 und 8,4 m. Der maximale Abstand der Hauptgespärre beträgt 5,8 m, jener des Leergespärre 1,1 m. Sämtliche Dachneigungen liegen zwischen 27° und 70°.

Gewölbe:

Viele Dachstühle befinden sich über unterschiedlich großen Gewölben. Kritische Punkte befinden sich dort, wo Bundträmme auf den Gewölben direkt aufliegen oder durch Abstützungen punktuelle Belastungen in die Gewölbe eingeleitet werden.

Verformungen:

Die größten Verformungen im Tragwerk befinden sich in jenen Bereichen, in welche Gewölbe mit großen Abmessungen in die Bundträmmebene eindringen und somit der Einbau von Bundträmmen nicht möglich war. Man versuchte das fehlende „Zugband“ durch längere Kopfbänder zu kompensieren, was eine unzureichende Alternative darstellt. Dies liegt daran, dass die Kopfbänder ständig auf Zug belastet werden. Teils erhebliche Verformungen und sich lösende Verbindungen sind sichtbar.

Schäden:

Die größten Schäden befinden sich im Tragwerk über dem Festsaal. Durch eine schadhafte Mauerbank beziehungsweise Stuhlsäule und den daraus resultierenden Lastumlagerungen kam es zu einer Rissbildung im darunterliegenden Mauerwerk.

In zahlreichen Bereichen befindet sich ein seitlicher Anschluss eines Schleppdaches, welches durch eine nicht fachgerechte Anbindung an das Hauptdach eine erhebliche Schadensanfälligkeit mit sich bringt.

Kirchendach:

Das Tragwerk mit den größten Dimensionen ist erwartungsgemäß jenes der Kirche. Es besitzt eine Spannweite von 30 m und eine Höhe von 12,8 m. Dabei handelt es sich um ein Kehlbalkendach mit drei Kehlbalken und einem Hahnenbalken, drei zweifach liegenden und einem zweifach abgestrebten Stuhl und einem Hängewerk in der obersten Kehlbalkenebene. Weitere Besonderheiten des Kirchentragwerks sind die über circa 20 m Länge durchgehenden Sparren und zweiteilige Stützen.

6 Schadensanalyse (Stufe III)

Ziel der Schadensanalyse ist es, die Ursachen der Schäden zu ergründen und deren Auswirkungen abzuschätzen (vgl. [18] S. 13). Bei der Ursachenforschung sind meist Messungen wie zum Beispiel eine Feuchtemessungen notwendig. Generell sind, besonders bei historischer wertvoller Bausubstanz, zerstörungsfreie Verfahren zu bevorzugen.

Bauschäden können nach unterschiedlichen Aspekten unterteilt werden. So kann man sie zum Beispiel nach:

- dem Ausmaß und Umfang
- den Ursachen
- dem Ort des Auftretens
- dem Schadensbild
- dem Bauzustand
- der Dringlichkeit der Schadensbehebung
- der Sichtbarkeit oder Verdecktheit
- der Tendenz zur Ausbreitung

einteilen. (vgl. [18] S. 22)

Da das Stift Zwettl mit samt seinen dazugehörenden Gebäuden ein gewaltiges Ausmaß an Dachfläche besitzt und sich die Sanierung aus finanziellen Gründen über mehrere Jahre erstrecken wird ist eine Einteilung der Schäden bezüglich ihrer Dringlichkeit und ihrer Rangfolge, das heißt ihrer Ausbreitungstendenz naheliegend. Schäden ohne Tendenz zur Ausbreitung sind zum Beispiel Brüche von Bauteilen (siehe Abb. 5.5). Schäden mit einer Tendenz zur Ausbreitung sind in erster Linie Durchfeuchtung des Tragwerks, Pilz- und Insektenbefall. Die Ausbreitungstendenz erfolgt meist nicht linear, sondern progressiv und ist somit mit einem starken Anstieg der Bauschäden verbunden (siehe Abb. 5.13).

Die erste Einschätzung der Schäden erfolgte im Oktober 2009 durch ein Ziviltechnikerbüro in Zwettl. Anhand dieser ersten visuellen Begutachtung erfolgte eine fünfstufige Einteilung gestaffelt nach der Dringlichkeit der Sanierungsmaßnahmen. Dabei sind 37 % des Daches als sehr gut, 36 % als gut, 2 % als befriedigend, 3 % als genügend und 11 % als nicht genügend eingestuft worden. Die restlichen 11 % waren nicht zugänglich.

Jene 11 %, welche mit nicht genügend beurteilt wurden, setzen sich aus den Bereichen I, VIII und X zusammen. Für weitere Informationen siehe Kapitel Kap. 5.1.

Eines der Hauptprobleme bei der Begutachtung und Einschätzung der Lastverteilung von historischen Dachstühlen ist, die teilweise sehr hohe statische Unbestimmtheit der Systeme (vgl. Kap. 9). Auf der einen Seite ist es genau diesem Umstand zu verdanken, dass viele Dachstühle über die Jahrhunderte überhaupt bestehen blieben. Auf der anderen Seite ist es für die Begutachter umso schwieriger die Lastverteilung am Bestand abzuschätzen. Ein weiteres Problem ist die schwierige Erfassung der Tragwirkung der Anschlüsse. Über die Kraftübertragung historischer Detailanschlüsse gibt es nur sehr spärliche Informationen und nur wenig durchgeführte Versuchsreihen.

C Generieren des statischen Modells (Stufe IV)

Wenn man historische Dachstühle begutachtet, wird man feststellen, dass die Abschätzung der Tragwirkung nicht einfach nachvollzogen werden kann.

Gründe dafür sind:

- teilweise sehr hohe statische Unbestimmtheit und räumliche Tragwirkung des statischen Systems
- unzulängliches Wissen über die Tragfähigkeit, Nachgiebigkeit und Exzentrizität der zimmermannsmäßigen Verbindungen
- fehlendes Wissen über das verwendete Material (fehlende Sortierungskriterien)
- fehlende Kenntnis über die dreidimensionalen Lastumlagerungen verursacht durch defekte Verbindungen

Um Instandsetzungsmaßnahmen effizient und bestandsschonend durchführen zu können, ist das Wissen über die Tragwirkung unerlässlich.

Ziel dieses Kapitels ist es im ersten Schritt, anhand eines Tragwerkes des Stiftes Zwettl zuerst die Tragwirkung und die dazugehörigen Schnittkräfte in einem voll tragfähigen System möglichst wirklichkeitsnahe darzustellen. In einem zweiten Schritt wird ein Ausfallszenario simuliert und die umgelagerten Schnittkräfte mit jenen des voll tragfähigen Systems verglichen.

Bei der Auswahl des Bereiches aus der Dachlandschaft des Stiftes ist in erster Linie das statische System ausschlaggebend. Es sollte möglichst einfach und regelmäßig sein, um die Lastumlagerungen der Ausfallsszenarien nachvollziehen zu können. Weiters sollten möglichst viele Gespärre anderer Bereiche des Stiftes Zwettl dieses System vollständig oder teilweise beinhalten, um auch für andere, ähnliche Dachstuhltypen, gewisse Abschätzungen bezüglich ihrer Tragwirkung treffen zu können. Um dies zu ermöglichen, wurde das Kehl balkendach mit Hahnenbalken und zweifach liegendem Stuhl mit Stuhlsäulenknechten aus dem Bereich XI gewählt.

Die weitere Vorgehensweise ist die Ermittlung der Einwirkung, mit deren Kombinationen, die Festlegung einer Festigkeitsklasse für die einzelnen Bauteile und die eigentliche statische Modellbildung.

7 Lastaufstellung nach EN 1991-1-4

7.1 Eigengewicht (vgl. [24])

- Tragwerk (LF1)

Das Eigengewicht des Tragwerkes wird im Statikprogramm berücksichtigt ([6]).

- Dachaufbau (LF2)

$$g_1 = 0,90 \text{ kN/m}^2$$

Anmerkung: Das Eigengewicht für den Dachaufbau beinhaltet eine doppelte Dachdeckung und die Dachlattung.

7.2 Schnee (vgl. [26] und [26])

- Standort Zwettl, NÖ
- Seehöhe 520 m
- Lastzone 3

$$\alpha_1 = 56^\circ \quad \alpha_2 = 61^\circ$$

Anm.: Bei der Berechnung der Schneelast werden die nur gering unterschiedlichen Dachneigungen berücksichtigt und nicht gemittelt. Laut ON EN 1991-1-3 Tabelle 5.2 muss ab einer Dachneigung von 60° keine Schneelast mehr berücksichtigt werden. Beobachtungen der Haftung des Schnees an den Dachflächen in Winter 2009/2010 haben gezeigt, dass die Grenze der 60° sehr genau stimmt.

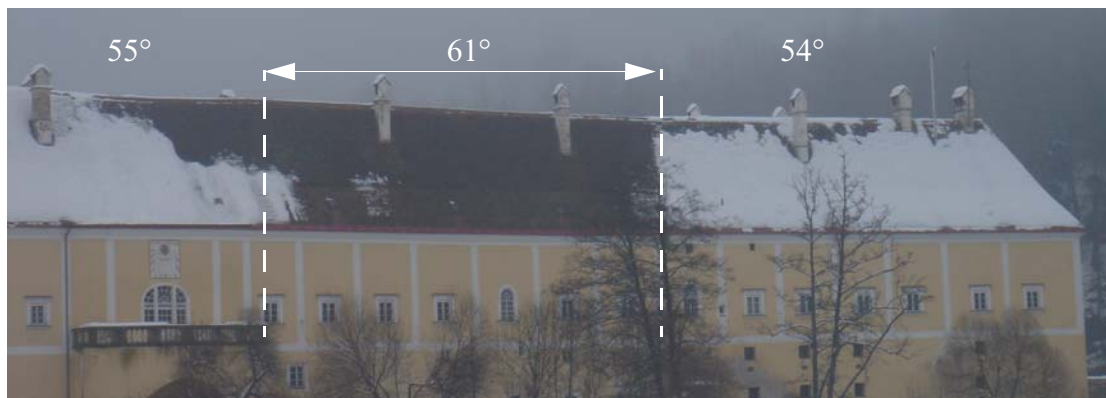


Abb. 7.1: Schneelast an der Südseite

Fall 1: nicht verweht, Volllast (LF3)

$$s_k = 2,9 \text{ kN/m}^2$$

$$s = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_i \quad \text{mit}$$

$$C_e = 1,0 \quad \text{und} \quad C_t = 1,0$$

$$\mu_{1,\alpha_1} = 0,8 \cdot (60 - \alpha_1) / 30 = 0,11 \quad \mu_{1,\alpha_2} = 0,0$$

$$s_{IH, \text{voll}} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_{1,\alpha_1} = 2,90 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,11 = 0,32 \text{ kN/m}^2 \quad \text{IH...Innenhofseite}$$

$$s_{KS, \text{voll}} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_{1,\alpha_2} = 2,90 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,0 = 0,00 \text{ kN/m}^2 \quad \text{KS...Kampseite}$$

Fall 2: verweht, Halblast, Innenhof (LF4)

$$s_{IH, \text{halb}} = 0,5 \cdot s_{IH, \text{voll}} = 0,5 \cdot 0,32 = 0,16 \text{ kN/m}^2$$

Fall 3: verweht, Halblast, Innenhof

Diesen Fall gibt es nicht, da die Schneelast auf der Kampseite schon null ist.

7.3 Nutzlast

Nutzlasten wurde keine berücksichtigt.

7.4 Windlast (vgl. [27] und [28])

Standort: Zwettl, NÖ; Geländekategorie III, Dachneigung gewählt 59° (Mittelwert).

- Außendruck

Basiswindgeschwindigkeit (Grundwert), Basiswindgeschwindigkeitsdruck:

$$v_{b,0} = 24,4 \text{ m/s}$$

$$q_{b,0} = 0,37 \text{ kN/m}^2$$

Basiswindgeschwindigkeit:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 24,4 = 24,4 \text{ m/s}$$

Mittlerer Winddruck und Böengeschwindigkeit:

$$q_{m(z)} = c_{r(z)}^2 \cdot q_b$$

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} \cdot q_b \quad \text{mit}$$

$$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 24,4^2 \cdot 10^{-3} = 0,37 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{r(28)}^2 = 0,91$$

$$c_{e(28)} = 2,36$$

$$q_{m(28)} = 0,91 \cdot 0,37 = 0,34 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{p(28)} = 2,36 \cdot 0,37 = 0,87 \text{ kN/m}^2$$

Wind von Osten beziehungsweise Westen:

Da der betrachtete Bereich lediglich ein Teil eines Traktes ist und kein ganzes Gebäude darstellt, wird auf das Dach nur der Windlastbereich I angesetzt.

Bereich I:

$$c_{p,10} = -0,5 \rightarrow w_e = -0,5 \cdot 0,87 = -0,44 \text{ kN/m}^2$$

Wind von Süden bzw. Norden:

Eigentlich wird der Wind von Norden kommend durch die davorstehenden, anderen Gebäude (zum Beispiel: Kirche) abgeschwächt. Auf diese Tatsache wird aber bei der Berechnung keine Rücksicht genommen. Weiters liegt der Bereich F, I und H wieder außerhalb des Windeinflussbereichs.

Bereich G, J:

$$c_{p,10} = 0,7 \rightarrow w_e = 0,7 \cdot 0,87 = 0,61 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{p,10} = -0,3 \rightarrow w_e = -0,3 \cdot 0,87 = -0,26 \text{ kN/m}^2$$

- Innendruck

$$c_{pi} = 0,2 \text{ nach aussen gerichtet} \rightarrow w_i = 0,2 \cdot 0,87 = 0,17 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pi} = 0,3 \text{ nach innen gerichtet} \rightarrow w_i = 0,3 \cdot 0,87 = 0,26 \text{ kN/m}^2$$

Windlast gesamt:

Wind von Osten/Westen mit Innendruck (LF5):

$$F_{IH} = F_{KS} = -0,44 + (-0,17) = -0,61 \text{ kN/m}^2$$

Wind von Osten/Westen mit Innensog (LF6):

$$F_{IH} = F_{KS} = -0,44 + (0,26) = -0,18 \text{ kN/m}^2$$

Wind von Süden mit Innendruck (LF7):

$$F_{KS} = \text{Bereich G} = 0,61 - 0,17 = 0,44 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{IH} = \text{Bereich J} = -0,26 - 0,17 = -0,43 \text{ kN/m}^2$$

Wind von Süden mit Innensog (LF8):

$$F_{KS} = \text{Bereich G} = 0,61 + 0,26 = 0,87 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{IH} = \text{Bereich J} = -0,26 + 0,26 = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

Wind von Norden mit Innendruck (LF9):

$$F_{IH} = \text{Bereich G} = 0,61 - 0,17 = 0,44 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{KS} = \text{Bereich J} = -0,26 - 0,17 = -0,43 \text{ kN/m}^2$$

Wind von Norden mit Innensog (LF10):

$$F_{IH} = \text{Bereich G} = 0,61 + 0,260 = 0,87 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{KS} = \text{Bereich J} = -0,26 + 0,26 = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

7.5 Lastfälle

LF	LF-Bezeichnung	Lastfalltyp
1	Eigengewicht Tragwerk	ständig
2	Eigengewicht Dachdeckung	ständig
3	Schnee Volllast	veränderlich
4	Schnee Halblast Innenhof	veränderlich
5	Wind Ost/West, Innendruck	veränderlich
6	Wind Ost/West, Innensog	veränderlich
7	Wind Süden, Innendruck	veränderlich
8	Wind Süden, Innensog	veränderlich
9	Wind Norden, Innendruck	veränderlich
10	Wind Norden, Innensog	veränderlich

Tab. 7.1: Lastfälle

7.6 Lastfallgruppen

LG	Lastfallgruppe-Bezeichnung	Lastfälle in Lastfallgruppe
1	ULS-Schnee Volllast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF3$
2	ULS-Schnee Halblast IH	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF4$
3	ULS-Wind Osten (Westen)/Innendruck	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF5$
4	ULS-Wind Osten (Westen)/Innensog	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF6$
5	ULS-Wind Süden/Innendruck	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF7$
6	ULS-Wind Süden/Innensog	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF8$
7	ULS-Wind Norden/Innendruck	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF9$
8	ULS-Wind Norden/Innensog	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF10$
9	ULS-Schnee Volllast/Wind Osten (Westen)/Innendruck	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF3 + 0.9 \cdot LF5$
10	ULS-Schnee Volllast/Wind Osten (Westen)/Innensog	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF3 + 0.9 \cdot LF6$
11	ULS-Schnee Volllast/Wind Süden/Innendruck	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF3 + 0.9 \cdot LF7$
12	ULS-Schnee Volllast/Wind Süden/Innensog	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF3 + 0.9 \cdot LF8$
13	ULS-Schnee Volllast/Wind Norden/Innendruck	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF3 + 0.9 \cdot LF9$
14	ULS-Schnee Volllast/Wind Norden/Innensog	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF3 + 0.9 \cdot LF10$
15	ULS-Schnee Halblast/Wind Osten (Westen)/Innendruck	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF4 + 0.9 \cdot LF5$
16	ULS-Schnee Halblast/Wind Osten (Westen)/Innensog	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF4 + 0.9 \cdot LF6$
17	ULS-Schnee Halblast/Wind Süden/Innendruck	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF4 + 0.9 \cdot LF7$
18	ULS-Schnee Halblast/Wind Süden/Innensog	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF4 + 0.9 \cdot LF8$
19	ULS-Schnee Halblast/Wind Norden/Innendruck	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF4 + 0.9 \cdot LF9$
20	ULS-Schnee Halblast/Wind Norden/Innensog	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF4 + 0.9 \cdot LF10$
21	ULS-Wind Osten (Westen)/Innendruck/Schnee Volllast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF5 + 0.75 \cdot LF3$
22	ULS-Wind Osten (Westen)/Innendruck/Schnee Halblast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF5 + 0.75 \cdot LF4$
23	ULS-Wind Osten (Westen)/Innensog/Schnee Volllast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF6 + 0.75 \cdot LF3$
24	ULS-Wind Osten (Westen)/Innensog/Schnee Halblast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF6 + 0.75 \cdot LF4$
25	ULS-Wind Süden/Innendruck/Schnee Volllast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF7 + 0.75 \cdot LF3$
26	ULS-Wind Süden/Innendruck/Schnee Halblast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF7 + 0.75 \cdot LF4$
27	ULS-Wind Süden/Innensog/Schnee Volllast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF8 + 0.75 \cdot LF3$
28	ULS-Wind Süden/Innensog/Schnee Halblast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF8 + 0.75 \cdot LF4$
29	ULS-Wind Norden/Innendruck/Schnee Volllast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF9 + 0.75 \cdot LF3$
30	ULS-Wind Norden/Innendruck/Schnee Halblast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF9 + 0.75 \cdot LF4$
31	ULS-Wind Norden/Innensog/Schnee Volllast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF10 + 0.75 \cdot LF3$
32	ULS-Wind Norden/Innensog/Schnee Halblast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF10 + 0.75 \cdot LF4$
33	ULS-Eigengewicht	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2$

Tab. 7.2: Lastfallgruppen

Um die maximalen Schnittkräfte eines Bauteils zu bestimmen, werden die einzelnen Lastfallgruppen nochmals miteinander kombiniert. Dies ist die Lastfallkombination LK1.

8 Visuelle Sortierung des Bauholzes

Für die Modellbildung und Berechnung in den nächsten Kapiteln ist die Feststellung der Widerstandseite (= Festigkeit) unumgänglich. Die zuvor angesprochenen Vorteile (siehe Kap. 3) behauener Querschnitte können bei der Wahl der Sortierklasse als zusätzliche Entscheidungshilfe dienen. Dies hat aber nur Gültigkeit, wenn sich das Behauen der Querschnitte nach der Konizität des Stammes richtete und somit die Randfasern weitestgehend unbeschädigt blieben. Damit die festgestellte Sortierklasse und damit verbundene Festigkeitsklasse mit der tatsächlich existierenden Festigkeit annähernd übereinstimmt, wird eine visuelle Sortierung laut DIN 4074-1 durchgeführt (vgl. [21]).

Diese Sortierungsnorm wurde für die Einteilung von neuem Bauholz geschaffen, welches aus Nadelholz gewonnen wird. Untersuchungen der Festigkeit an Bauhölzern, welche bis zu 200 Jahre alt waren ergaben, dass sich die Festigkeit durch die Alterung des Holzes nicht verringert (vgl. [8] S.12). Dadurch ist die Norm DIN 4074-1 prinzipiell anwendbar und es kann in weiterer Folge über die Sortierklasse die äquivalente Festigkeitsklasse ermittelt werden. Das verwendete Holz ist Fichte.

Die Sortiernorm DIN 4074-1 berücksichtigt nicht die Beanspruchung des Bauteils im eingebauten Zustand. (In dieser Arbeit wird unter „Bauteil“ ein Element in einem Bauwerk verstanden, wie zum Beispiel ein Bundtramp, Sparren, Kehlbalken, etc. welches eine ihm zugewiesene Funktion erfüllt). Betrachtet man aber ein bereits errichtetes Bauwerk, ist die Beanspruchung eines jeden einzelnen Querschnittes bekannt. Dies gibt zusätzliche Informationen, welche die Wahl einer Mindestsortierklasse erleichtert.

Bei der Analyse der Bauteile wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

Schritt 1: Anwendung der Norm auf das Bauholz des Dachstuhls und die anschließende Feststellung einer Mindestsortierklasse für die unterschiedlichen Bauteile (siehe Anhang Kap. 12)

Schritt 1: Vergleich der Klassifizierungsmerkmale der Norm mit der Beanspruchung der Bauteile

Schritt 1: Eventuelle Korrektur der Mindestsortierklasse

8.1 DIN 4074-1 (vgl. [21])

Im Zuge der Querschnittsaufnahme und Abstandsmessung des Dachstuhls wurden einzelne Bauteile bezüglich der Sortiermerkmale laut DIN 4074-1 untersucht. Dabei wurde die Verwendung des Bauteils noch nicht berücksichtigt, sondern strikt nach Norm vorgegangen.

Da der Aufwand sämtliches Bauholz zu analysieren den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen würde, wurden nur bestimmte Bauteile untersucht. Es wurden jene gewählt, welche Anzeichen einer Festigkeitsminderung, wie zum Beispiel lange Risse oder große Astigkeit, aufwiesen. Die visuelle Voruntersuchung beschränkt die Analyse auf alle Kehlbalken, alle Stuhlsäulen und einen Druckriegel (Hauptgespärre 2.0).

Da es sich hier um eingebautes Holz handelt, waren nicht alle Seiten von bestimmten Bauteilen einsehbar. So ist zum Beispiel in den Hauptgespärren die Unterseite der Kehlbalken durch die Druckriegel beziehungsweise die Rückseite der Stuhlsäule durch die Sparren verdeckt. Da die Kraftübertragung der zu untersuchenden Bauteile, über die Stirnflächen erfolgt, befindet sich die-

se innerhalb der Verbindung und sind somit ebenfalls nicht einsehbar.

Ausgenommene Sortierkriterien:

Eine Ausnahme bilden die durch Pilz- und/oder Insektenbefall geschädigten Bauhölzer. Die Norm DIN 4074-1 regelt nur die Sortierung von *frischem* Bauholz. Zu diesem Zeitpunkt wird Faulholz noch vor dem Einbau aussortiert.

Auch in einem historischen Bauwerk kann davon ausgegangen werden, dass die Bauteile in einem guten Zustand eingebaut wurden. Mangelnde Instandhaltungsmaßnahmen können aber dazu führen, dass Fäule nach dem Einbau entsteht. Weil im Zuge einer Sanierung geschädigte Bauteile sowieso ganz oder teilweise ersetzt werden müssen, werden diese Punkte bei der Sortierung nicht beachtet. Dies trifft auch auf Bauteile zu, welche von Insekten befallen sind.

Die komplette Auflistung der Bauteile samt den diesbezüglichen Untersuchungsergebnissen befindet sich im Anhang Kap. 8.

Berücksichtigte Sortierkriterien und ihre Ergebnisse:

Die **Astigkei**t wurde im Rahmen der Bestandsaufnahme untersucht. Dabei wurde der maximale Astdurchmesser jeweils in das Verhältnis zur jeweiligen Breite beziehungsweise Höhe gesetzt.

Die **Faserneigung** ist laut Norm DIN 4047-1 (vgl. [21]) anhand der Neigung der Schwindrisse erkenn- und messbar.

Die **Markröhre** ist immer vorhanden, da es sich um gehackte Querschnitte handelt. Das Vorhandensein (beziehungsweise die Lage) der Markröhre hat Einfluss auf das Quell- und Schwindverhalten, sowie die Festigkeit eines Bauteils. Die Markröhre wird aus folgenden Gründen für die Sortierung vernachlässigt: Erstens, weil bei historischen Dachstühlen die Rissbildung, welche durch das Quellen und Schwinden verursacht wird, schon als abgeschlossen angesehen werden kann. Zweitens ist die Markröhre im Zentrum des Bauteils. Dadurch befindet sich das sogenannte adulte Holz, welches eine höhere Festigkeit als juveniles Holz besitzt, im hochbeanspruchten Randbereich des Querschnittes. (vgl. Kap. 3).

Die **Jahresringbreite** ist in bereits eingebauten Bauteilen in der Regel visuell nicht erfassbar und wurde daher vernachlässigt.

Radiale **Schwindrisse** sind generell zulässig. Es gibt aber, je nach Ausmaß (Länge, Tiefe), eine Einteilung in die verschiedenen Sortierklassen. Die Zuordnung der Bauteile in die Sortierklassen ergab, dass der Druckriegel und die Kehlbalcken eine Mindestsortierklasse von S10 haben. Die auftretenden Risse verlaufen aber normal zur Breite und bedeuten somit keine Schwächung des Querschnittes bezüglich der Schubkraftabtragung. Diese Erkenntnis führt zu einer Korrektur der Mindestsortierklasse für den Druckriegel (siehe Tab. 8.1).

Die Kehlbalcken würden bezüglich der Schwindrisse auch eine höhere Mindestsortierklasse rechtfertigen. Da aber bei ihnen die Faserneigung eine die Mindestsortierklasse S10 ergibt, wird die Klasse nicht korrigiert.

Blitzrisse, Frostrisse und Ringschäle sind nicht zulässig. Bei der Analyse wurden keine Risse dieser Art gesehen.

Die **Baumkante** ist jener Teil des Schnittholzes, welcher nicht von einem Sägeschnitt erfasst worden ist (vgl. [36] S. A.5/29). Baumkante war keine vorhanden.

Verfärbung ist zulässig, wenn sie die Festigkeit nicht beziehungsweise nur in einem gewissen Maß reduziert. Es wurden keine Verfärbungen gefunden.

Weißfäule wurde keine gefunden.

Braunfäule wurde an manchen Sparren- und Stuhlsäulenfußpunkten gesichtet, wird aber im

Rahmen der Sortierung ignoriert (siehe Kap. 8.1 Ausgenommene Sortierkriterien).

Druckholz wird im lebenden Baum als Reaktion auf einen äußeren Krafteinfluss gebildet. Es hat großen Einfluss auf das Quell- und Schwindverhalten von Bauteilen. Da sich in eingebautem Holz bereits die Ausgleichsfeuchte eingestellt hat und somit keine Quell- und Schwindverformungen mehr zu erwarten sind, spielt es für die Sortierung von eingebautem Holz nur eine untergeordnete Rolle und wird daher ignoriert (vgl. [8] S. 39).

Insektenbefall wurde an den tragenden Bauteilen, im Gegensatz zu dem auf den Bundträmen aufliegenden Bretterboden, nicht festgestellt. Ein Grund dafür könnte im Alter des Bauholzes liegen.

Bauteile	Astigigkeit	Faserneigung	Schwindrisse	Sortier-/Festigkeitsklasse (vgl. [31])
Kehlbalken	S13	S10	S10	S10 / C24
Druckriegel	S13	S13	S10	S13 / C30
Stuhlsäule	S13	S13	S13	S13 / C30

Tab. 8.1: Mindestsortierklasse laut DIN und Korrektur

Da für die Zuteilung der Bauteile zu den jeweiligen Mindestfestigkeitsklassen nur jene Hölzer untersucht worden sind, welche augenscheinlich festigkeitsmindernde Eigenschaften besitzen, werden allen anderen Bauteilen die Festigkeitsklasse C30 zugeordnet (vgl. [31]).

Bauteil	Festigkeitsklasse
Brustriegel	C30
Bundtram	C30
Hahnenbalken	C30
Kopfband	C30
Mauerbank	C30
Rähm	C30
Sparren	C30
Stuhlsäulenknechte	C30
Windrispe	C30

Tab. 8.2: Festigkeiten der anderen Bauteile

8.2 Analyse der Holznägel

Das verwendete Holz für das Tragwerk ist Fichte. Diese Erkenntnis wurde durch eine visuelle Untersuchung erlangt. Die Holzart von den Holznägeln lässt sich hingegen nur durch eine visuelle Untersuchung und zusätzlicher Bestimmung der Rohdichte feststellen. Für die Bestimmung der Rohdichte wurde eine Probe entnommen. Es wird davon ausgegangen dass für die Holznägel innerhalb des ausgewählten Bereiches die gleiche Holzart verwendet wurde. Daher wird die Bestimmung der Rohdichte von nur *einer* Probe als ausreichend genau angesehen.

Analyse:

- Kernholzart, da eine Dunkelfärbung erkennbar ist
- Das Holz ist zerstreutporig
- Dichte: Probeentnahme

$$\rho_0 = 0,61 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

ρ_0 ... Darrdichte

$$\rho_u = 0,66 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

ρ_u ... Rohdichte

- Farbe: Splintholz = gelblich weiß,
- Farbe: Kernholz = rotbraun



Abb. 8.1: Holznagelquerschnitt

Alle diese Merkmale treffen auf das Holz der *Kirsche* zu.

Bestimmung der Holzfeuchte erfolgt mittels Darrmethode (vgl. Kap. 2).

$$m_o = 12,15 \text{ [g]}$$

m_o ...darrtrockene Masse

$$m_u = 13,25 \text{ [g]}$$

m_u ... Masse des feuchten Holzes

$$m_w = 1,10 \text{ [g]}$$

m_w ... Masse des Wassers

$$u = \frac{m_u - m_o}{m_o} \cdot 100 = \frac{13,25 - 12,15}{12,15} \cdot 100 = 9,0 \text{ \%}$$

u ... prozentuale Holzfeuchte

Mittlere Normal-Rohdichte für 12 % Holzfeuchte (vgl. [35]):

$$\rho_{\text{mean},12} = 0,60 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Umrechnung der mittleren Rohdichte von 12 % auf 9 % Holzfeuchte (vgl. [22] S. 10):

$$\rho_{\text{mean},9} = 0,615 + \frac{0,615 \cdot 3 \cdot 0,5}{100} = 0,624 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Der 5% Fraktilwert der Rohdichte beträgt (vgl. [22] S. 10):

$$v = 9 \text{ \%}$$

v ...Variationskoeffizient (angenommen)

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

s ...Standardabweichung

$$s = v \cdot \bar{x} = 0,09 \cdot 0,624 = 0,056 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

\bar{x} ...Mittelwert

$$\rho_{05} = \rho_{\text{mean},9} - 1,65 \cdot s = 0,615 - 1,65 \cdot 0,056 = 0,523 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Tragfähigkeit des Holznagels laut [8] S. 83:

$$z_{ul}F = 4 \cdot d^2 \cdot \frac{\rho_{HN}}{\rho_{0,05}} = 4 \cdot 25^2 \cdot \frac{0,66}{0,523} = 3155 \text{ [N]} = 3,16 \text{ [kN]}$$

Das Tragverhalten eines Holznagels ist dem eines stiftförmigen Verbindungsmittel, wie zum Beispiel Nägel, Stabdübel oder Bolzen sehr ähnlich. Das Problem der Lochleibung, wie es zum Beispiel bei einer Stabdübelverbindung vorkommen kann, ist bei einem Holznagel wegen seines geringeren Biege widerstands ausgeschlossen. Der Biege widerstand eines Holznagels hängt sowohl von seiner Geometrie, als auch von seiner Rohdichte ab. (vgl. [8] S.81)

Da das Bauholz des Dachstuhls eine hohe Qualität aufweist, kann man auch davon ausgehen, dass das Material für die Holznägel sorgfältig ausgesucht wurde (fehlerfreies Material). Die berechnete Tragfähigkeit des Holznagels ist der Wert pro Scherfläche.

Überschlagsmäßige Umrechnung des deterministischen Wertes $z_{ul}F$ auf den semiprobabilistischen Wert R_d :

Berechnung nach DIN [19], Tabelle1:

$$z_{ul}\sigma = \frac{f_k}{k_\sigma} \quad \text{mit } k_\sigma = 2,1 \quad \dots \text{ Umrechnungsfaktor: char. Wert d. Spannung - zul Spannung}$$

$$z_{ul}\sigma = \frac{f_k}{2,1} \quad \rightarrow \quad z_{ul}\sigma \cdot 2,1 = f_k \quad \text{mit} \quad f_k = \frac{f_d \cdot \gamma_m}{k_{mod}} = \frac{f_d \cdot 1,3}{0,9}$$

$$z_{ul}\sigma \cdot 2,1 = \frac{f_d \cdot 1,3}{0,9} \quad \frac{z_{ul}\sigma \cdot 2,1 \cdot 0,9}{1,3} = f_d \quad f_d = z_{ul}\sigma \cdot 1,45$$

Anmerkung: Der Wert k_σ gilt für Biegebeanspruchungen und Zugbeanspruchungen parallel zur Faser.

Überprüfung der Berechnung:

Semiprobabilistisches Konzept (Grenzfall):

$$\frac{N_{R,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = N_E \cdot \gamma_E \quad \rightarrow \quad \frac{N_{R,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m \cdot \gamma_E} = N_E$$

Deterministisches Konzept (Grenzfall):

$$\frac{N_{R,m}}{\gamma_{global}} = N_E$$

$$\frac{N_{R,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m \cdot \gamma_E} = \frac{N_{R,m}}{\gamma_{global}}$$

$$\frac{N_d}{\gamma_E} = z_{ul}N \quad \rightarrow \quad N_d = z_{ul}N \cdot \gamma_E = z_{ul}N \cdot 1,45$$

$$N_d = 3,16 \cdot 1,45 = 4,58 \text{ [kN]}$$

Nachgiebigkeit des Holznagels: (vgl. [8] S. 84)

$$C = 1,0 \cdot z_{ul}N = 3160 \text{ [N/mm]}$$

9 Bereich XI - Aufnahme und Modellbildung

Dieses Kapitel dient als Grundlage für die Eingabe der Daten in das Statikprogramm. Dafür müssen gewisse Vereinfachungen getroffen werden, welche anfänglich beschrieben werden. Weiters werden die Unterschiede der Modelle erläutert und anschließend sämtliche Verbindungen, welche im Bereich IX vorkommen analysiert. Dabei werden die Tragfähigkeit unter einer Zugbeanspruchung, die Exzentrizität und die Nachgiebigkeit untersucht.

9.1 Querschnitte

In statisch unbestimmten Systemen werden die Schnittkraftverläufe ($N_{(x)}$, $V_{y(x)}$, $V_{z(x)}$, $M_{y(x)}$, $M_{z(x)}$, $M_{t(x)}$) von den Steifigkeiten innerhalb dieses Systems beeinflusst. Die Steifigkeit ist der Widerstand gegen die Verformung, welche durch eine Einwirkung hervorgerufen wird. Sie ist einerseits von dem Material (Elastizitätsmodul, Schubmodul) und andererseits von der Geometrie abhängig. Beschrieben kann sie allgemein über die Steifigkeitsmatrix werden.

Im Fall des Dachstuhls im Stift Zwettl wurde jedem Bauteil eine Festigkeitsklasse und somit ein Elastizitätsmodul zugeordnet (siehe Kap. 5.2). Die Steifigkeit kann sich somit innerhalb eines Bauteils nur dann ändern, wenn sich der Querschnitt ändert.

Eine realitätsnahe Steifigkeitsverteilung und somit eine genaue Schnittkraftermittlung wäre nur möglich, wenn im statischen System jeder Stab genau mit seinen individuellen Abmessungen berücksichtigt werden würde. Der Aufwand für die Eingabe in das Statikprogramm würde durch die große Anzahl von verschiedenen Querschnitten unübersichtlich (= hohe Fehleranfälligkeit) werden und den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Weiters würde die Genauigkeitsverbesserung der Schnittkräfte, durch die relativ großen Unsicherheiten in der Modellierung der Verbindungen (Ermittlung von Nachgiebigkeiten und Exzentrizitäten) wieder zunichte gemacht werden. Die Querschnittsabmessungen werden somit *gemittelt* und wie folgt aufgenommen:

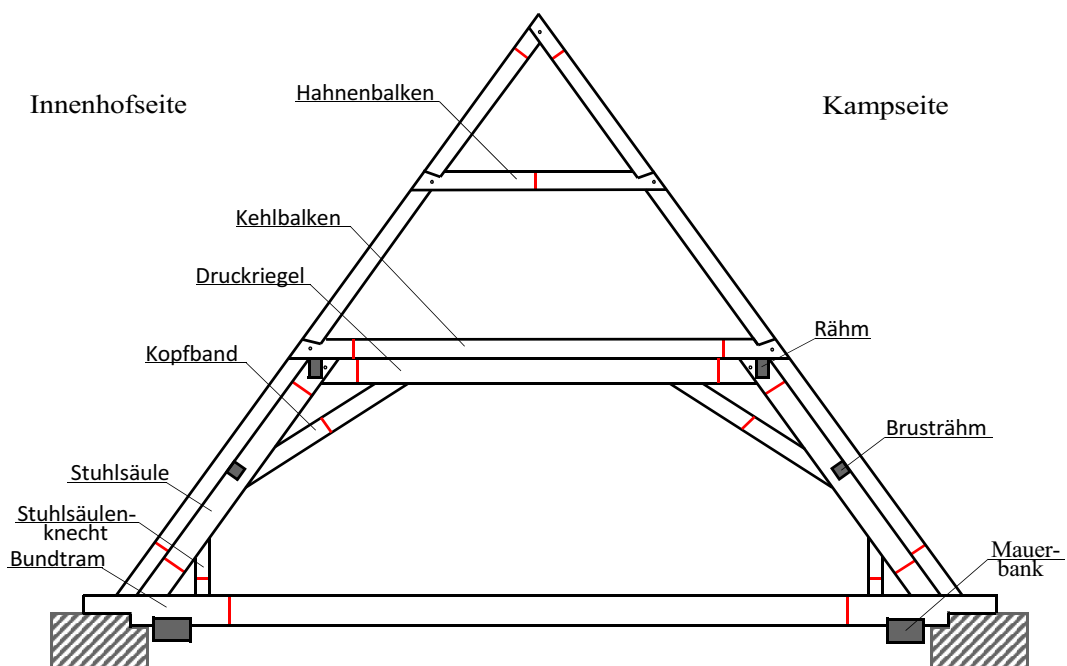


Abb. 9.1: Messpunkte der Querschnitte eines Hauptgespärres

Da bei den Bauteilen: **Bundtram**, **Kehlbalken** und **Sparren** zwischen den Hauptgespärren (HG) und Leergespärren (LG) kein signifikanter Größenunterschied vorlag, wurde beim Errechnen des Mittelwertes nicht zwischen HG und LG differenziert. Es wird darauf hingewiesen, dass es sich hierbei nur um eine Näherung handelt, da nur drei Hauptgespärre aufgenommen wurden und somit keine statistische Aussage möglich ist.

Mögliche Querschnittsänderungen beziehungsweise Querschnittsunterschiede wurden bei der Mittelung berücksichtigt:

Querschnittsänderungen innerhalb eines Bauteils (Konizität)

Bei historischen Dachstühlen kann es oft zu sehr starken Querschnittsverjüngungen kommen, da die eingebauten Bauteile dem Stammwuchs folgend behauen und nicht parallel geschnitten wurden.

Um den Einfluss der Konizität zu berücksichtigen, wurden bei langen Bauteilen, wie zum Beispiel den Sparren, die Querschnitte am Anfang und am Ende gemessen (siehe Abb. 9.1 rot) und extra gemittelt. Beide Mittelwerte wurden anschließend miteinander verglichen.

Bei **Bundträme**, **Kehlbalken**, und **Druckriegel** liegt die Abweichungen der Breiten beziehungsweise der Höhen innerhalb des Bauteils in der Größenordnung von maximal einem Zentimeter. Da sich der geringe konische Einfluss auf die Schnittkraftumlagerung kaum auswirkt, wird für die Modellierung ein konstanter Querschnitt angenommen. Dabei wird die geringere Querschnittshöhe beziehungsweise Breite der gemittelten Werte verwendet.

Bei den **Stuhlsäulen** ist die Breite des Stuhlsäulenfußes gleich jener des Stuhlsäulenkopfes. Die Höhe weist aber eine Differenz von maximal 5 cm auf. Da nur drei Hauptgespärre aufgenommen wurden und so nicht auf eine allgemein gültige Querschnittsabweichung rückgeschlossen werden kann, wird die Stuhlsäule ebenfalls mit einem konstanten Querschnitt angenommen. Um einen genaueren Aufschluss über die Konizität der Stuhlsäule zu bekommen, müssten weitere Stuhlsäulen in die Berechnungen der Mittelwerte genommen und untersucht werden, worauf hier verzichtet wurde. Auch bei der Stuhlsäule wird ebenfalls die geringere Querschnittshöhe der gemittelten Werte verwendet.

Die **Sparren** haben einen Unterschied von maximal zwei Zentimeter innerhalb der Querschnittsabmessungen.

Berechnungen, welche den Einfluss der Konizität auf die Schnittkräfte untersuchten kamen zum Schluss, dass bei einem Zweifeldträger mit einem abschnittsweisen konstantem Querschnitt, eine Abweichung der Schnittkräfte gegenüber der analytischen Berechnung von bis zu 3 % auftreten kann. Verwendet wurde in der Untersuchung dabei ein Anfangsquerschnitt von 18 x 14 cm und ein Endquerschnitt von 15 x 12 cm. Die Länge des Zweifeldträgers betrug insgesamt 9,1 m. (vgl. [17] S.103–106)

Im Vergleich mit den Sparren des Stiftes Zwettl bedeutet dies, dass einerseits die Querschnittsabweichung, zwischen Anfangs- und Endquerschnitt, im Stift geringer ist und dass es sich nicht um einen Zweifeldträger, sondern durch die Kehlbalken und Hahnenbalken annähernd um einen Dreifeldträger handelt. Der Längenunterschied zwischen der gesamten Sparrenlänge des aufgenommenen Bereiches und dem Zweifeldträger der zuvor erwähnten Berechnungen beträgt 1 m. Würde man den Sparren als abschnittsweise konstant betrachten, wäre die Querschnittsdifferenz zwischen den Feldern unter 1 cm. Dies ist vernachlässigbar, da die Querschnittsaufmaßgenauigkeit ebenfalls im Zentimeterbereich liegt. Auch hier wird der geringere Mittelwert der Querschnitte verwendet.

Querschnittsunterschiede gleicher Bauteile innerhalb eines Gespärres:

Mehrfach vorkommende Bauteile innerhalb eines Gespärres sind: Sparren, Stuhlsäule und Kopfband. Das Tragwerk im aufgenommenen Bereich ist leicht unsymmetrisch. Durch die darauffolgende unterschiedliche Kraftverteilung könnte es sein, dass gewisse Bauteile, wie zum Beispiel die Sparren auf einer Seite stärker ausgebildet wurden, als auf der anderen. Um den Einfluss möglicher Querschnittsunterschiede des gleichen Bauteils innerhalb eines Gespärres zu erfassen, wurde bei der Querschnittsaufnahme zwischen Innenhofseite und Kampseite unterschieden (siehe Abb. 9.1). Die Werte wurden seitenweise extra gemittelt und anschließend miteinander verglichen.

Bei dieser Untersuchung wurde festgestellt, dass die Abweichungen hier wiederum vernachlässigbar gering sind.

Bei den **Rähmen** und **Windrispen** wird ebenfalls ein konstanter Querschnitt angenommen. Die Querschnitte der Rähme wurden bei jedem Gespärre gemessen. Die Windrispen wurden immer im Bereich der Anschlüsse an die Hauptgespärre gemessen.

Es ergeben sich folgende gemittelte Querschnittswerte:

Hauptgespärre und Leergespärre	b [cm]	b _{min} [cm]	b _{max} [cm]	h [cm]	h _{min} [cm]	h _{max} [cm]
Brustriegel	16	15	17	21	20	22
Bundtram	23	20	26	32	22	38
Druckriegel	19	18	20	23	20	25
Hahnenbalken	16	12	17	17	14	19
Kehlbalken	14	12	17	18	15	22
Kopfband	17	16	20	20	19	22
Mauerbank	30	29	33	23	20	26
Rähm	15	14	17	19	19	21
Sparren	18	17	20	15	13	17
Stuhlsäule	19	18	22	33	32	40
Stuhlsäulenknecht	18	17	19	21	20	24
Windrispe	18	16	20	14	13	16

Tab. 9.1: Bauteilquerschnitte

9.2 Das Tragsystem und die statische Modellbildung

9.2.1 Tragwerk

Das Tragwerk im Bereich XI kann als **Kehlbalkendach mit Hahnenbalken und zweifach liegendem Stuhl mit Stuhlsäulenknechten** bezeichnet werden. Aufgrund des sich im westlichen Teil verschmälernden und im östlichen Teil wieder verbreiternden Grundrisses (siehe Abb. 5.39) variiert die Neigung der südlichen Dachflächen ebenfalls. Die Neigung im Norden bleibt konstant. Somit haben die innenhofseitigen Sparren durchgehend 56° und jene, welche sich auf der Kampseite befinden variieren zwischen 54° bis 61° .

Für jenen Teil des Traktes, welcher für die Modellbildung aufgenommen wurde, ergeben sich im Durchschnitt folgende Dachneigungen:

- $\alpha_1 = 56^\circ$ (innenhofseitig)
- $\alpha_2 = 61^\circ$ (kampseitig)

Der aufgenommene Bereich befindet sich im ersten Teil (= westlicher Teil bis zum Anschluss des Bereiches XII) des Bereiches XI und umfasst drei Hauptgespärre mit je vier Leergespärre mit einem Abstand von 0,6 m dazwischen. In Längsrichtung verlaufen die Rähme, die Brustriegel und die Windrispen. Die Gespärre in diesem Bereich sind gegenüber der Mauerbank um ca. 6° schräg gestellt (siehe Abb. 5.39 rot), damit sie an die Gespärre im östlichen Teil des Traktes parallel anschließen können. Diese Schrägstellung wird in der Modellierung nicht berücksichtigt. Um die Tragwirkung dieses Systems möglichst wirklichkeitsnahe darstellen zu können, ist es notwendig dreidimensional zu modellieren. (vgl. [8], [11])

Achsenbezeichnung (global):

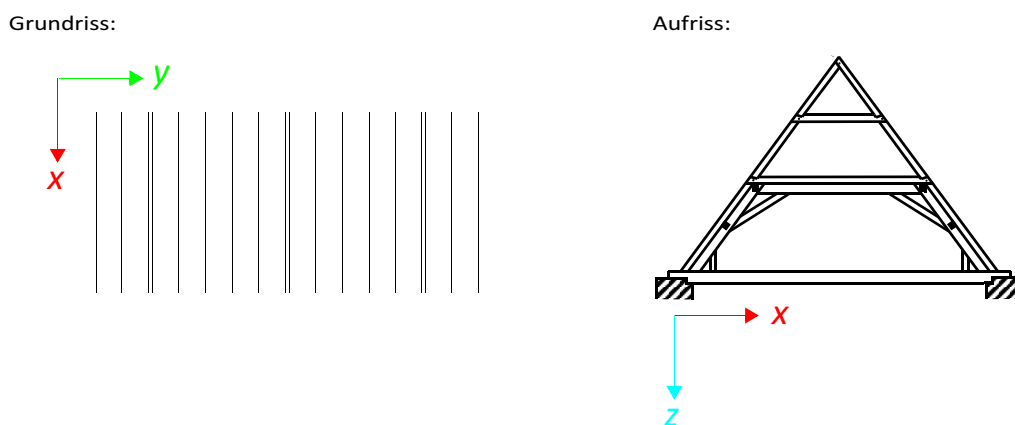


Abb. 9.2: Achsenbezeichnung

9.2.2 Modellbildung

Folgende Modelle und Zustände werden untersucht:

Teil 1 - System ist in Ordnung

Statisch Linear:

- Modellierung ohne Exzenter und ohne Federn (= M0)

Statisch Nichtlinear:

- Modellierung ohne Exzenter und ohne Federn (= M1)
- Modellierung mit Exzenter ohne Federn (= M2)
- Modellierung ohne Exzenter und mit Federn (= M3)
- Modellierung mit Exzenter und mit Federn (= M4)

Teil 2 - einzelne Verbindungen fallen aus

- Simulierung: Ausfallen aller Sparrenfußpunkte der Kampseite

Theorie I. Ordnung: [37]

In allen Modellen werden die Schnittkräfte nach Theorie I. Ordnung berechnet. Dies bedeutet, dass Gleichgewichtsgleichungen am unverformten System bestimmt werden. Weiters ist die Struktur im Grundzustand frei von Schnittkräften. In allen Modellen wird eine ideal gerade Stabachse angenommen.

Die geometrischen Imperfektionen werden erst in der Nachweisführung durch das Ersatzstabverfahren berücksichtigt. Weiters ist die Bernoulli-Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte gültig.

Linearität: [1]

Die Voraussetzung einer Linearität ist, dass die Schnittkraftgrößen, Spannungen, Verformungen, Verzerrungen und Auflagerreaktionen *proportional* zu der einwirkenden Belastung sind (vgl. [1]). Das statische System ist nicht von der Art und Größe der Belastung abhängig.

Bezüglich der Lasteingabe in das Statikprogramm bedeutet dies, dass im linearen System (M0) die Kombinationen der Lasten direkt mit den einzelnen Lastfällen durchgeführt werden können. Dies ist durch die Gültigkeit der Superpositionsprinzipes möglich.

In den nichtlinearen Systemen (M1-M4) gilt das Superpositionsprinzip nicht mehr. Dies bedeutet für die Eingabe in das Statikprogramm, dass sämtliche Lastfallkombinationen zuerst in Lastfallgruppen definiert werden müssen. Um die maximalen Schnittkräfte für jeden einzelnen Stab zu ermitteln, müssen die Ergebnisse aus den Lastfallgruppen miteinander kombiniert werden.

Nichtlinearität bedeutet, dass das statische System von der Art und Größe der Belastung abhängig ist. Prinzipiell gibt es zwei Arten von *Nichtlinearität*. Diese sind die werkstoffbedingte Nichtlinearität (= materielle Nichtlinearität) und die geometrisch bedingte Nichtlinearität (= strukturelle Nichtlinearität). Die werkstoffbedingte Nichtlinearität verursacht beispielsweise durch Plastizieren des Materials und der dadurch entstehenden plastischen Gelenke eine Veränderung des statischen Systems. Bei der geometrischen Nichtlinearität, wie sie zum Beispiel bei der Berechnung nach Theorie II. oder III. Ordnung auftritt, ändert sich die Geometrie des statischen Systems je nach Belastungen.

Für die Modellbildung des Dachstuhls und die Schnittkraftermittlung nach Theorie I Ordnung hat die geometrische Nichtlinearität somit keine, die materielle Nichtlinearität (zum Beispiel: der Ausfall eines Bauteiles) jedoch große Bedeutung. Dies wird anhand eines einfachen Beispiels erklärt:

Betrachtet man *nur* den liegenden Stuhl eines Gespärres und eine alleinige horizontale Einwirkung F , welche einmal aus Norden und einmal aus Süden kommt, ist die Veränderung des statischen Systems anhand der Kopfbänder ersichtlich (siehe Abb. 9.3). Der Anschluss von Kopfbändern (zum Beispiel: Weißschwanzverbindung, Schwalbenschwanzverbindung, Hakenblatt) ist grundsätzlich für eine Druckbeanspruchung ausgelegt. Dies wird im Zuge der Modellbildung unterschiedlich berücksichtigt. Sowohl die Eingabe als reinen Druckstab (= Ausfall unter einer Zugbeanspruchung) wie in M1 als auch die Berücksichtigung von Exzentrizitäten oder Nachgiebigkeiten verursachen eine Änderung des statischen Systems.

Betrachtet man die Kopfbänder zum Beispiel als reine Druckstäbe, da sie über den Holznagel nur sehr geringe Zugkräfte aufnehmen können, wird je nach Belastungsrichtung ein anderes Kopfband beansprucht und das gegenüberliegende fällt aus. Durch das Ausfallen eines Kopfbandes ändert sich auch das statische System (= materielle Nichtlinearität).

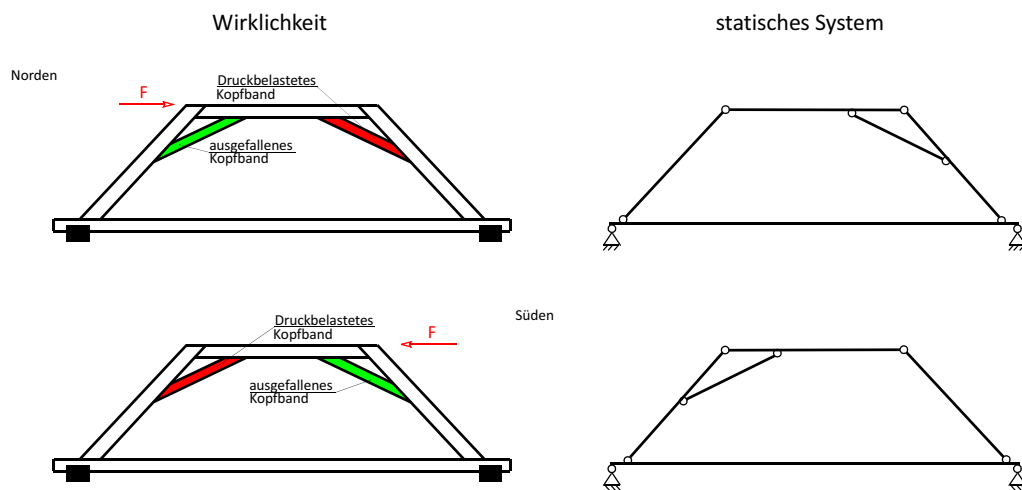


Abb. 9.3: System veränderlicher Gliederung

9.2.3 Exzenter

Exzenter dienen in der statischen Modellbildung dazu, die Genauigkeit der Schnittkräfte zu erhöhen. Infolge der Festlegung von Exzenter soll der Einfluss der Lage der Kraftübertragungsfläche in den Verbindungen auf die globalen Schnittkräfte quantifiziert werden.

Stäbe, welche mit zimmermannsmäßigen Verbindungen an andere Stäbe angeschlossen werden, sind aufgrund der in der Regel geringen Einspannwirkung dieser Verbindungen, in der statischen Modellbildung, mit Gelenken zu versehen. Das heißt, es werden nur Normalkräfte und Querkkräfte, aber keine Momente (M_y , M_z) übertragen. Die Übertragbarkeit der Torsionsmomente ist für jede Verbindung gegeben.

Das Tragwerk eines Dachstuhls besteht aus Bauteilen, welche als Stabelemente bezeichnet werden können. Das statische Modell ist eine Idealisierung des Tragwerks zum Zwecke der Berechnung und der Bemessung (vgl. [23] Punkt 1.5.1.10). Die Einwirkungen laut Eurocode 0 (vgl.

[23]), welche das Modell belasten, wirken in den Systemachsen der Stabelemente. Bei räumlichen Biegestäben kann eine Normalkraft (N), zwei Querkräfte (V_y , V_z), zwei Biegemomente (M_y , M_z) und ein Torsionsmoment (M_x) auftreten.

Nicht alle diese Kräfte können durch die Verbindungen auf die anschließenden Stäbe übertragen werden. Viele zimmermannsmäßige Verbindungen haben die Eigenschaft, dass sie in der Modellbildung prinzipiell einen gelenkigen Anschluss darstellen, die Kraftübertragung aber exzentrisch ist. Diese Exzentrizität entsteht dann, wenn sich der Schwerpunkt der Kraftübertragungsfläche einer Verbindung nicht in der Systemachse des Stabes befindet. Die Exzentrizität ist also von der Art der Verbindung und ihren Bauteilabmessungen abhängig und muss individuell erörtert werden.

Schließt man in der Modellierung einen Stab gelenkig an einen anderen, wobei sich das Gelenk im Schnittpunkt der Systemachsen befindet, wird der Einfluss der exzentrischen Kraftübertragung nicht berücksichtigt. Um zu jenen Schnittkräften zu gelangen, welche den Einfluss der exzentrischen Kraftübertragung berücksichtigen, müssen gezielt zusätzliche Stabelemente eingebaut werden. Diese Stäbe werden *Exzenter* genannt.

Prinzipiell wird in dieser Arbeit zwischen zwei Arten von Exzentern unterschieden. Der erste Typ wird als „*Systemlinienexzenter*“ bezeichnet und wird bei Querschnittsveränderungen, wie zum Beispiel Ausklinkungen verwendet. Ausklinkungen verursachen einen Sprung der Systemlinie. Ein Systemlinienexzenter verbindet diese beiden Systemlinien miteinander und stellt somit wieder einen Kraftfluss her. Der zweite Typ von Exzentern ist der *Kraftübertragungsexzenter* und verbindet die Systemachse mit dem Schwerpunkt der Kraftübertragungsfläche. Da der zweite Typ häufiger vorkommt als der erste, wird dieser nur mit „*Exzenter*“ bezeichnet. Exzenter und Systemlinienexzenter die eine Länge unter 3 cm aufweisen werden vernachlässigt.

Verbindungen mit einer Kraftübertragungsfläche:

Kraftübertragungsflächen sind in dieser Arbeit Flächen, an denen die Kraft von einem Bauteil auf den anderen oder umgekehrt, übertragen wird. *Krafteinleitungsflächen* sind Flächen, in denen die Kraft von einem Bauteil in den anderen eingeleitet wird, aber nicht umgekehrt. Dies ist auch mit einem Materialwechsel verbunden (zum Beispiel: Mauerbank-Mauer).

Der Exzenter E1 leitet die zu übertragende Normalkraft beziehungsweise Querkraft, welche in der Systemachse des Stabes S1 verlaufen in den Schwerpunkt der Kraftübertragungsfläche. Anschließend wird durch einen Exzenter E2 die Last wieder von der Kraftübertragungsfläche in die Systemachse des Stabes S2 geleitet. Durch diese Auslenkung der Kräfte (N , V_y , V_z) entsteht eine zusätzliche Momentenbelastung. Beide Exzenter werden in dieser Arbeit als normal auf die Systemachse ihres jeweiligen Bauteils stehend definiert. Diese hat den Vorteil, dass die Richtung des Exzenter dieselbe ist als jene, in der die größte Nachgiebigkeit innerhalb der Verbindung, auftritt. Der Anschluss der Exzenter erfolgt starr an die Systemachse und gelenkig untereinander. Systemlinienexzenter werden beidseitig starr angeschlossen.

In der Modelleingabe muss berücksichtigt werden, dass Exzenter künstliche Zusatzelemente sind, welche nur für die Kraftauslenkung zuständig sind und daher kein zusätzliches Gewicht verursachen dürfen. Daher wurde ihr spezifisches Gewicht gleich Null gesetzt. Weiters sind Exzenter kein Bauteil im wirklichen Tragwerk, sondern bewirken nur eine Kraftauslenkung im Modell. Dies bedeutet, dass sie keine Nachgiebigkeit besitzen.

Bei Verbindungen eines Dachstuhls kann man zwischen Exzentrizitäten *in* der Gespärreebene und *aus* der Gespärreebene unterscheiden. Diese verursachen entweder zusätzliche Momente um die starke oder schwache Achse. Es muss daher jede Verbindung individuell auf ihre Exzentrizitäten untersucht werden.

Bei der Berücksichtigung der Exzentrizität *aus* der Gespärreebene werden allerdings nur jene

Exzentrizitäten berücksichtigt, welche sich aus der Geometrie der Verbindung schließen lassen. Dies ist zum Beispiel bei der Überblattung der Kehlbalken-Sparrenverbindung der Fall. Unsymmetrien, die auf handwerklicher Vorgehensweise beruhen, wie es zum Beispiel bei den Bundtram-Sparrenanschlüssen vorkommen kann, werden vernachlässigt. Exzentrizitäten unter 3 cm werden ebenfalls vernachlässigt.

Verbindungen mit zwei Kraftübertragungsflächen für Druck- und Zugbeanspruchung:

Probleme stellen jene Verbindungen dar, welche *mehrere* Kraftübertragungsflächen besitzen und jede dieser Fläche mehr als *eine* Kraft (= Zug und Druck) überträgt. Dies würde bedeuten, dass jeder Anschluss insgesamt vier Exzenter (zwei für jede Kraftübertragungsfläche pro Bauteil) besitzt. Durch die Verwendung von mehreren Exzentern kommen zusätzliche Einflüsse zum Vorschein, welche die Schnittkräfte verändern. Es ist aber nicht sicher, ob diese Einflüsse auch eine Verbesserung hervorrufen.

Argumente gegen eine Verwendung von mehr als zwei Exzentern sind:

- Fehlende Überprüfbarkeit der Schnittkräfte auf Plausibilität anhand des erstellten Modells
- Zwei oder mehr Exzenter pro Stab und Anschluss, welche sowohl Druck als auch Zugkräfte aufnehmen können, bewirken Kräfte, welche in einer Wechselwirkung zueinander stehen. Die Eingabe der Exzenter in das Statikprogramm unter Berücksichtigung aller Komponenten, welche diese Kraftaufteilung zwischen den Exzentern, beeinflussen ist aufgrund der Anzahl der Einflüsse nicht möglich. Einflüsse auf die Aufteilung der Kräfte in den Exzentern sind:
 - Geometrie der Verbindung (zum Beispiel: Zapfenbreite, Zapfentiefe)
 - Geometrie des statischen Systems (Anschlusswinkel der Stäbe)
 - Nachgiebigkeiten innerhalb der Verbindung
 - Reibung
 - Verhältnis der Querkraft zur Normalkraft
 - Verformungen des Gesamtsystems
- Mehrere Exzenter, welche auf Druck und Zug wirken, verursachen eine Einspannwirkung. Da aber der Anschluss in der Regel gelenkig sein soll, müssten diese Einspannungen wieder aufgehoben werden, was wiederum Einfluss auf die Schnittkräfte hätte.

Um diesem Problem entgegenzuwirken, muss man für jede Verbindung individuell je *einen* Exzenter für eine Druckbelastung *und* je *einen* für eine Zugbelastung oder einen Exzenter für eine Druck- und Zugbelastung festlegen. Dieser wird in jene Kraftübertragungsfläche gesetzt, welche die größeren Kräfte überträgt.

Konkrete Überlegungen zur Festlegung zutreffender Exzenter werden in der individuellen Untersuchung der einzelnen Verbindungen bezüglich ihrer Exzenter behandelt (siehe Kap. 9.3).

9.2.4 Nachgiebigkeit (Federn)

Die Nachgiebigkeit der Verbindungen wird durch das Eingeben von Federn berücksichtigt.

Nachgiebigkeiten beeinflussen das Ergebnis der Schnittkräfte (vgl. [8], [11], [17]), da in einem statisch hochgradig unbestimmten System die globale Lastabtragung, von der Dachhaut über das

Tragwerk des Dachstuhls in das Mauerwerk, von den Steifigkeiten der Bauteile und deren Verbindungsmitteln beeinflusst werden. Der Kehrwert der Steifigkeit ist die Nachgiebigkeit. Anders ausgedrückt: Weist ein Bauteil oder seine Verbindungen eine große Nachgiebigkeit auf, entzieht es sich der Kraftaufnahme.

Das Nachgiebigkeitsverhalten einer Verbindung wird durch den anfänglichen Schlupf und den nichtlinear anwachsenden, teilweise irreversiblen Verformungen bestimmt (vgl. [8] S. 89).

Anfangsverschiebungen in den Verbindungen werden in der Berechnung der Nachgiebigkeiten in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da man davon ausgehen kann, dass in einem historischen Dachstuhl eventuelle Klaffungen in einer Verbindung durch Kriechdeformationen schon geschlossen sind (vgl. [17] S.118).

Weiters werden die in der Wirklichkeit auftretenden, nichtlinearen Verformungsverhalten für den Bereich der positiven Übertragungskraft beziehungsweise der negativen Übertragungskraft, durch das Einsetzen der Feder, linearisiert. (vgl. [8] S.89)

Trotz der Linearisierung des Verformungsverhaltens der Verbindung bedeutet dies aber nicht, dass das Tragverhalten des gesamten Tragwerkes linear ist, da sich die Verbindung auf Zug anders verhält als auf Druck.

Die Genauigkeit der Ermittlungen der Federsteifigkeit hängt von der Methode ab, mit der sie ermittelt wurde. Das genaueste Ergebnis liefert eine Finite-Elemente-Berechnung beziehungsweise eine Untersuchung mittels Versuche. Da dies für jede Verbindung extra berechnet werden müsste und den Rahmen dieser Arbeit überschreiten würde, wurde die Ermittlung der Federsteifigkeit auf eine näherungsweise Berechnung beschränkt. Teilweise sind für einzelne Verbindungen analytisch ermittelte Formeln vorhanden, teilweise stammen die Werte aus Versuchen. Bei nichtvorhandenen Informationen mussten Vereinfachungen und Abschätzungen getroffen werden.

Eine dieser Vereinfachung ist das Vernachlässigen der Schubsteifigkeit $G_{90,mean}$. Da diese Schubsteifigkeit um ein Vielfaches geringer ist als die anderen Steifigkeiten des Holzes wird davon ausgegangen, dass der Anteil der Steifigkeit, welche das $G_{90,mean}$ der Einwirkung entgegenbringt, vernachlässigbar klein ist.

M0:

Das erste Modell soll den Unterschied zwischen einer linearen Eingabe (M0) und einer *nicht-linearen* Eingabe (M1) klären. Das heißt, in M0 werden alle Bauteile als beidseitig gelenkig gelagerte Biegebalken eingegeben und jede Verbindung besitzt volle Tragfähigkeit auf Druck *und* Zug. Durch die einfache Modellierung der Anschlüsse ist dieses Modell mit dem geringsten Zeitaufwand verbunden.

Die Gelenke der Anschlüsse werden in die Schnittpunkte der Stabachsen gesetzt.

Es werden in diesem Modell weder Exzenter noch Federn verwendet.

Dabei entstand im Bereich des Stuhlsäulenecks (Stuhlsäule, Druckriegel, Sparren, Kehlbalken, Rähm) und des Brustriegel/Stuhlsäulenanschlusses ein geometrisches Problem, da sich die Systemlinien dieser Bauteile nicht in einem Punkt schneiden.

Mit Hilfe von Exzentern kann dieses Problem gelöst werden. Um die Anzahl der Exzenter in M0 möglichst gering zu halten, wurden gewisse Vereinfachungen getroffen. Es wurde der Brustriegel in die Systemachse der Stuhlsäule und das Rähm in den Schnittpunkt der Systemachsen der Stuhlsäule und des Druckriegels versetzt. Danach wurden die Kehlbalken mit dem liegenden Stuhl (inklusive Rähm und Brustriegel), mit jeweils zwei senkrechten Exzentern pro Gespärre verbunden (siehe Abb. 9.4).

Der Exzenter ist notwendig, um überhaupt äußere Lasten in den Stuhl einleiten zu können. Die Verbindung zwischen Exzenter und Rähm erfolgt gelenkig (M_y , M_z sind frei), was wiederum zu

einem Stabilitätsproblem (= Plausibilitätsproblem (siehe Handbuch RStab)) im Statikprogramm führt, da die Sparren und Kehlbalken aus der Gespärreebene nicht gehalten sind. Da der aufgenommene Bereich aber ein Teil von einem ganzen Trakt ist, und somit keine äußeren Kräfte in die globale Y-Richtung angreifen, wird das Stabilitätsproblem umgangen, indem die Gespärre im Firstpunkt durch ein Auflager in die Y-Richtung gehalten werden (siehe Abb. 9.2). Bei der Überprüfung der Schnittkräfte und Auflagerkräfte auf ihre Plausibilität darf natürlich keine Auflagerreaktion vorhanden sein.

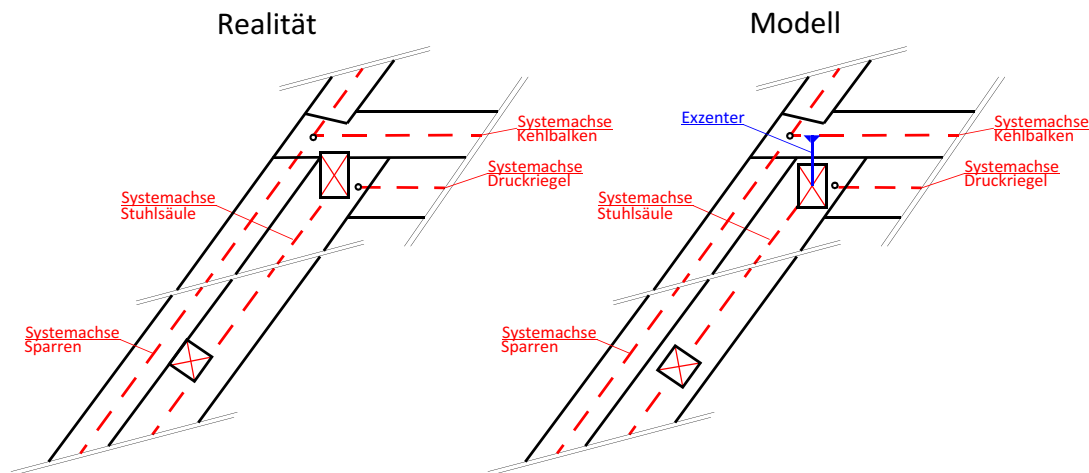


Abb. 9.4: Wirklichkeit und Vereinfachung für M0 und M1

Da die Abbildungen des Modells M0 und des Modells M1 identisch sind und keine geometrischen Unterschiede aufweisen, wird auf das Modell M0 bei der Detailbeschreibung der Verbindungen nicht eingegangen.

M1:

„Historische Holzkonstruktionen wurden von den Zimmerleuten in der Regel so konzipiert, dass in den Verbindungen der Holzbauteile überwiegend Druckkräfte über Kontaktflächen von einem Bauteil auf das andere weitergeleitet werden“ ([8] S. 75). Dies liegt vor allem daran, dass zimmermannsmäßige Verbindungen für hohe Zugkräfte nur sehr schwer herstellbar sind.

Aufgrund dieser Tatsache besitzen Verbindungen, welche sowohl auf Druck, als auch auf Zug ausgelegt sind (zum Beispiel: Kopfband, Kehlbalken) eine viel geringere Zugtragfähigkeit als Drucktragfähigkeit. Die Zugtragfähigkeit wird oft nur durch eine Zugsicherung, wie zum Beispiel einem Holznagel ermöglicht. Das Versagen der Bauteile auf Zug, verursacht häufig große Verformungen.

Die Gelenke der Anschlüsse werden, wie in M0, in die Schnittpunkte der Stabachsen gesetzt. Für dieses Modell gelten dieselben Vereinfachungen wie für das Modell M0 (siehe Abb. 9.4).

Bei der Eingabe des Modells M1 in das Statikprogramm (RStab) werden aber auch nichtlineare Elemente (= Bauteile) verwendet. Dies sind Biegeträger, welche einen gelenkigen Anschluss besitzen, welcher nur auf Druck wirkt (siehe Tab. 9.2). Verbindungen, welche *nur* eine Druckkraft übertragen können sind: der Sparren- Bundtramananschluss, Stuhlsäulen-Bundtramananschluss, Brustriegel-Stuhlsäulenanschluss, Rähm-Stuhlsäulenanschluss und der Rähm-Kehlbalkenanschluss.

Bei jenen Bauteilen, welche eine Druck- und eine gewisse Zugkraft übertragen können wird differenziert. Dies bedeutet, dass Verbindungen, welche bei einer Verformung des Gesamttragwerks ständige Zugbeanspruchung und somit große Klaffungen bekommen auf Zug ausfallen.

Dies betrifft die Kopfbänder, Druckriegel, und Stuhlsäulenknechtanschlüsse.

Auf die Verwendung von reinen Druckstäben im Statikprogramm wird verzichtet, da reine Druckstäbe kein Moment aufnehmen können. Da aber der Lastfall des Eigengewichtes immer, wenn auch nur eine geringe Momentenbeanspruchung hervorruft und die Darstellung der Momentenlinie für den Vergleich mit anderen Modellen möglichst exakt sein sollte, werden anstatt von Druckstäben gelenkig angeschlossene Biegestäbe verwendet.

Die Lage der Anschlüsse in M1 ist rein von den Systemachsen der Bauteile abhängig. Deshalb wird auf die Darstellungen der Kraftübertragungsfläche in den einzelnen Verbindungen verzichtet, da diese keinen Einfluss auf das statische System besitzt.

Stäbe und ihre Zugverbindung:

Anschluss/Auflager	Zugverbindung
Brustriegel/Stuhlsäule	keine
Druckriegel/Stuhlsäule	Scherzapfen
Hahnenbalken/Sparren	Überblattung mit Holznagel
Kehlbalken/Sparren	Überblattung mit Holznagel
Kopfband/Stuhlsäule	Hakenblatt mit Holznagel
Kopfband/Druckriegel	Weißschwanz mit Holznagel
Mauerbankauflager	keine
Rähm/Stuhlsäule	Rähm ist durchgehend
Sparren/Bundtram	keine
Sparren/Sparren	Scherzapfen
Stuhlsäule/Bundtram	keine
Stuhlsäulenknecht/Stuhlsäule	Hakenblatt mit Holznagel
Stuhlsäulenknecht/Bundtram	Schwalbenschwanz mit Holznagel
Windrispe/Rähm	Holznagel
Windrispe/Stuhlsäule	Stirnversatzzapfen

Tab. 9.2: Bauteilverbindungen unter Zugbelastung

M2:

In dem Modell M2 werden erstmals Exzenter für jede Verbindung verwendet. Die Lage und Länge der Exzenter muss zuvor für jede Verbindung individuell aus der Geometrie ermittelt werden (siehe Abb. 9.12, Abb. 9.19, Abb. 9.20, Abb. 9.25, Abb. 9.30, Abb. 9.36, Abb. 9.46, Abb. 9.60).

Da die Kraftübertragung in jeder Verbindung auf Zug und Druck unterschiedlich erfolgt, muss sowohl eine Exzenterverbindung für eine Drucknormalkraft und eine für Zugnormalkraft erstellt werden.

M3:

Im Modell M3 wird die Exzentrizität, welche durch die Verbindung entstehen nicht berücksichtigt, die Nachgiebigkeit der Verbindungen jedoch schon.

Jedes Bauteil bekommt unter einer äußeren Lasteinwirkung entweder eine Drucknormalkraft oder eine Zugnormalkraft. Da jede zimmermannsmäßige Verbindung Druckkräfte an anderen Kontaktflächen überträgt als Zugkräfte, muss es auch bei den Nachgiebigkeiten eine Differenzie-

ung geben. Um diese Differenzierung auch in das Modell übertragen zu können, muss die Eingabe teilweise über Arbeitsdiagramme erfolgen.

Die Nachgiebigkeiten hängen prinzipiell von der Art und Geometrie der Verbindung, der Querschnitte der Anschlussbauteile und der Belastungsrichtung des Holzes ($E_{0,mean} / E_{90,mean}$) ab. Da das Holz quer zur Faserrichtung eine geringere Steifigkeit besitzt als in Faserrichtung, beeinflusst diese Belastungsrichtung die Steifigkeit einer Verbindung in großem Maße. Die Verwendung von Exzenter hat den Vorteil, dass sie immer normal auf die Systemachse stehen und somit die gleiche Richtung besitzen, wie das $E_{90,mean}$. Dies macht die Eingabe der Nachgiebigkeit in das statische Modell einfacher. Will man aber wie im Modell M3 nur die Nachgiebigkeit, ohne die Exzentrizität berücksichtigen, bekommt man Probleme bei der Eingabe in das Statikprogramm. Dieses Problem wird anhand der Stuhlsäulen-Bundtramverbindung erläutert (siehe Kap. 9.3.4).

Die Eingabe der Federn im Statikprogramm erfolgt in den Gelenken der Stabverbindungen. Da die Eingabe der Federn nur *in Richtungen der Schnittkräfte* erfolgen kann, muss die vertikale Federsteifigkeit in eine Federsteifigkeit (C_N) in die Normalkrafttrichtung und eine Federsteifigkeit (C_Q) in Querkrafttrichtung umgerechnet werden.

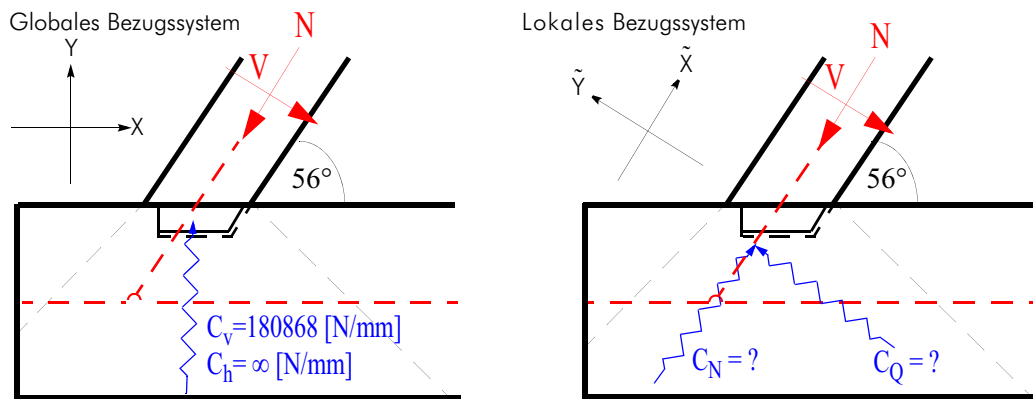


Abb. 9.5: Umrechnung der Federn

Die Umrechnung erfolgt exemplarisch für eine Normalkraft ($N = 20000$ [N]) und einer Querkraft ($Q = 0$ [N]). Die Einheit der Verschiebung ist mm. Die Horizontalverschiebung wird mit u , die Vertikalverschiebung mit v bezeichnet.

$$\vec{F} = [\mathbf{C}] \cdot \vec{U} \quad \alpha = 56^\circ$$

Globales System:

$$F_y = 16580,8 \text{ [N]} \quad F_x = 11183,9 \text{ [N]}$$

Federsteifigkeit:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_h & 0 \\ 0 & C_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10^{15} & 0 \\ 0 & 180868 \end{bmatrix} \quad \mathbf{C}^{-1} = \begin{bmatrix} 10^{-15} & 0 \\ 0 & 5,529 \cdot 10^6 \end{bmatrix}$$

Verformung für $N=20000$ [N]

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} \cdot \mathbf{C}^{-1} = \begin{bmatrix} 11183,9 \\ 16580,8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 10^{-15} & 0 \\ 0 & 5,529 \cdot 10^6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0000 \\ 0,09167 \end{bmatrix}$$

Lokales System [3]:

$$N = 20000 \text{ [N]}$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{C}_{11} \\ \tilde{C}_{22} \\ \tilde{C}_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\cos\alpha)^2 & (\sin\alpha)^2 & 2 \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha \\ (\sin\alpha)^2 & (\cos\alpha)^2 & -2 \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha \\ -\cos\alpha \cdot \sin\alpha & \cos\alpha \cdot \sin\alpha & (\cos\alpha)^2 - (\sin\alpha)^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} C_h \\ C_v \\ 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} (\cos 56) ^2 & (\sin 56) ^2 & 2 \cdot \cos 56 \cdot \sin 56 \\ (\sin 56) ^2 & (\cos 56) ^2 & -2 \cdot \cos 56 \cdot \sin 56 \\ -\cos 56 \cdot \sin 56 & \cos 56 \cdot \sin 56 & (\cos 56) ^2 - (\sin 56) ^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 10^{15} \\ 180868 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,1269 \cdot 10^{14} \\ 6,87303 \cdot 10^{14} \\ -4,63592 \cdot 10^{14} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} 3,1269 \cdot 10^{14} & -4,63592 \cdot 10^{14} \\ -4,63592 \cdot 10^{14} & 6,87303 \cdot 10^{14} \end{bmatrix} \quad \tilde{C}^{-1} = \begin{bmatrix} 3,8000 \cdot 10^{-6} & 2,5632 \cdot 10^{-6} \\ 2,5632 \cdot 10^{-6} & 1,7289 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} \cdot C^{-1} = \begin{bmatrix} 20000 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 3,8000 \cdot 10^{-6} & 2,5632 \cdot 10^{-6} \\ 2,5632 \cdot 10^{-6} & 1,7289 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0000 \\ 0,09167 \end{bmatrix}$$

Das verwendete Statikprogramm kann nur getrennt (entkoppelt) Federn berücksichtigen. Das passende, um α gedrehte Ersatzsystem einer vertikalen Feder (Ausgangsmodell) ist aber ein Federsystem mit gekoppelten Federn. Dies bedeutet, dass die Eingabe von Druckfedern für das Modell 3 nicht erfolgen kann.

Die Zugfedern können schon eingegeben werden, da die Nachgiebigkeit der Verbindung immer in Stabachsenrichtung angesetzt werden kann. Generell besitzen die Verbindungen eine geringere Steifigkeit unter einer Zugbelastung.

9.3 Verbindungen

9.3.1 Allgemein

Für die Eingabe der Exzenter und Nachgiebigkeiten in das Statikprogramm werden die genauen Abmessungen und Geometrien der Verbindungen benötigt. In diesem Kapitel wird diese Analyse für die Verbindungen der Innenhofseite dargestellt. Da der Unterschied der Geometrien der Verbindungen zwischen Innenhofseite und Kampseite sehr gering ist, wird auf die Auflistung von diesen verzichtet. Exzentrizitäten in der liegenden Stuhlwand (siehe Abb. 9.6) werden mit Ausnahme der Stuhlsäule nicht berücksichtigt, die Nachgiebigkeiten jedoch schon.

Weiters wird auf die Beschreibung der einzelnen Verbindungen des Modells M0 verzichtet, da diese in der statischen Modellierung gleich ausgeführt werden wie im Modell M1.

Beschriftung der Details:

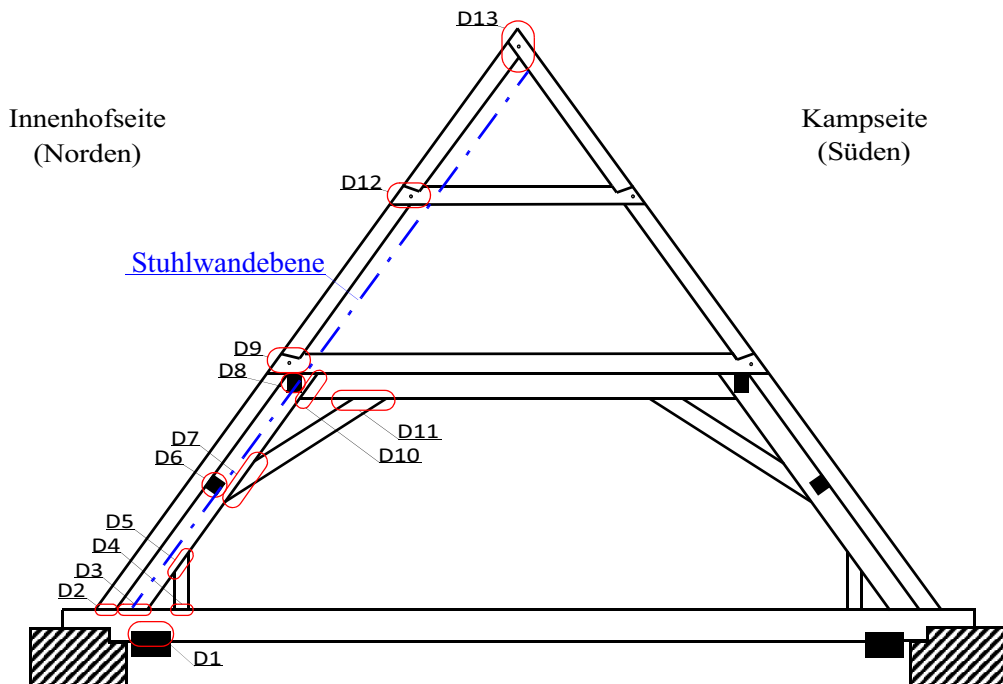


Abb. 9.6: Beschriftung der Details eines Hauptgespärres

Bezeichnung	verbundene Bauteile	Anschlussstyp
D1	Mauerbank-Bundtram	Ganzkamm
D2	Sparren-Bundtram	Stirnversatzzapfen
D3	Stuhlsäule-Bundtram	Fersenversatzzapfen
D4	Stuhlsäulenknecht-Bundtram	Schwalbenschwanz
D5	Stuhlsäulenknecht-Stuhlsäule	Hakenblatt und geschweiften Blattrand
D6	Brustriegel-Stuhlsäule	einfacher Zapfen

Tab. 9.3: Übersicht der Details

D7	Kopfband-Stuhlsäule	Hakenblatt und geschweiften Blattrand
D8	Rähm-Stuhlsäule bzw. Kehlbalken	Vollkamm bzw. Halbkamm
D9	Kehlbalken-Sparren	Weißschwanz
D10	Druckriegel-Stuhlsäule	Scherzapfen
D11	Kopfband-Druckriegel	Weißschwanzverbindung
D12	Hahnenbalken-Sparren	Weißschwanz
D13	Sparren-Sparren	Scherzapfen
D14	Windrispe-Rähm	Holznaegel
D15	Windrispe-Stuhlsäule	Stirnversatzzapfen

Tab. 9.3: Übersicht der Details

Aufbau der Beschreibungen:

Im Folgenden werden die einzelnen Details analysiert.

Der Aufbau der Beschreibung der einzelnen Verbindungen in den Modellen M1-M4 beginnt mit einer Übersicht. Dabei werden die Art der Verbindung und Abstände dargestellt. Die Einheit ist cm. Weiters wird im Zuge der Übersicht die Tragfähigkeit der Verbindung unter Zug- und teilweise unter Druckbelastung berechnet. Im Modell M2 werden die Exzenter eingesetzt. Da die Kraftübertragung von einem Bauteil auf das andere bei einer Druckbeanspruchung über andere Kraftübertragungsflächen erfolgt als bei einer Zugbeanspruchung, muss dementsprechend zwischen Exzentern für Druck und Exzentern für Zug unterschieden werden. Diese werden in den Skizzen für das Modell M2 farblich differenziert. Wird von einem Bauteil auf das andere eine Druckkraft übertragen, werden die Exzenter *blau* gezeichnet. Wird eine Zugkraft übertragen sind die Exzenter *türkis*. Kann ein Exzenter sowohl Druck, als auch Zug übertragen ist er *grün*. Dies ist der Fall, wenn die Kraftübertragungsfläche für eine Druckbeanspruchung dieselbe ist wie für eine Zugbeanspruchung. Systemliniensexzenter werden nur bei einer Querschnittsänderung eingesetzt und befinden sich meist in Verbindungsnähe. Da sie nur für die Kontinuität der Systemlinie verantwortlich und somit ein Teil der Systemlinie sind, können sie alle Kräfte übertragen, die auch die Systemlinie übertragen kann. Ihre Farbe ist somit ebenfalls *grün*.

Die Kraftübertragungsflächen haben dieselbe Farbe wie die zugehörigen Exzenter.

Im Modell M3 werden die Nachgiebigkeiten auf Zug mittels Federn berücksichtigt (siehe Kap. 9.2.4). Die Färbung ist analog zu den Exzentern. Bei den grünen Federn ist zu erwähnen, dass sie, obwohl sie eine Zug- und eine Druckkraft übertragen können, unter Druck und unter Zug jedoch unterschiedliche Steifigkeiten besitzen können.

9.3.2 D1: Mauerbank-Bundtram

Übersicht:

Die Krafteinleitung der Lasten aus dem Tragwerk des Daches in das Mauerwerk erfolgt über die Mauerbank. Sie dient als Auflager für die Bundträme. Weiters hat sie eine lastverteilende Aufgabe für das Mauerwerk.

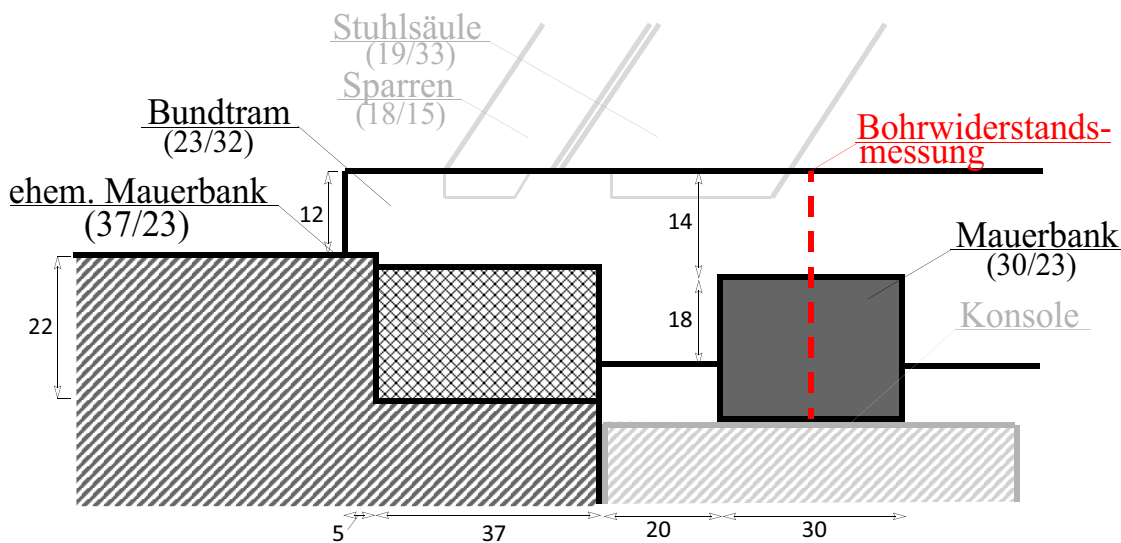


Abb. 9.7: Anschluss: Mauerbank-Bundtram

In dem aufgenommenen Bereich des Stiftes Zwettl liegt die Mauerbank nicht direkt auf der Mauerkrone auf, sondern befindet sich auf Konsolen. Diese bestehen aus hölzernen Balkenteilen welche in das Mauerwerk eingemauert und entweder auskragend sind oder wiederum von gemauerten Konsolen unterstützt werden (siehe Abb. 9.8). Weiters befinden sich auch einige von Wand zu Wand gehende Balken, in diesem Bereich, welche die Mauerbank unterstützen. Alle diese Träger (= Einfeldträger) weisen aber zumindest ein morsches Auflager auf und haben somit praktisch keine Tragfähigkeit mehr (siehe Abb. 9.8)

Ein möglicher Grund für diese untypische Konstruktion liegt in einer alten Sanierungsmaßnahme. Man kann davon ausgehen, dass vor dieser Sanierung die Mauerbank direkt auf der Mauer aufgelegt ist. Da es sehr aufwendig gewesen wäre die beschädigte Mauerbank *auszutauschen*, entschloss man sich neben der alten Mauerbank eine neue zu errichten und anschließend die alte zu entfernen. Diese neu Mauerbank errichtete man auf den zuvor angesprochenen Konsolen. Um die Lücke der fehlenden Mauerbank zu schließen wurden unter jedem Bundtram Ziegel eingemauert (siehe Abb. 9.9), auf denen die Bundträme aufliegen. Auf einen Beleg für die Existenz einer ehemaligen Mauerbank stößt man im Knickbereich des Traktes (siehe Abb. 5.39). Hier befindet sich noch eine alte sowie neue Mauerbank (siehe Abb. 9.9).

Wichtig für die Erstellung der Auflager des statischen Modells und die Genauigkeit der Schnittkraftberechnung, ist es herauszufinden, ob die Lasteinleitung in das Mauerwerk über die neue Mauerbank, oder über die eingesetzten Ziegel erfolgt (siehe Abb. 9.9 rechts).



Abb. 9.8: BT (1), MB (2), Kragträger (3), gemauerte Konsole (4) (links, Ansicht von unten); morscher Träger (rechts, Draufsicht)

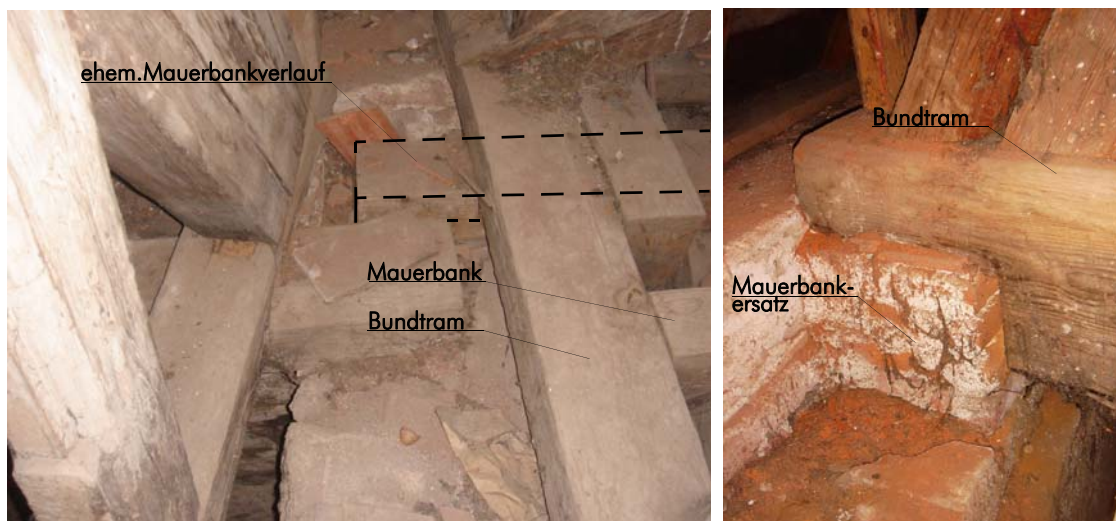


Abb. 9.9: ehemalige MB, Mauerbankersatz

Genauere visuelle Untersuchungen ergaben, dass viele *auskragende*, hölzerne Konsolen keine Tragfähigkeit mehr besitzen, da der Bereich, welcher in die Mauer eindringt vollständig abgemorscht ist. Somit ist keine Einspannwirkung mehr vorhanden. Um die Lasteinleitung über die *gemauerten* Konsolen zu untersuchen, wurden Bohrwiderstandsmessungen durchgeführt. Die Bohrungen erfolgten durch die Bundträme und Mauerbänke (siehe Abb. 9.7, Abb. 9.10). Dabei wurde festgestellt, dass zwischen den beiden Bauteilen keine Kontaktfläche besteht und somit keine Lastübertragung stattfinden kann (siehe Abb. 9.10). Somit geht die Last direkt von den Bundträmen in das Mauerwerk und nicht erst in die Mauerbank und anschließend in die Mauer. Für die Modellierung bedeutet dies, dass die Auflager der Bundträme über der Mauer zu setzen sind (siehe Abb. 9.11).

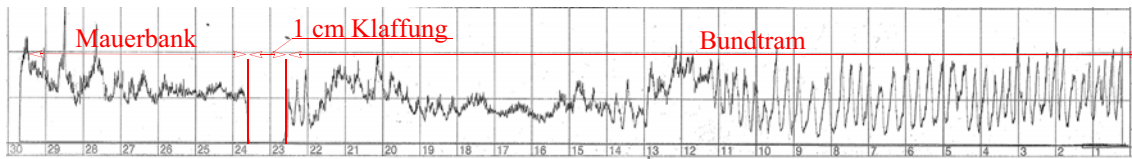


Abb. 9.10: Bohrwiderstandsmessung (siehe: Abb. 9.7)

Tragfähigkeit der Verbindung:

Druck: Da die Bundträme nicht durch eine Zugsicherung mit der Mauer verbunden sind kann das Auflager auch nur Druckkräfte aufnehmen.

Zug: Die Bundträme liegen nur auf der Mauer auf. Das Auflager wirkt somit nur unter einer Druckbeanspruchung. Dies stellt in der Regel kein Problem dar, da das Eigengewicht der Tragkonstruktion inklusive der Dachlattung und der Dachdeckung immer schwerer ist als der stärkste Windsog.

Modell 1:

Für die statische Modellbildung bildet die Mauerbank in der Regel das Auflager der Bundträme. Da in diesem Fall die Mauerbank nicht trägt, wird die Last direkt in die Mauer eingeleitet. Dabei wird die Ausklinkung und der für den Bundtrám entstehende Sprung der Systemlinie vernachlässigt, da für die Berücksichtigung ein Systemlinienexzenter benötigt werden würde. Das Gelenk des Auflagers im statischen Modell befindet sich direkt in der Systemlinie des Bundtráms (siehe Abb. 9.11) und wirkt nur bei einer Druckbeanspruchung.

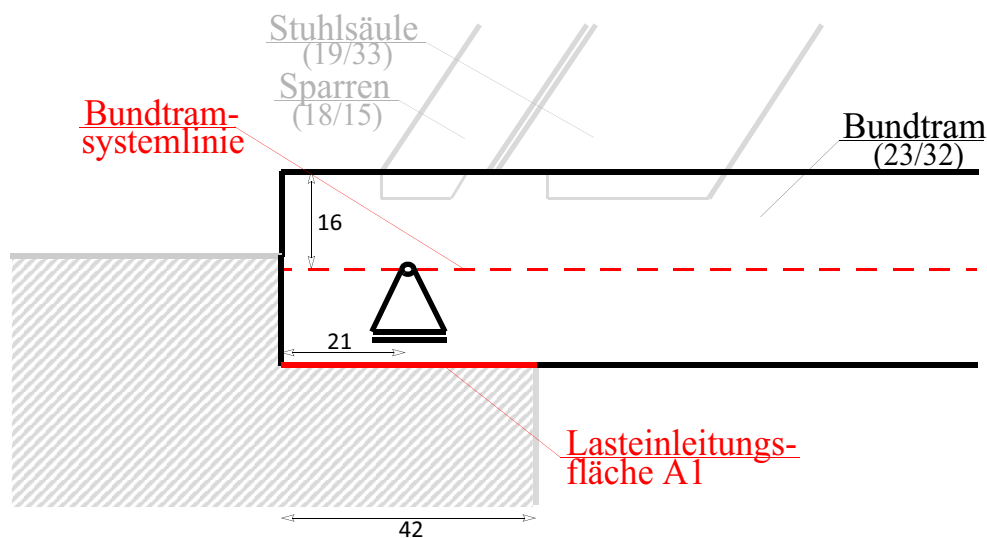


Abb. 9.11: Statisches System M1

Modell 2:

Der Unterschied zum Modell 1 ist, dass im Modell 2 die Ausklinkung berücksichtigt wird und das Auflager mit einem Exzenter versehen wird (siehe Abb. 9.12).

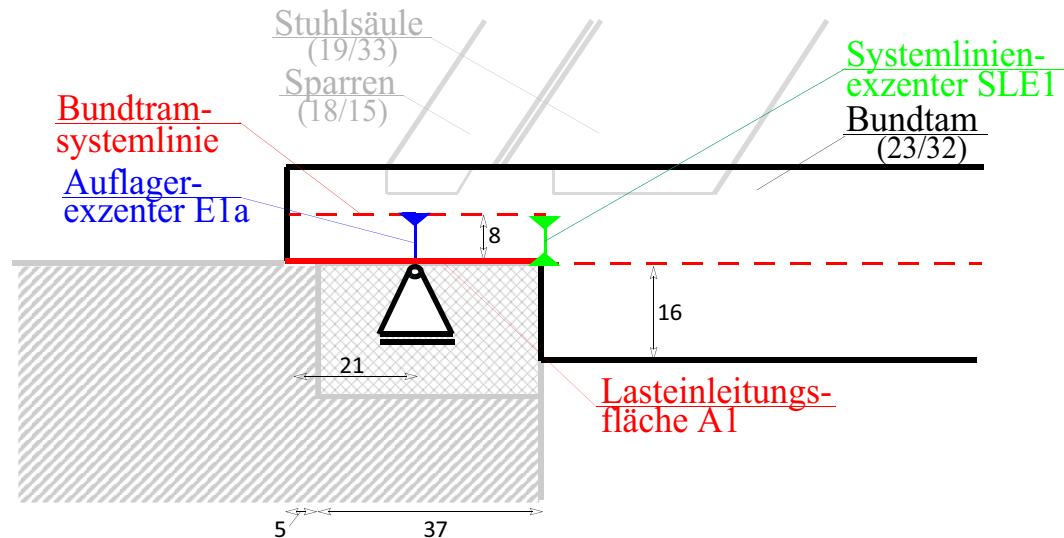


Abb. 9.12: Statisches System M2

Modell M3:

Im Modell M3 würde im Falle einer Mauerbank anstatt des in Modell 1 vertikal gesperrten Auflagers, ein nachgiebiges Auflager mit einer Feder gesetzt werden. Da aber keine Mauerbank vorhanden ist und die Lasten direkt in die Mauer eingeleitet werden und diese eine vernachlässigbar kleine Nachgiebigkeit besitzt, wird keine Feder benötigt. Der Verzicht auf die Feder ist deswegen gerechtfertigt, da der Hauptanteil der Auflagerlast aus dem Sparren und aus der Stuhlsäule kommt und diese extra Federn bekommen. Dadurch ist zwischen M1 und M3 bezüglich der Auflagerung kein Unterschied (siehe Abb. 9.11). Das Weglassen der Feder wird auch so begründet, dass die Last, welche aus dem Sparren und der Stuhlsäule kommt über sehr große Flächen, welche eine große Steifigkeit besitzen, in das Mauerwerk eingeleitet wird.

Modell M4:

Im Modell M4 wird die Exzentrizität und die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt. Die Nachgiebigkeit der Mauer ist sehr klein und deshalb vernachlässigbar. Die Nachgiebigkeit des Auflagers ist dieselbe wie im Modell M2 (siehe Abb. 9.12).

9.3.3 D2: Sparren-Bundtram

Übersicht:

Der Anslusstyp der Verbindung des Sparren an den Bundtram ist ein Stirnversatzzapfen. Da beim Vergleich der Querschnitte der Sparren beziehungsweise Bundträme im Hauptgespärre mit jenen im Leergespärre kein signifikanter Größenunterschied festzustellen war, kann davon ausgegangen werden, dass auch die Verbindungen gleich ausgeführt wurden. Diese Annahme wird durch Bohrwiderstandsmessungen bestätigt. Es wird daher in der Mittelung der Verbindungsabmessungen gleicher Stabanschlüsse nicht zwischen Hauptgespärre und Leergespärre unterschieden. Die Bohrrichtung der Widerstandsbohrung ist immer von Westen nach Osten. Dabei wurde festgestellt, dass der Stirnversatzzapfen nicht in der Mitte der Bundtrambreite, sondern etwas exzentrisch zugeführt wurde. Diese Exzentrizität beläuft sich auf gemittelte 2,3 cm. Sie liegt somit unter 3 cm und wird nicht berücksichtigt. Die Zapfentiefe beträgt 4 cm, die Zapfenbreite 5 cm. Die Skizze zeigt den Stirnversatzanschluss mit den gemittelten Werten, ohne der Berücksichtigung der zuvor angesprochenen Exzentrizität (siehe Abb. 9.13).

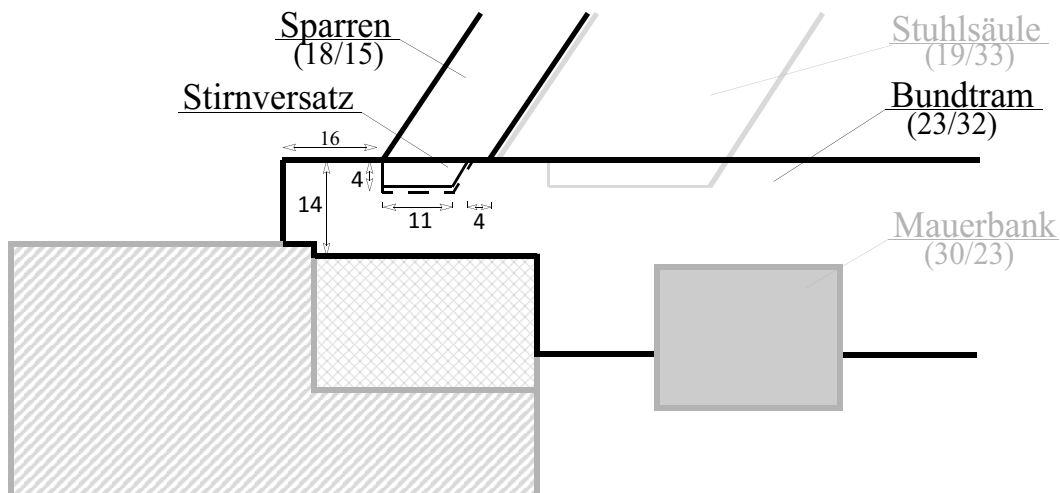


Abb. 9.13: Anschluss: Sparren-Bundtram (Aufriss)

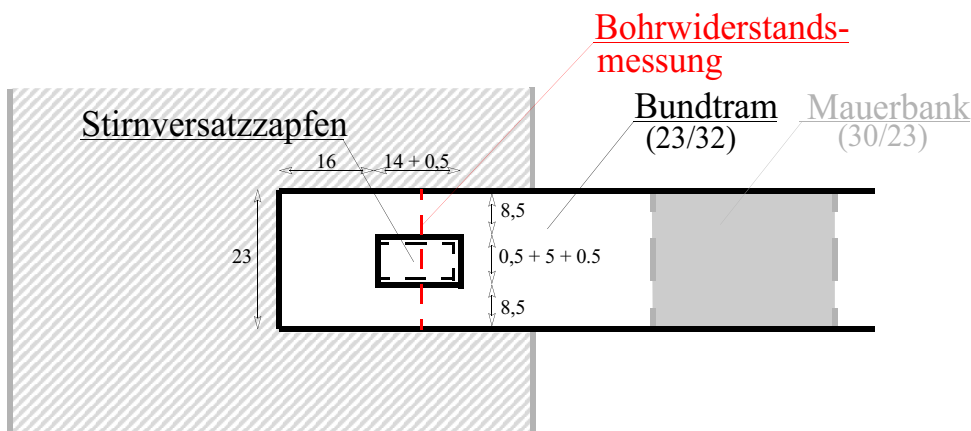


Abb. 9.14: Anschluss: Sparren-Bundtram (Grundriss)

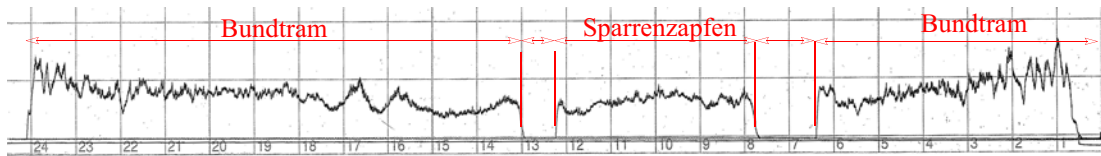


Abb. 9.15: Bohrwiderstandsmessung (siehe Abb. 9.14)

Tragfähigkeit der Verbindung auf Druck berechnet nach Eurocode [29] und [17]:

Druck: Die Verbindung ist eine reine Druckverbindung. Um die Tragfähigkeit dieser Verbindung zu ermitteln, sind folgende Nachweise erforderlich:

- Querdruckbeanspruchung des Bundtrams unter der Vertikalkraft F_v – Fläche (a)
- Scherbeanspruchung des Zapfens unter der Horizontalkraft F_h – Fläche (b)
- Querdruckbeanspruchung des Zapfens unter horizontaler Last F_h – Fläche (c)
- Scherbeanspruchung des Vorholzes unter der Horizontalkraft F_h – Fläche (d)

Anmerkung: Da die Scherfläche des Vorholzes (= U-förmig) auf der Schmalseite des Bundtrams liegt, kann davon ausgegangen werden, dass sich in dieser Fläche keine Risse befinden. Daher wird der Abminderungsbeiwert k_{cr} nicht in die Berechnung der Scherfläche miteinbezogen.

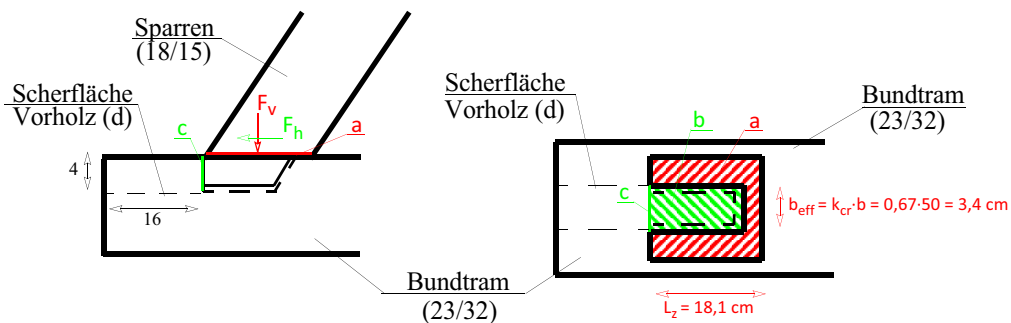


Abb. 9.16: Tragfähigkeit eines Stirnversatzzapfen

$$F_{v, \text{Querdruck}} = A_{(a)} \cdot k_{c, 90} \cdot f_{c, 90, d} = 23700 \cdot 1,5 \cdot 1,87 = 66478,5 \text{ [N]} \approx 66,48 \text{ [kN]}$$

$$F_{h, \text{Schub, Zapfen}} = \frac{L_z \cdot b_{\text{eff}} \cdot k_s \cdot f_{v, d}}{1,0} = \frac{181 \cdot 34 \cdot 1,5 \cdot 1,87}{1,0} = 17262 \text{ [N]} \approx 17,26 \text{ [kN]}$$

$$F_{h, \text{Kontaktdruck}} = A_{(c)} \cdot f_{c, \alpha, d} = 2000 \cdot 3,78 = 7740 \text{ ([N]} \approx 7,74 \text{ [kN])}$$

$$F_{h, \text{Scherfläche}} = A_{(d)} \cdot f_{v, d} = 160 \cdot (2 \cdot 40 + 50) \cdot 1,87 = 38896 \text{ ([N]} \approx 38,90 \text{ [kN])}$$

Tragfähigkeit der Verbindung auf Zug:

Die Zugtragfähigkeit der Verbindung ist auf die Reibung des Zapfens in vertikaler Richtung beschränkt und wird daher vernachlässigt.

Modell M1:

Im Modell M1 werden weder die Exzentrizitäten noch die Nachgiebigkeiten der Verbindung berücksichtigt. Die Kraftübertragung erfolgt im Schnittpunkt der Stabachsen des Sparren und des Bundtrams. Der Anschluß erfolgt gelenkig.

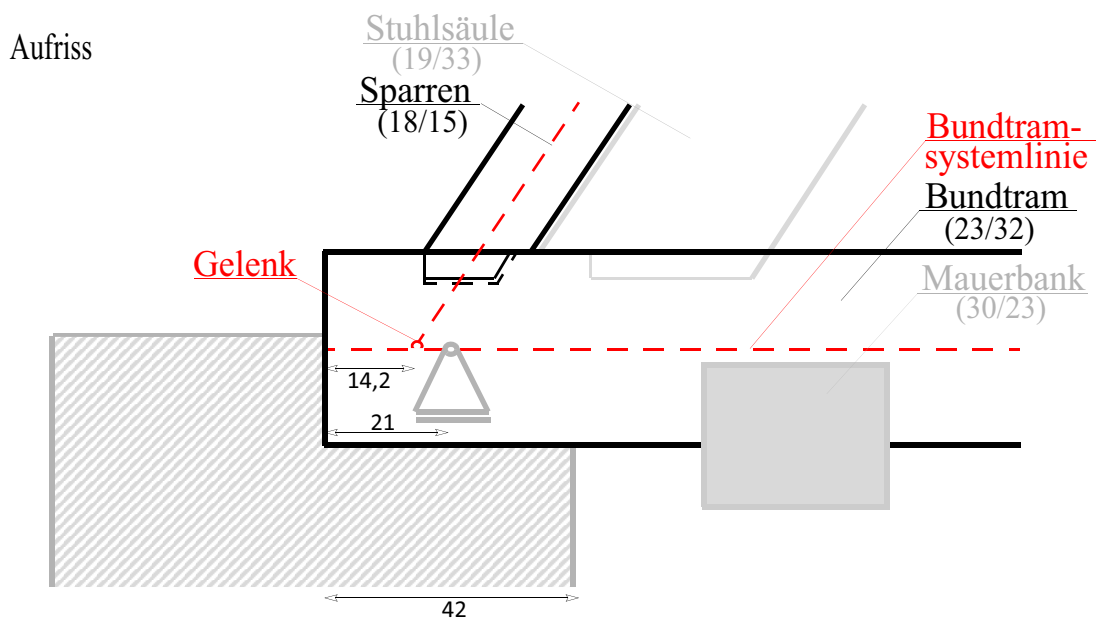


Abb. 9.17: Statisches System M1 (Aufriss)

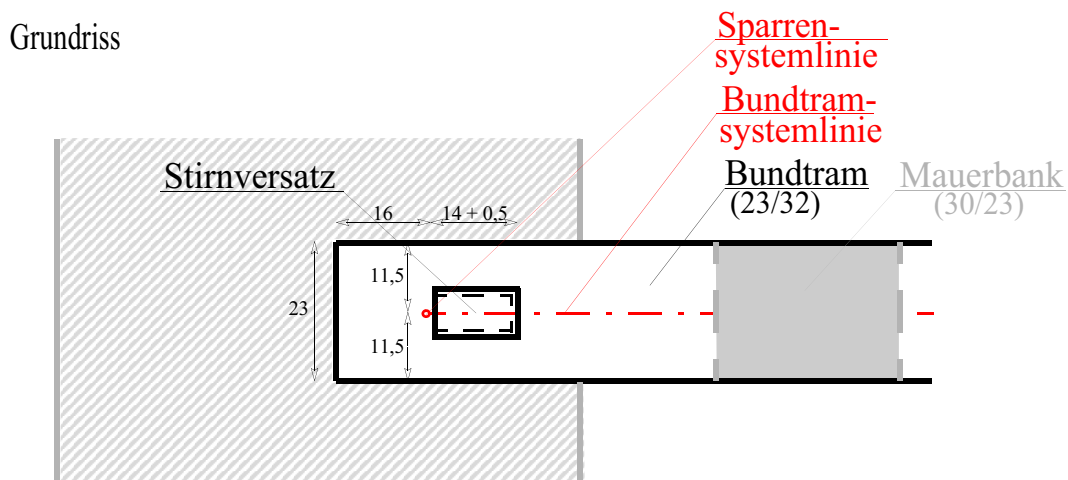


Abb. 9.18: Statisches System M1 (Grundriss)

Modell M2:

Im zweiten Modell werden die Exzenter verwendet, die Nachgiebigkeit der Verbindung wird nicht berücksichtigt. Um die Lage und Größe der Exzenter feststellen zu können benötigt man Wissen über die Art der Kraftübertragung. Die Verbindung besitzt zwei Kraftübertragungsflächen A2a (= A_{eff}) und A2b, die je nach Anschlussgeometrie unterschiedlich belastet werden. Da aber die Exzenter nur einer Kraftübertragungsfläche zugewiesen werden, muss jene Fläche (A2a oder A2b) ermittelt werden, welche den Hauptanteil der Kraft überträgt.

Die Druckkontaktfläche der Stirnfläche des Sparrens beträgt 237 cm^2 und die Stirnfläche des Zapfens beträgt 20 cm^2 .

Bei vielen alten Stirnzapfenverbindungen besteht eine durch Verformung des Gesamtsystems entstandene Klaffung zwischen Sparren und Bundtram, das heißt über die Fläche A2a wird keine Kraft übertragen. Vorwiegend tritt dies bei einer flachen Sparrenneigung auf, da die vertikale Druckkomponente, welche den Sparren auf den Bundtram drückt geringer ist, als bei steilen Sparrenneigungen. Dadurch entsteht für die Berechnung eine Vereinfachung, weil die Kraftübertragung rein über die Kontaktfläche des Zapfens (A2b) erfolgt und somit die Zuweisung des Exzenters zu einer Fläche eindeutig ist. Die horizontale Komponente wird über Kontaktdruck übertragen, die vertikale Komponente über Reibung in der Fläche A2b.

Im Stift Zwettl konnten aber keinerlei Klaffungen festgestellt werden was die Bestimmung der Fläche, welche den Hauptanteil der zu übertragenden Kraft bekommt, etwas erschwert.

Um herauszufinden, ob die maßgebende Fläche A2a oder A2b ist, wird die Normalkraft und die Querkraft des Sparrenfußpunktes aus dem Modell M1 für das Modell M2 in eine vertikale Komponente V und in eine horizontale Komponente H umgerechnet. Anschließend wird unter Einbeziehung der Reibung die Kraftübertragungsfläche und somit die Lage des Exzenters ermittelt. Der Haftreibungswert μ (vgl. [30] Tab. 6.1) wird, bei einem Feuchtegehalt von über 16 %, mit 0,35 angenommen. Da die Haftreibung proportional zur Vertikalkraft ist und diese wiederum vom Anschlusswinkel abhängt werden die Normalkraft- und Querkraftwerte aller Sparren der flacheren Innenhofseite überprüft. Dabei wurden alle Lastfallgruppen untersucht.

Es wird angenommen, dass die Haftreibung über die Fläche A2a immer übertragen wird. Dies bedeutet, dass nur jener Anteil der Horizontalkraft welcher über der Haftreibung liegt über die Fläche A2b übertragen wird.

Dabei wurde festgestellt, dass zu 88 % die Last vom Sparren in den Bundtram über die Fläche A2a übertragen wird. Circa 12 % wird über die Fläche A2b übertragen. Dies bedeutet für die Modellierung, dass der Exzenter in die Fläche A2a gesetzt wird.

Der Schwerpunkt der Kraftübertragungsfläche A2a liegt nicht in der Systemachse des Stabes, das heißt es gibt durch die Kraftübertragung eine Exzentrizität. Dies Abweichung gibt es nur in die X-Richtung, nicht aber in die Y-Richtung, und sie beträgt nur 0,6 cm. Da die Größenordnung sehr gering ist wird auf die Berücksichtigung der Exzentrizität verzichtet (siehe Abb. 9.19).

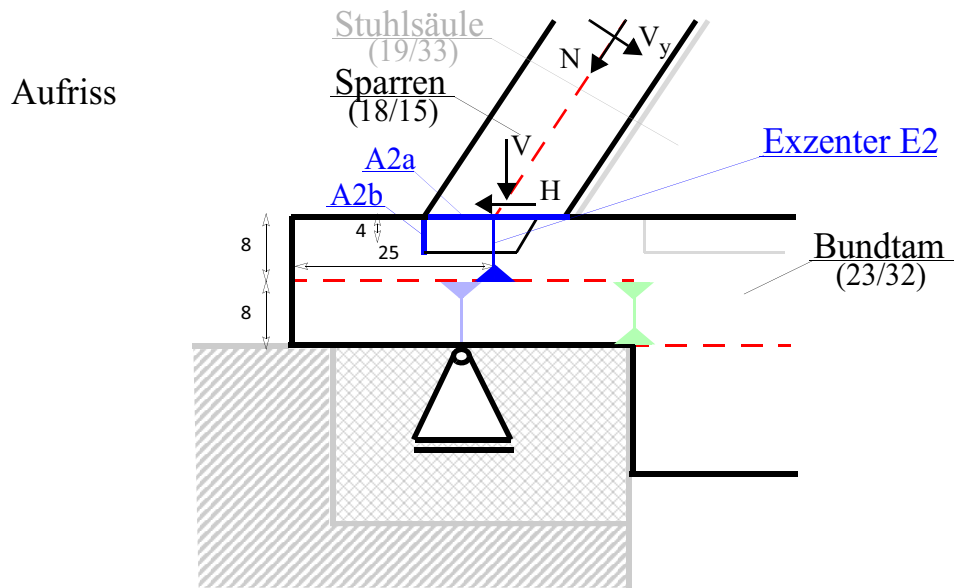


Abb. 9.19: Statisches System M2 (Aufriss)

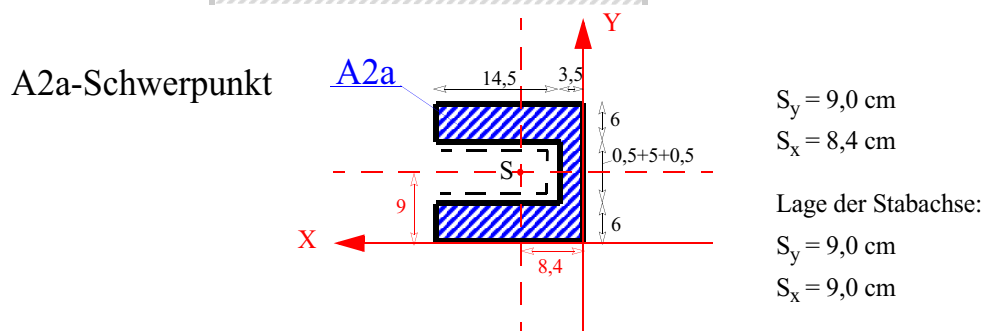
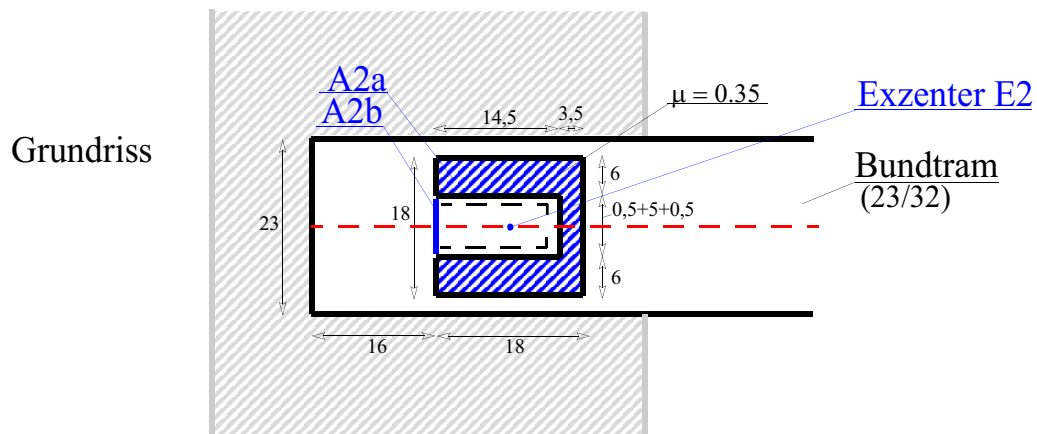


Abb. 9.20: Statisches System M2 (Grundriss)

Modell M3:

Im Modell M3 werden die Nachgiebigkeiten unter einer Zugbeanspruchung, nicht aber die Exzentrizitäten der Verbindungen berücksichtigt. Da ein Stirnversatzzapfen keine Zugkräfte aus dem Sparren in den Bundtram einleiten kann, fällt die Verbindung unter Zug aus, und es werden keine Nachgiebigkeiten berücksichtigt.

Modell M4:

In diesem Modell wird die Exzentrizität und die Nachgiebigkeit berücksichtigt. Die Abstände und Lage der Exzenter werden aus dem Modell M2 übernommen. Die Lage der Feder ist am Ende des Exzenter und wirkt unter einer Normalkraft im Exzenter. Durch die Richtungsäquivalenz des Exzenter und der berechneten Nachgiebigkeit kann die Feder ohne Umrechnung in eine andere Richtung dem Gelenk des Exzenter zugeordnet werden.

Berechnung der nichtlinearen Feder:

Die Feder ist nichtlinear, da sie auf Druck wie eine Feder wirkt, auf Zug aber ausfällt. Dies ist nur theoretisch der Fall. Praktisch ist das Abheben der Dachkonstruktion durch das Eigengewicht der Dachdeckung ausgeschlossen. Somit wird das Ausfallen des Auflagers durch Zug nie relevant.

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 91-93:

Der Ausbreitungswinkel der Last quer zur Faser wird unter 45° angenommen (vgl. [8] S. 92). Die Lastausbreitung erfolgt einachsial, das heißt, dass die Breite des Bundtrams gleich angenommen wird wie jene des Sparrens. Da sich der Sparrenanschluss in der Nähe des Auflagers befindet, wird der Bundtram als kontinuierlich unnachgiebig gelagert (= Schwellenpressung) angenommen.

Bundtram (b_1/h_1) (cm)	Sparren (b_2/h_2) (cm)	Anschlussfläche (cm^2)	Lastausbreitungs- winkel
23/32	18/15	237	45°

Tab. 9.4: Maße

$$\mu = \frac{2 \cdot \tan \alpha}{\ln\left(2 \cdot \frac{k}{m} \cdot \tan \alpha + 1\right)} = \frac{2 \cdot \tan \alpha}{\ln\left(2 \cdot \frac{\frac{h_1}{b_2}}{\frac{A}{b_2^2}} \cdot \tan \alpha + 1\right)} = \frac{2 \cdot \tan(45)}{\ln\left(2 \cdot \frac{\frac{32}{18}}{\frac{237}{18^2}} \cdot \tan(45) + 1\right)} = 1,13$$

$$C_v = \mu \cdot b \cdot E_{\perp} = 1,13 \cdot 180 \cdot 400 = 81435 \text{ [N/mm]}$$

Aufriss

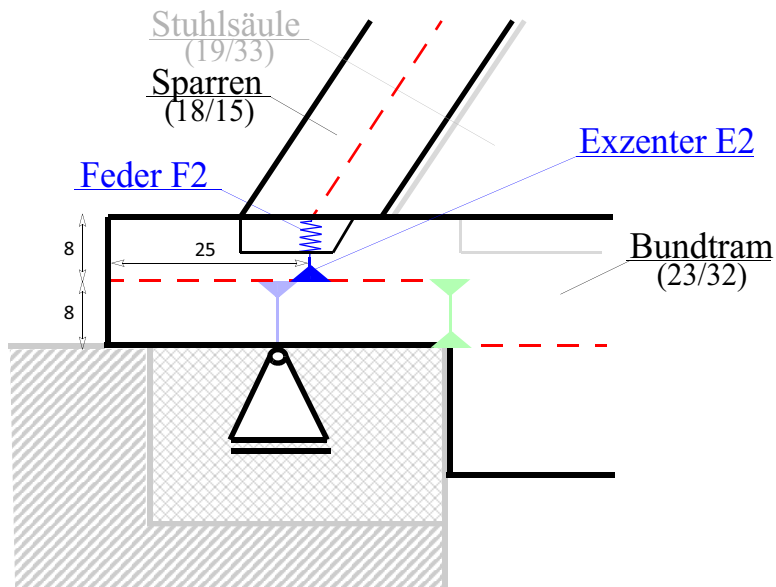


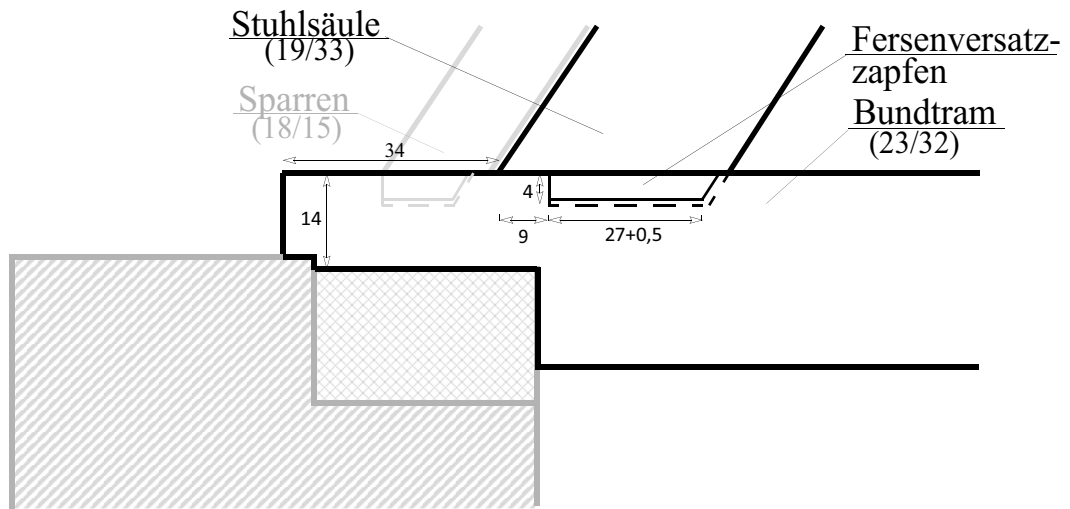
Abb. 9.21: Statisches System M4

9.3.4 D3: Stuhlsäule-Bundtram

Übersicht:

Der Anschlussstyp der Verbindung der Stuhlsäule an den Bundtram ist ein Fersenversatzzapfen. Die Berechnung der Tragfähigkeit sowohl auf Zug als auch auf Druck ist ident mit jener des Sparren-Bundtramanschlusses. Die Werte sind dem Anhang Abb. 16.11 zu entnehmen.

Aufriss



Grundriss: Bundtram

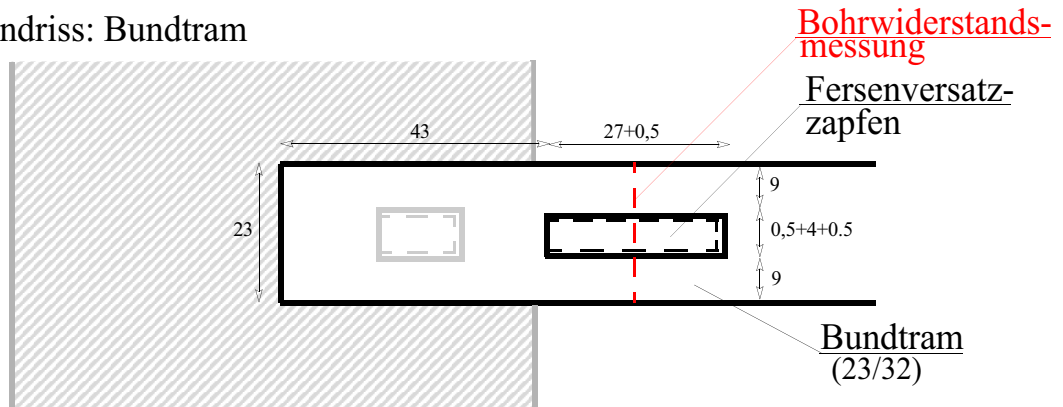


Abb. 9.22: Übersichtsskizze

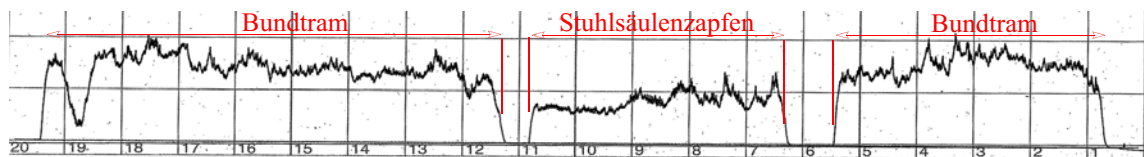


Abb. 9.23: Bohrwiderstandsmessung (siehe Abb. 9.22)

Modell M1:

Im Modell M1 wird weder die Exzentrizität noch die Nachgiebigkeiten der Verbindung berücksichtigt. Die Kraftübertragung erfolgt im Schnittpunkt der Stabachsen des Sparrens und des Bundtrams. Der Anschluß erfolgt gelenkig.

Da die Nichtlinearität berücksichtigt wird und der Stirnversatzzapfen keine Zugsicherung besitzt ist die Verbindung eine reine Druckkraftverbindung, das heißt, sie fällt auf Zug aus.

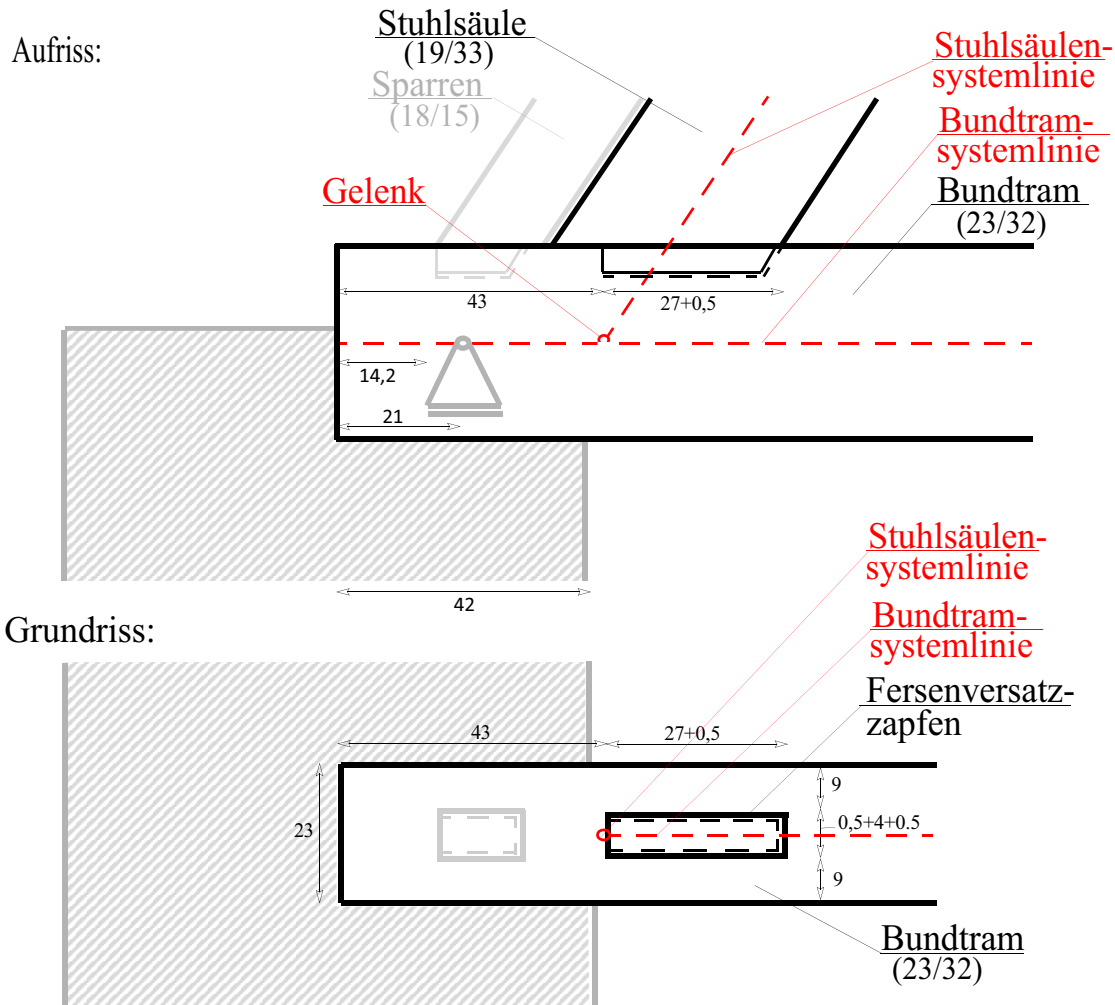
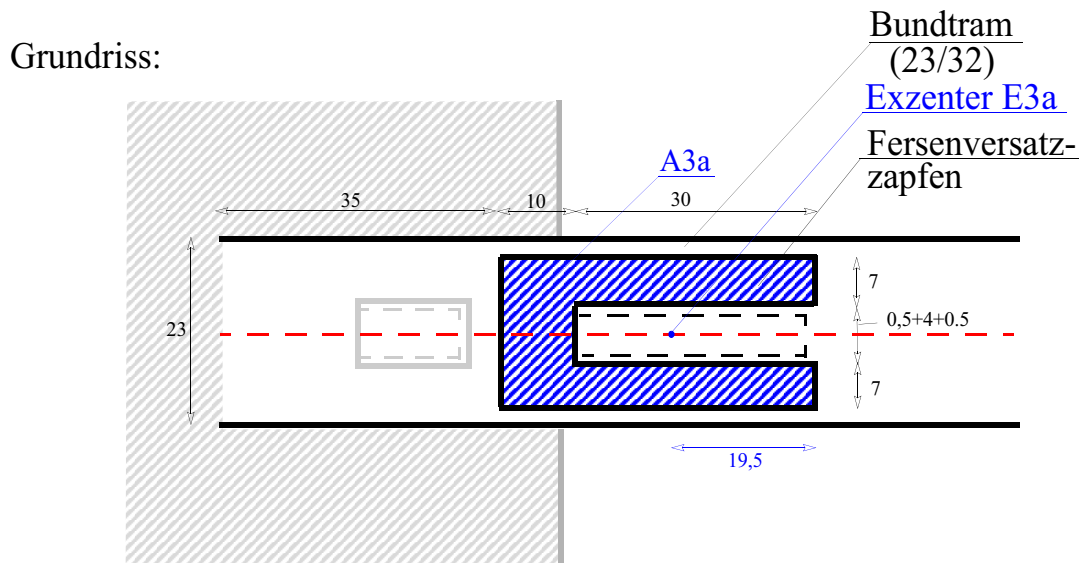
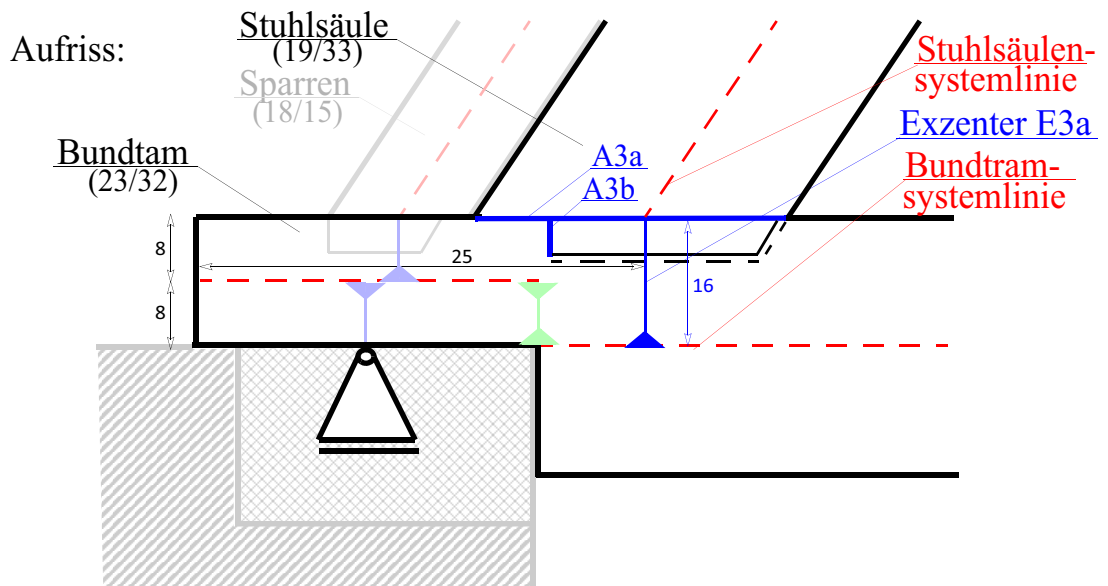


Abb. 9.24: Statisches System M1

Modell M2:

Die Lage der Exzenter im Modell M2 wird nach derselben Art bestimmt wie bei der Analyse des Sparrens (siehe Kap. 9.3.3)

Der Schwerpunkt der Kraftübertragungsfläche A3a liegt nicht in der Systemachse des Stabes, das heißt es gibt durch die Kraftübertragung eine Exzentrizität. Diese Abweichung existiert nur in die X-Richtung und sie beträgt 1,1 cm. Da die Größenordnung unter 3 cm liegt wird auf die Berücksichtigung der Exzentrizität verzichtet (siehe Abb. 9.25).



A3a-Schwerpunkt

$$S_y = 9,5 \text{ cm}$$

$$S_x = 20,6 \text{ cm}$$

Lage der Stabachse:

$$S_y = 9,5 \text{ cm}$$

$$S_x = 19,5 \text{ cm}$$

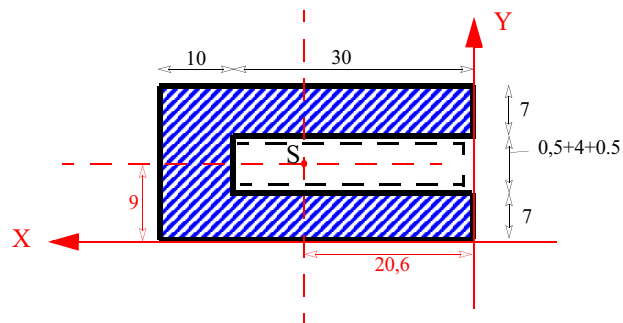


Abb. 9.25: Statisches System M2

Modell M3:

Im Modell M3 wird die Nachgiebigkeit der Verbindung unter Zug berücksichtigt, nicht aber ihre Exzentrizität. Da der Stirnversatzzapfen keine Zugkräfte aus der Stuhlsäule in den Bundtramm übertragen kann, ist das Gelenk auf Zug ausfallend. Nachgiebigkeiten werden keine berücksichtigt.

Modell M4:

Im Modell M4 wird die Exzentrizität und die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt. Dabei werden die Abstände und Lage der Exzenter aus dem Modell M2 übernommen.

Nachgiebigkeit auf Druck:

Die Feder wirkt nur auf Druck und fällt auf Zug aus. Die Feder wird am Ende des Exzenter gesetzt und wirkt unter einer Normalkraft im Exzenter.

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 91-93:

Der Ausbreitungswinkel der Last wird unter 45° angenommen (vgl. [8] S. 92). Die Lastausbreitung erfolgt einachsial, das heißt, dass die Breite des Bundtrams gleich angenommen wird wie jene der Stuhlsäule. Da sich die Lastausbreitung der Stuhlsäule teilweise über einem starr gelagerten Untergrund und teilweise über einen Biegebalken befindet werden beide berechnet und im Anschluss gemittelt.

Bundtramm (b ₁ /h ₁) [mm]	Stuhlsäule (b ₂ /h ₂) [mm]	Anschlussfläche [cm ²]	Lastausbreitungswinkel
23/32	19/33	610	45°

Tab. 9.5: Maße

$$\mu = \frac{2 \cdot \tan \alpha}{\ln 2 \cdot \frac{k}{m} \cdot \tan \alpha + 1} = \frac{2 \cdot \tan \alpha}{\ln \left(2 \cdot \frac{\frac{h_1}{b_2}}{\frac{A}{b_2^2}} \cdot \tan \alpha + 1 \right)} = \frac{2 \cdot \tan(45)}{\ln \left(2 \cdot \frac{\frac{32}{19}}{\frac{610}{19^2}} \cdot \tan(45) + 1 \right)} = 1,82$$

$$C_1 = \mu \cdot b \cdot E_{\perp} = 1,82 \cdot 180 \cdot 400 = 131336 \text{ [N/mm]}$$

$$k = \frac{h_1}{b_2} = \frac{32}{19} = 1,68 \approx 2 \quad m = \frac{A}{b_2^2} = \frac{610}{19^2} = 1,69 \approx 2 \quad \xi = 3,2$$

$$C_2 = \xi \cdot b \cdot E_{\perp} = 3,2 \cdot 180 \cdot 400 = 230400 \text{ [N/mm]}$$

$$C_m = \frac{C_1 + C_2}{2} = \frac{131336 + 230400}{2} = 180868 \text{ [N/mm]}$$

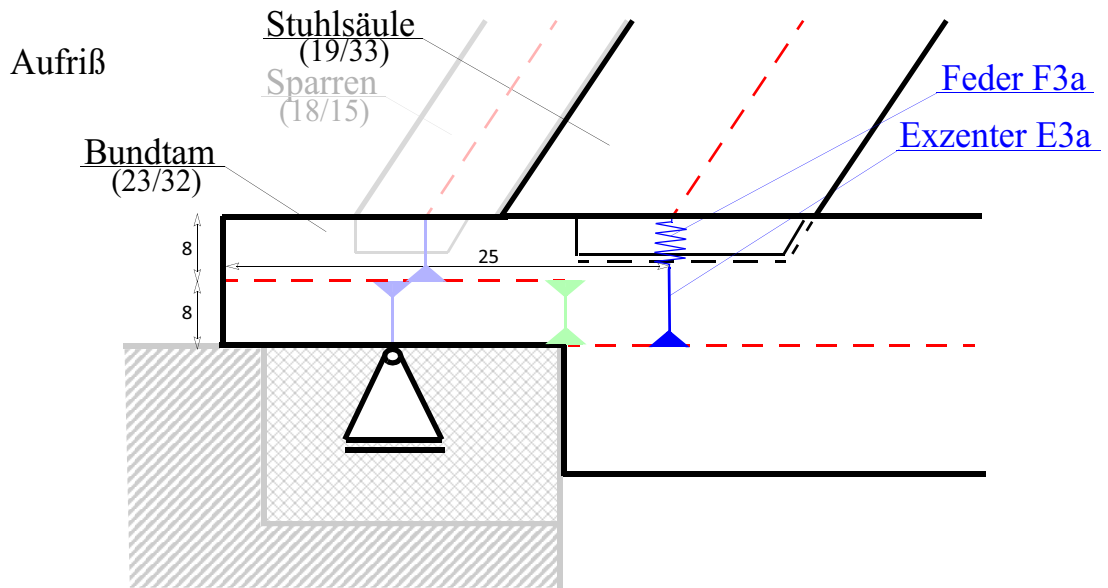


Abb. 9.26: Statisches System M4

9.3.5 D4: Stuhlsäulenknecht-Bundtram

Der Stuhlsäulenknecht ist mit einer Schwalbenschwanzverbindung an den Bundtram angeschlossen. Die Vorgehensweise ist dieselbe wie im Kap. 9.3.12. Die Abweichung der Systemlinie des Stuhlsäulenknechtes und der Systemlinie des Bundtrams beträgt 2,5 cm und wird somit vernachlässigt.

Tragfähigkeit auf Zug:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 77-78:

$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 16 \text{ [cm]}$	$\gamma_1 = 3,6^\circ$	$\gamma_2 = 3,6^\circ$
$k = 0,5$	$z_{ul}F = 20,20 \text{ [kN]}$	$R_d \approx 1,45 \cdot z_{ul}F \approx 29,29 \text{ [kN]}$	
$E4a = 16 \text{ [cm]} \text{ (Druck)}$	$E4b = 9 \text{ [cm]} \text{ (Zug)}$	$SLE4 = 9 \text{ [cm]}$	

Nachgiebigkeit auf Zug:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 79:

$$z_{ul}F = 20,20 \text{ [kN]}$$

$$C_{Zug} = 0,4 \cdot 20200 = 8080 \text{ [N/mm]}$$

Nachgiebigkeit auf Druck:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 93:

$$\frac{h_1}{b} = \frac{32}{13} = 2,5 \approx 3 \quad \frac{h_2}{b} = \frac{21}{13} = 1,6 \approx 2 \quad \xi = 2,3$$

$$C_{\text{Druck}} = \xi \cdot b \cdot E_{\perp} = 2,3 \cdot 130 \cdot 400 = 119600 \text{ [N/mm]}$$

9.3.6 D5: Stuhlsäulenknecht-Stuhlsäule

Der Stuhlsäulenknecht ist mit einer Hakenblattverbindung an die Stuhlsäule angeschlossen. Die Vorgehensweise der Berechnung ist dieselbe wie im Kap. 9.3.8.

Die Abweichung der Systemlinie des Stuhlsäulenknechtes und der Systemlinie des Bundtrams beträgt 0,5 cm und wird daher vernachlässigt.

Tragfähigkeit auf Zug:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 77-78:

$$\begin{array}{llllll} \alpha = 34^\circ & a = 50 \text{ [mm]} & \gamma_1 = 0 & \gamma_2 = 0 & \varphi = 0^\circ & \\ k = 1 & z_{ul}F = 6,36 \text{ [kN]} & R_d = z_{ul}F \cdot 1,45 \approx 9,22 \text{ [kN]} & & & \\ E5a = 11 \text{ [cm]} \text{ (Druck)} & E5b = \frac{19}{2} - 2,5 = 7 \text{ [cm]} \text{ (Zug)} & SLE5 = 7 \text{ [cm]} & & & \end{array}$$

Nachgiebigkeit auf Zug:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 79:

$$\begin{array}{l} z_{ul}F = 6,36 \text{ [kN]} \\ C_{\text{Zug}} = 1 \cdot 6360 = 6360 \text{ [N/mm]} \end{array}$$

Nachgiebigkeit auf Druck:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 91-93:

Die Nachgiebigkeit unter einer Druckbeanspruchung liegt zwischen einer *Schwellenpressung*, da der Sparren einen Teil der Druckkraft aus dem Stuhlsäulenknecht übernimmt (Annahme: Sparren liegt im Hauptgespärre vollflächig auf der Stuhlsäule auf), und einem *Druckkontaktstoß auf Biegeträger*. Es wird daher gemittelt.

$$\begin{array}{lll} h_1 = (33 \text{ [cm]}) & b_2 = (13 \text{ [cm]}) & A = 491 \text{ [cm}^2\text{]} \\ \mu = \frac{2 \cdot \tan \alpha}{\ln\left(2 \cdot \frac{k}{m} \cdot \tan \alpha + 1\right)} = \frac{2 \cdot \tan \alpha}{\ln\left(2 \cdot \frac{\frac{h_1}{b_2}}{\frac{A}{b_2^2}} \cdot \tan \alpha + 1\right)} = \frac{2 \cdot \tan 45}{\ln\left(2 \cdot \frac{\frac{33}{13}}{\frac{491}{13^2}} \cdot \tan 45 + 1\right)} = 1,98 \end{array}$$

$$C_1 = \mu \cdot b_2 \cdot E_{\perp} = 1,98 \cdot 130 \cdot 400 = 102960 \text{ [N/mm]}$$

$$\frac{h_1}{b_2} = \frac{33}{13} = 2,5 \approx 3 \quad \frac{h_2}{b_2} = \frac{37,8}{13} = 2,9 \approx 3 \quad \xi = 3,2$$

$$C_2 = \xi \cdot b \cdot E_{\perp} = 3,2 \cdot 130 \cdot 400 = 166400 \text{ [N/mm]}$$

gemittelt:

$$C_{m, \text{Druck}} = \frac{102960 + 166400}{2} = 134680 \text{ [N/mm]}$$

9.3.7 D6: Brustriegel-Stuhlsäule

Der Brustriegelanschluss an die Stuhlsäule erfolgt durch einen einfachen Zapfen ohne Holzna-gelsicherung.

Im Modell M1 erfolgt der Anschluss gelenkig im Schnittpunkt der Systemachsen. Im Modell M2 werden keine Exzentrizitäten berücksichtigt, da die Berücksichtigung der Exzenter in der Stuhlwandebene, den Aufwand dieser Arbeit sprengen würde.

Im Modell M3 wird die Nachgiebigkeit berücksichtigt:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 91-93:

$$\frac{h_1}{b_2} = \frac{19}{16} = 1,19 \approx 1 \quad \frac{h_2}{b_2} = \frac{21}{16} = 1,31 \approx 1 \quad \xi = 3,2$$

$$C_{\text{Druck}} = \xi \cdot b \cdot E_{\perp} = 3,2 \cdot 160 \cdot 400 = 204800 \text{ [N/mm]}$$

Der Anschluss im Modell M4 ist derselbe wie in M2, da keine Nachgiebigkeiten berücksichtigt werden.

9.3.8 D7: Kopfband-Stuhlsäule

Übersicht:

Der Anschluss des Kopfbandes an der Stuhlsäule ist ein *Hakenblatt mit geschweiftem Blatt-trand und Holzna-gelsicherung*. Bohrwiderstandsmessungen haben gezeigt, dass die Überblattung 5 cm dick ist. Exzentrizitäten sind nur aus der Gespärreebene vorhanden. Da die Querschnittsbrei-te der Stuhlsäule (19 cm) und des Kopfbandes (17 cm) unterschiedlich ist und die Bauteile auf ei-ner Seite bündig sind, sind auch die Systemachsen der beiden Bauteile um 1 cm zueinander versetzt. Da dieser Abstand unter 3 cm ist wird er in allen Modellen vernachlässigt. Die Syste-machse des Kopfbandes wird somit in die Systemachse der Stuhlsäule versetzt.

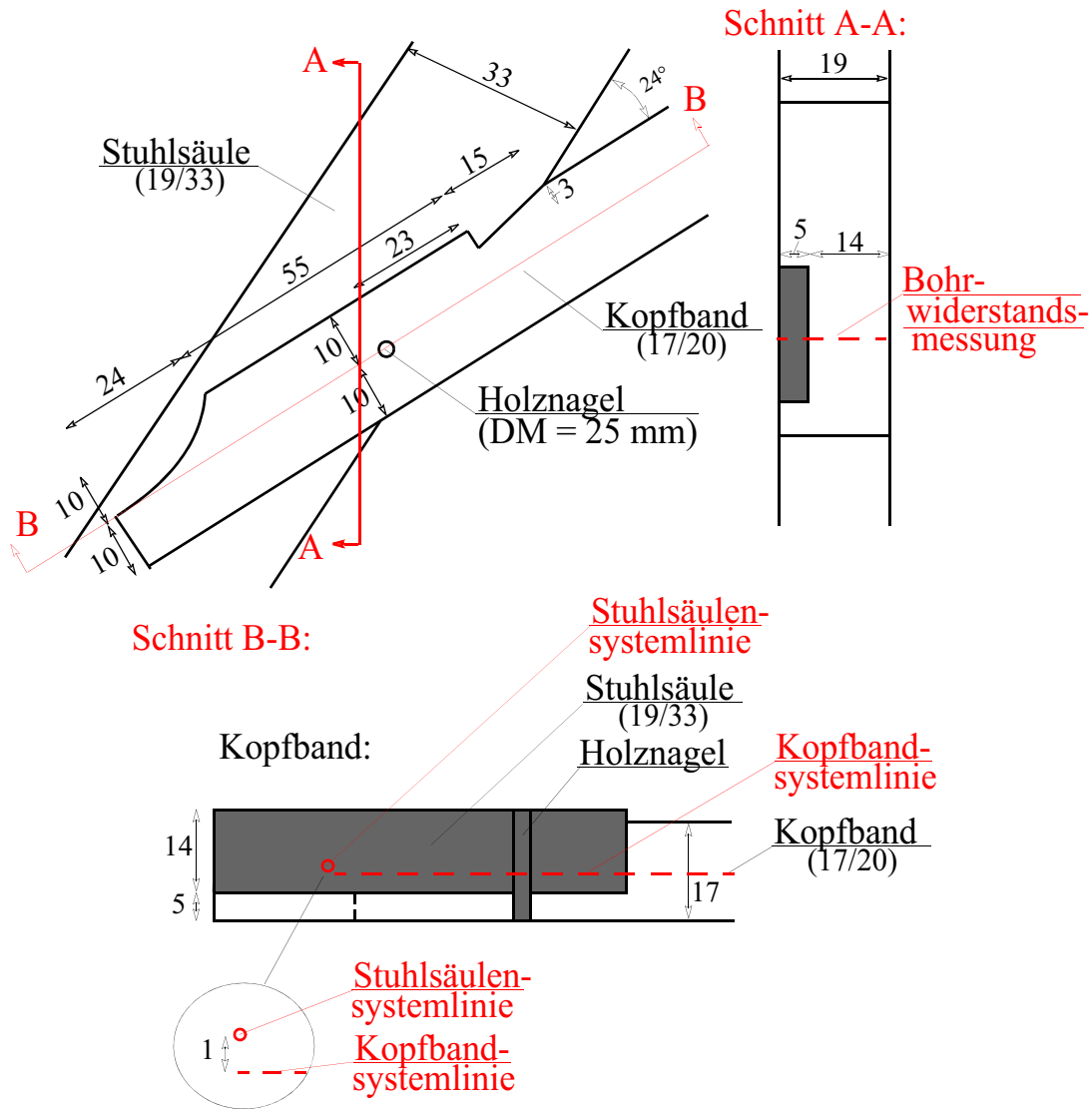


Abb. 9.27: Anschluss: Kopfband-Stuhlsäule

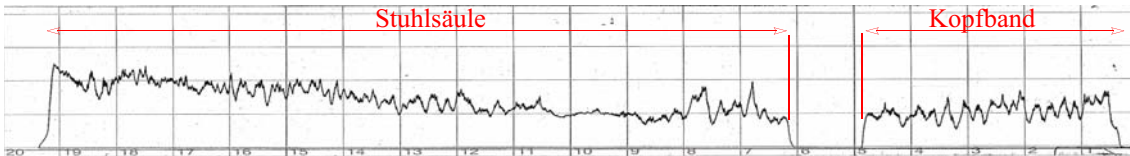


Abb. 9.28: Bohrwiderstandsmessung (siehe Abb. 9.27)

Tragfähigkeit auf Zug:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 77-79:

$$\alpha = 24^\circ; \quad a = 61 \text{ [cm]} \quad \varphi = 0^\circ \text{ (=Reibungswinkel), Holznagel vorhanden}$$

$$k = \frac{\tan \varphi - \frac{1}{\tan \alpha}}{\tan \varphi + \tan \alpha} = 1$$

$$z_{ul}F = 0,06 \cdot \frac{61}{\sin(24)} \cdot \frac{1}{1} = 9,0 \text{ [kN]} \quad \rightarrow \quad z_{ul}F = 9,0 + 1 = 10,0 \text{ [kN]}$$

Auffallend bei der Berechnung nach [8] S.78 ist, dass durch das Vorhandensein eines Holznagels die Tragfähigkeit generell in 1 kN erhöht werden kann. Dabei werden die Kenngrößen des Holznagels in keinsten Weise in die Berechnungen miteinbezogen.

$$R_d \approx z_{ul}F \cdot 1,45 \approx 10,0 \cdot 1,45 \approx 14,5 \text{ [kN]}$$

Modell M1:

Im Modell M1 wird weder die Exzentrizität noch die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt. Die Kraftübertragung erfolgt im Schnittpunkt der Stabachsen des Kopfbandes und der Stuhlsäule. Da diese wegen der unterschiedlichen Querschnittsbreiten um 1 cm aus der Gespärreebene versetzt sind, wird die Stabachse des Kopfbandes in die Stabachse der Stuhlsäule versetzt.

Überblattungen wie zum Beispiel der Schwalbenschwanz haben die Eigenschaft, dass sie nur für kurzzeitige Zugbelastungen geeignet sind. Dies liegt daran, dass sich durch das Quellen und Schwinden beziehungsweise dem Kriechen quer zur Faser unter ständiger Zuglast das Blatt aus der Blattsasse allmählich herauszieht. Die Blattsasse ist die Aussparung, in welcher das Blatt liegt. (vgl. [8] S.77)

Bei der vorliegenden Verbindung handelt es sich aber um ein Hakenblatt, welches für ständige Zuglasten geeignet ist (vgl. [8] S.77). Die Hakenblattverbindung kann somit Zug- und Druckkräfte aufnehmen.

Der Anschluss des Kopfbandes an den Druckriegel ist eine Weißschwanzverbindung. Diese ist nicht auf ständige Zuglast ausgelegt, was wiederum den Vorteil der ständigen Zugtragfähigkeit des Hakenblattes aufhebt.

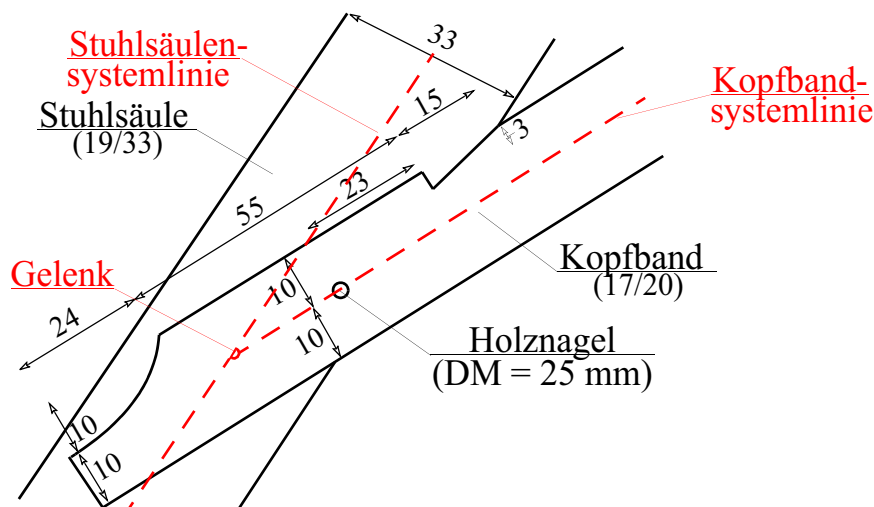


Abb. 9.29: Statisches System M1

Modell M2:

Im Modell M2 wird die Exzentrizität, nicht aber die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt. Die Kraftübertragungen erfolgen bei einer Druckbeanspruchung anders als auf Zug.

Stuhlsäule:

Durch den Einschnitt der Blattsasse in die Stuhlsäule kommt es in der Stuhlsäule zu einer Querschnittsveränderung. Dies würde bedeuten, dass es zu einem Sprung in der Systemlinie aus der Gespärreebene kommt. Dieser Sprung beläuft sich auf 2,5 cm und ist somit unter der 3 cm Toleranz. Daher wird er vernachlässigt.

Druck:

Liegt im Kopfband eine Druckkraft vor, wird diese über viele Kraftübertragungsflächen in die Stuhlsäule eingeleitet. Dies sind die Stirnfläche des Kopfbandes, die Stirnfläche des Weißschwanzes, die Seitenflächen des Weißschwanzes. Auf Grund mangelnder Fachliteratur und Möglichkeiten einer ingenieurmäßiger Abschätzung wird angenommen, dass die Hauptkraftübertragungsfläche die Stirnfläche des Kopfbandes (A7a) ist.

Zug:

Die Hakenblattverbindung ist im allgemeinen dafür da, um Zugkräfte aufzunehmen. Eine Überblattung verursacht eine Exzentrizität aus der Gespärreebene. Da die Systemlinien durch die Ausklinkung aus der Gespärreebene zueinander versetzt sind, müssen diese durch einen Systemlinienexzenter wieder miteinander verbunden werden. Dieser ist aber nur unter einer Zugbeanspruchung wirksam. Der Systemlinienexzenter müsste direkt in den Schwerpunkt der Kraftübertragungsfläche A7a gesetzt werden. Da aber dort auch der Exzenter E7a anschließt und dies zu Eingabeproblemen im Statikprogramm führen würde, wird der Systemexzenter um 1 cm in das Innere des Bauteils versetzt.

Die Kraftübertragung von der Holznageloberfläche in die Systemachse des Nagels bleibt dabei unberücksichtigt.

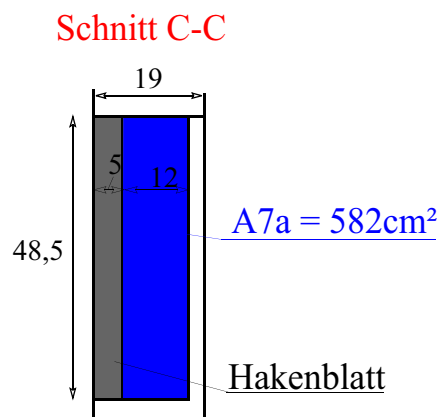
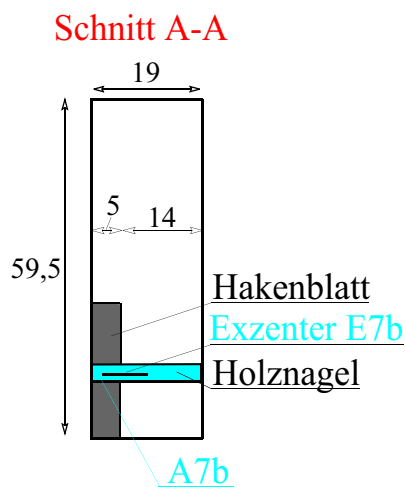
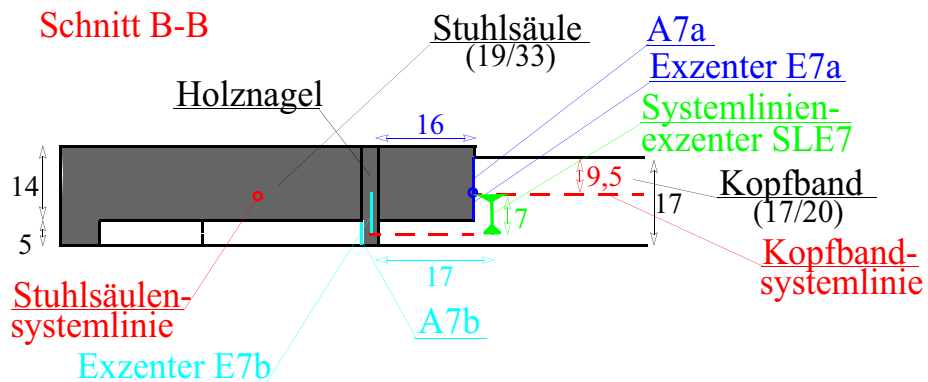
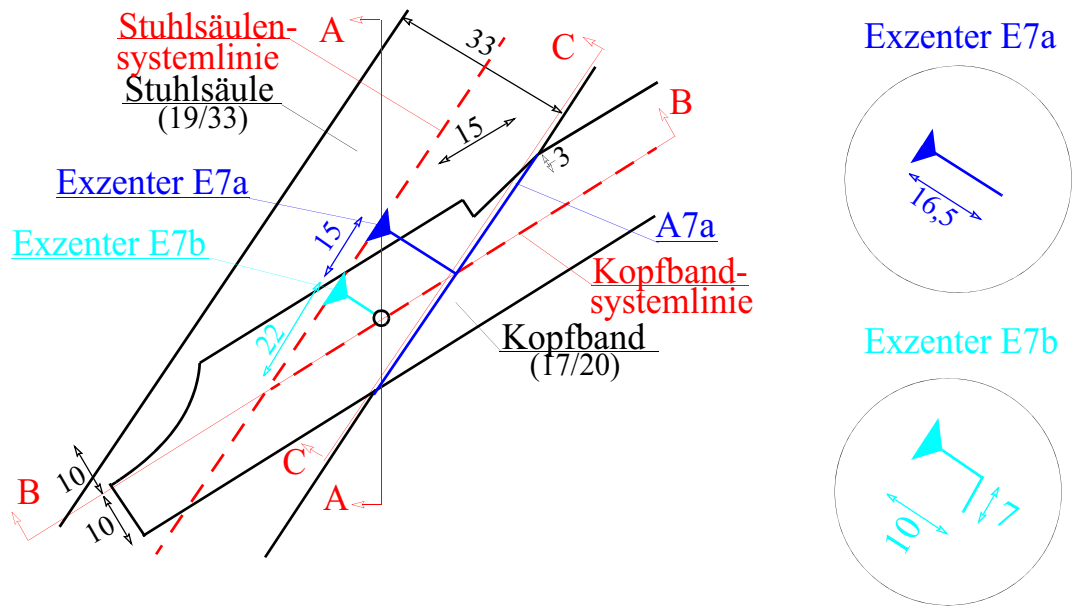


Abb. 9.30: Statisches System M2

Modell M3:

Im Modell M3 wird die Exzentrizität nicht, die Nachgiebigkeit aber schon berücksichtigt. Um die Nachgiebigkeit bestimmen zu können, muss zuerst die Tragfähigkeit berechnet werden. Diese hängt von der Art der Verbindung und ihrer Geometrie ab und wurde bereits in der Übersicht berechnet.

Da die Tragwirkung auf Druck eine andere ist wie auf Zug, ist auch die Federsteifigkeit zwischen Druckbeanspruchung und Zugbeanspruchung zu unterscheiden. Die Nachgiebigkeit der Feder unter Zug ist von der Nachgiebigkeit des Holznagels beziehungsweise der Nachgiebigkeit des Hakenblattes abhängig. Die Federsteifigkeit unter Druck ist hauptsächlich von der Nachgiebigkeit der Stuhlsäule quer zur Faserrichtung abhängig. Da die Nachgiebigkeit auf Druck nicht in Stabrichtung des Kopfbandes wirkt und eine Umrechnung in diese Richtung nicht möglich ist, kann diese im Modell M3 nicht angesetzt werden. Die Berechnung wird hier trotzdem angeführt, da die Nachgiebigkeit auf Druck für das Modell M4 sehr wohl benötigt wird.

Nachgiebigkeit auf Zug:

Steifigkeit des Hakenblattes mit Holznagel:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 79.

$$C_{Zug} = z_{ul} F \cdot l = 10000 \cdot 1 = 10000 \text{ [N/mm]}$$

Nachgiebigkeit auf Druck:

Für die Nachgiebigkeit der Verbindung ist jene Kraft ausschlaggebend, welche normal auf die Kraftübertragungsfläche A7a wirkt. Der Grund dafür ist der, dass der Elastizitätsmodul quer zu Faserrichtung der Stuhlsäule um ein vielfaches geringer ist als jener in Faserrichtung. Die Nachgiebigkeit der Verbindung liegt zwischen einer Schwellenpressung, da der Sparren mitträgt und einem Druckkontaktanschluss auf Biegeträger (vgl. Kap. 9.3.6).

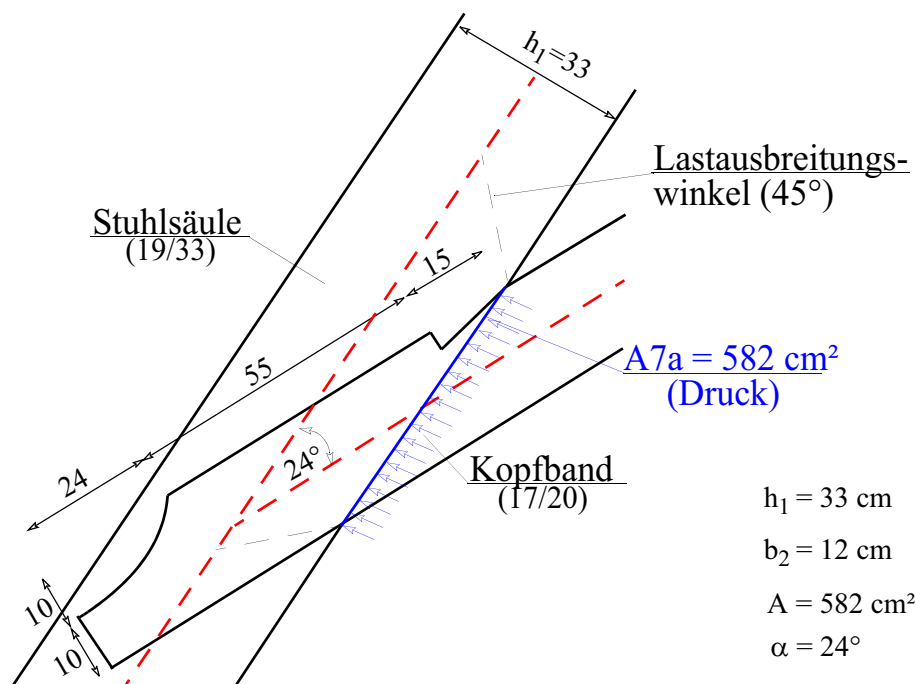


Abb. 9.31: Druckübertragungsflächen

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 91-93:

$$\mu = \frac{2 \cdot \tan \alpha}{\ln\left(2 \cdot \frac{k}{m} \cdot \tan \alpha + 1\right)} = \frac{2 \cdot \tan \alpha}{\ln\left(2 \cdot \frac{\frac{h_1}{b_2}}{\frac{A}{b_2^2}} \cdot \tan \alpha + 1\right)} = \frac{2 \cdot \tan(45)}{\ln\left(2 \cdot \frac{\frac{33}{12}}{\frac{582}{12^2}} \cdot \tan(45) + 1\right)} = 2,33$$

$$C_1 = \mu \cdot b \cdot E_{\perp} = 2,33 \cdot 140 \cdot 400 = 130480 \text{ [N/mm]}$$

$$\frac{h_1}{b_2} = \frac{33}{12} = 2,75 \approx 3 \qquad \frac{h_2}{b_2} = \frac{49}{12} = 3,77 \approx 4 \qquad \xi = 3,2$$

$$C_2 = \xi \cdot b \cdot E_{\perp} = 3,2 \cdot 120 \cdot 400 = 153600 \text{ [N/mm]}$$

gemittelt:

$$C_{m, \text{Druck}} = \frac{130480 + 153600}{2} = 142040 \text{ [N/mm]}$$

Die Feder wird im Schnittpunkt der Systemlinien angebracht. Alternativ wird die Eingabe in das Statikprogramm über das Arbeitsdiagramm angegeben.

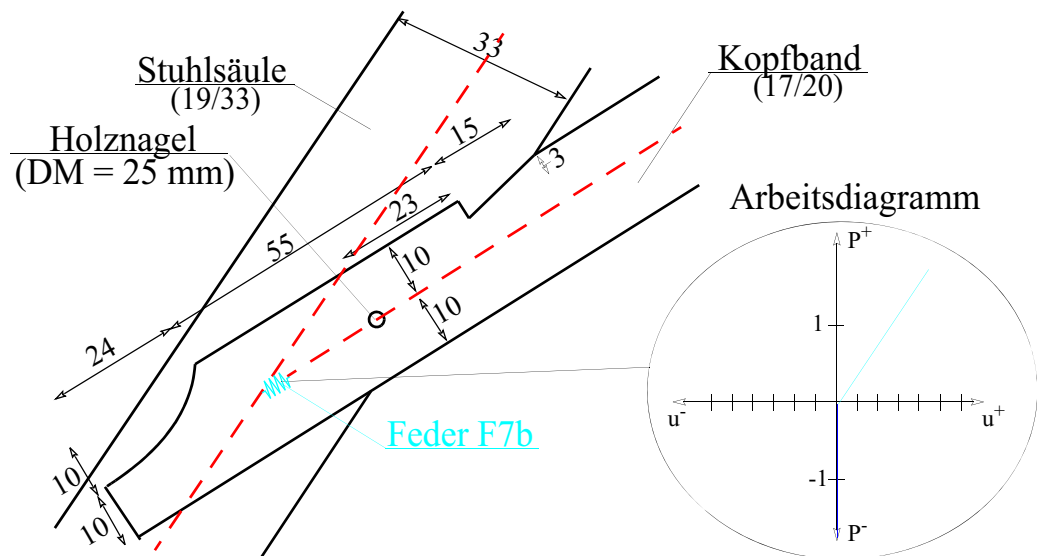


Abb. 9.32: Statisches System M3

Modell M4:

Im Modell M4 werden die Exzentrizitäten und die Nachgiebigkeiten berücksichtigt. Die Exzenter beziehungsweise die Nachgiebigkeiten werden aus dem Modell M2 beziehungsweise M3 übernommen.

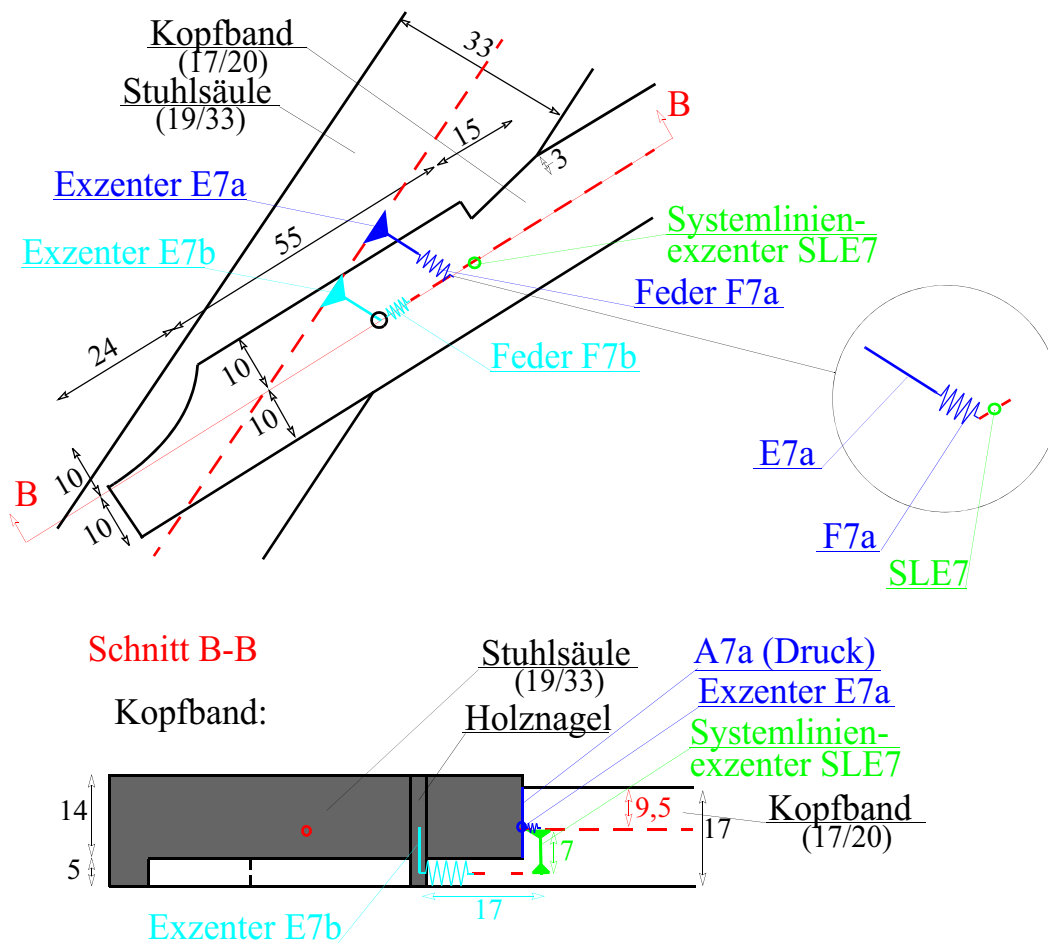


Abb. 9.33: Statisches System M4

9.3.9 D8: Rähm-Stuhlsäule beziehungsweise Kehlbalcken

Übersicht:

Der Anschluss zwischen dem Rähm und der Stuhlsäule ist ein Vollkamm, wobei das Rähm eine Einschnitttiefe von 1,5 cm besitzt. Der Anschluss zwischen Rähm und Kehlbalcken ist ein Halbkamm mit einer Einschnitttiefe von 2 cm.

Anmerkung:

Das Rähm ist im aufgenommenen Bereich durchgehend und besitzt keine Längsanschlüsse.

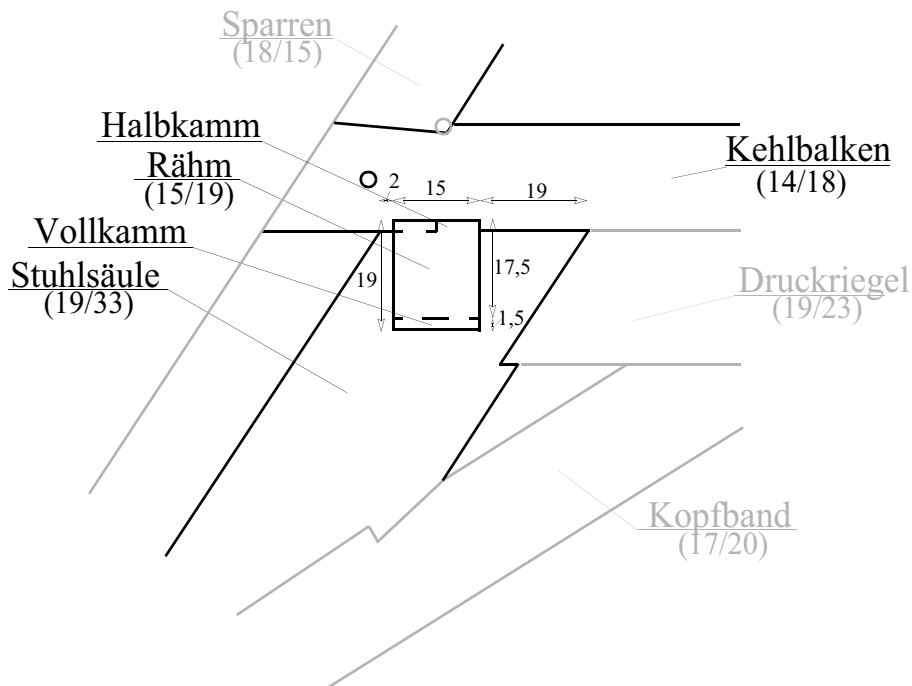


Abb. 9.34: Übersichtsskizze

Eine Bohrwiderstandsmessung war aus Platzmangel nicht möglich.

Modell M1:

Im Modell M1 wird weder die Exzentrizität noch die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt. Das Rähm bildet die Verbindung zwischen dem *reinen* Kehlbalkendach und dem zweifach liegendem Stuhl. Es gelten die anfangs getroffenen Annahmen (siehe Abb. 9.4).

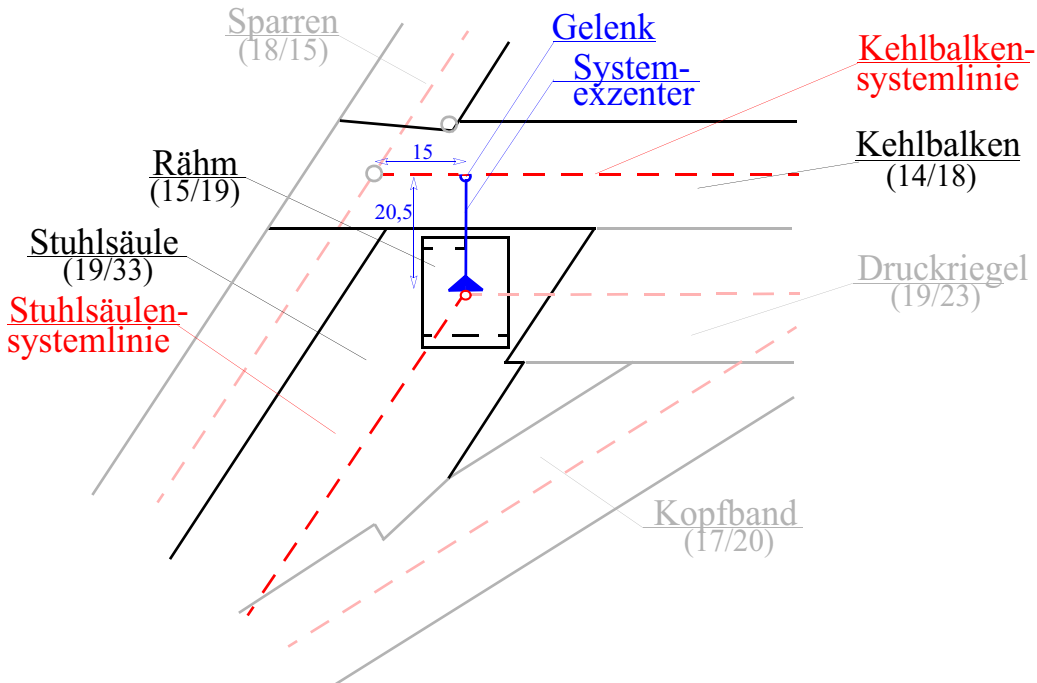


Abb. 9.35: Statisches System M1

Modell M2:

Im Modell M2 wird die Exzentrizität, nicht aber die Nachgiebigkeit berücksichtigt. Die Kraftübertragung zwischen dem Kehl balken und dem Rähm erfolgt über die Flächen A8a und A8b. Dabei werden die vertikalen Kräfte zum größten Teil über die Fläche A8a übertragen, die horizontalen Kräfte über die Fläche A8b.

Vertikale Kräfte verursachen keine zusätzlichen Momente, da sich die Wirkungsrichtung der resultierenden Kraft mit der Stabachse des Rähms und des Kehl balkens schneidet.

Bei horizontalen Kräften schneidet sich die resultierende Kraft nicht mit der Systemachse des Rähms und des Kehl balkens. Dies bedeutet dass zusätzliche Momente (M_z , M_t) entstehen. Da ein Exzenter diese zusätzlichen Momente erzeugen muss, verbindet dieser auch den Schwerpunkt der Fläche A8b mit der Stabachse des Rähms beziehungsweise des Kehl balkens.

$$A_1 = 15 \cdot 14 = 210 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_2 = 2 \cdot 14 = 28 \text{ [cm}^2\text{]}$$

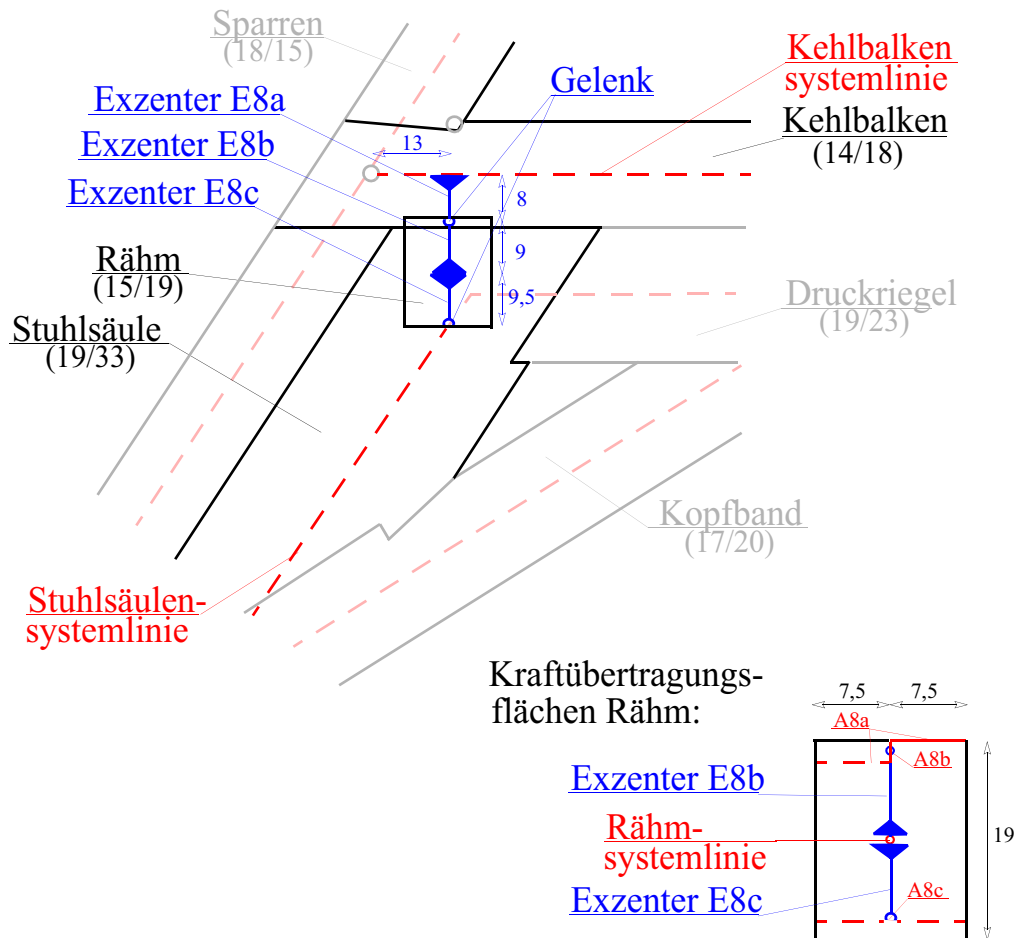


Abb. 9.36: Statisches Modell M2

Modell M3:

Im Modell M3 wird die Nachgiebigkeit der Verbindung, nicht aber ihre Exzentrizität berücksichtigt. Der Anschluss zwischen dem Kehlbalken und dem Rähm beziehungsweise dem Rähm und der Stuhlsäule sind die einzigen, bei denen sich die Systemachsen nicht in einem Punkt schneiden. Dies bedeutet für die Feder, dass sie im statischen Modell nicht in die Stabrichtung wirkt, sondern in der Richtung des Systemexzenters.

Berechnung der Federsteifigkeiten:

Vertikale Kräfte:

Die Kraftübertragung erfolgt in dieser Verbindung vom Kehlbalken auf das Rähm und vom Rähm auf die Stuhlsäule. Dadurch entstehen drei Federn. Die Feder F8a berücksichtigt die Nachgiebigkeit des Kehlbalkens. Die Feder F8b berücksichtigt die Nachgiebigkeit für die Kraftübertragung des Kehlbalkens in die Systemachse des Rähms. Die Feder F8c berücksichtigt die Nachgiebigkeit für die Kraftübertragung des Rähms auf die Stuhlsäule. Die Federn F8a und F8b wirken in den Leergespärren und den Hauptgespärren. Die Feder F8c wirkt nur in den Hauptgespärren.

Da in diesem Modell die Systemachse des Rähms in den Schnittpunkt der Systemachsen der Stuhlsäule und dem Druckriegel versetzt wird, erfolgt die Kraftübertragung zwischen Rähm und

Stuhlsäule im statischen Modell direkt im Schnittpunkt. Um die Nachgiebigkeit der Kraftübertragung vom Rähm auf die Stuhlsäule zu berücksichtigen wird die Federsteifigkeit berechnet. Diese Feder wird als resultierende Normalkraftfeder im Exzenter verwendet.

Kräfte auf Kehlbalken

Blickrichtung: Rähm

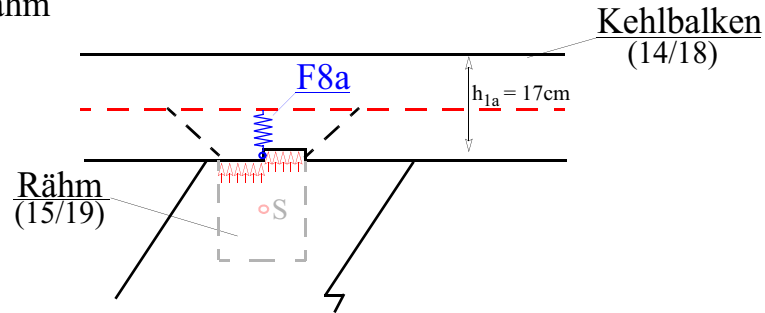
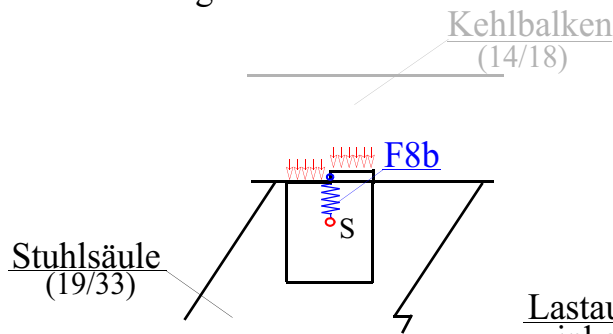


Abb. 9.37: Feder F8a

Kräfte aus dem Kehlbalken in das Rähm:

Blickrichtung: Rähm



in Richtung Kehlbalken

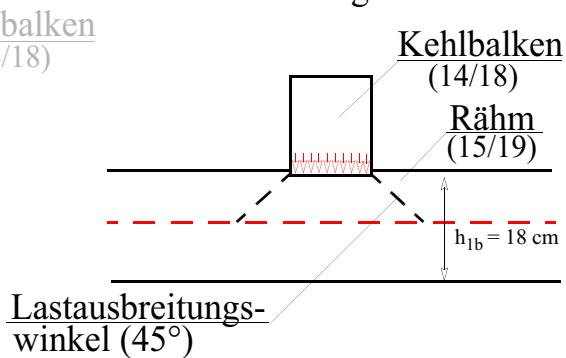
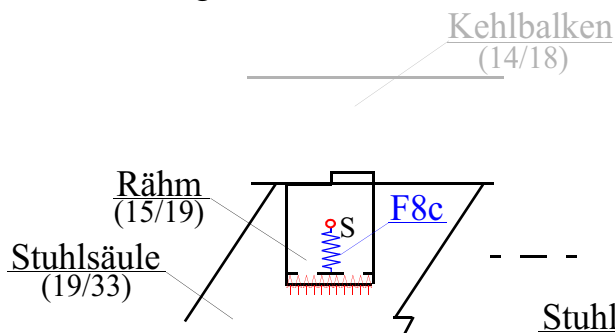


Abb. 9.38: Feder F8b

Kräfte aus dem Rähm in die Stuhlsäule:

Blickrichtung: Rähm



in Richtung Kehlbalken

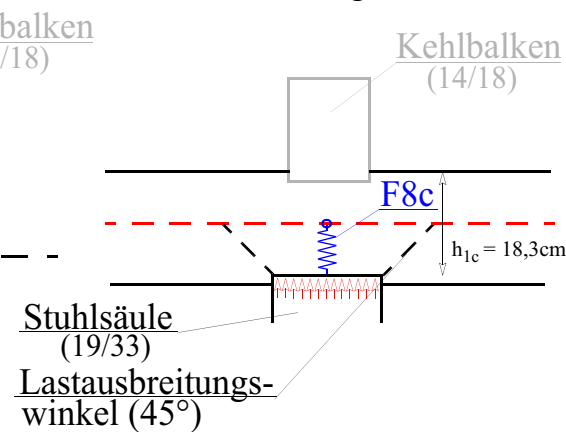


Abb. 9.39: Feder F8c

F8a:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 93:

$$\begin{aligned}
 h_1 &= 17 \text{ [cm]} & h_2 &= 15 \text{ [cm]} & b &= 14 \text{ [cm]} \\
 \frac{h_1}{b} &= \frac{17}{14} = 1,2 \approx 1 & \frac{h_2}{b} &= \frac{15}{14} = 1,1 \approx 1 & \zeta &= 3,2 \\
 C_a &= \zeta \cdot b \cdot E_{\perp} = 3,2 \cdot 14 \cdot 10 \cdot 400 = 179200 \text{ [N/mm]}
 \end{aligned}$$

F8b:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 91-93:

$$\begin{aligned}
 h_1 &= 18 \text{ [cm]} & h_2 &= 14 \text{ [cm]} & b &= 15 \text{ [cm]} \\
 \frac{h_1}{b} &= \frac{18}{15} = 1,2 \approx 1 & \frac{h_2}{b} &= \frac{14}{15} = 0,93 \approx 1 & \zeta &= 3,2 \\
 C_b &= \zeta \cdot b \cdot E_{\perp} = 3,2 \cdot 15 \cdot 10 \cdot 400 = 192000 \text{ [N/mm]}
 \end{aligned}$$

F8c:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 93:

$$\begin{aligned}
 h_1 &= 18,3 \text{ [cm]} & h_2 &= 19 \text{ [cm]} & b &= 15 \text{ [cm]} \\
 \frac{h_1}{b} &= \frac{18,3}{15} = 1,2 \approx 1 & \frac{h_2}{b} &= \frac{19}{15} = 1,3 \approx 1 & \zeta &= 3,2 \\
 C_{\text{Druck}} &= \zeta \cdot b \cdot E_{\perp} = 3,2 \cdot 15 \cdot 10 \cdot 400 = 192000 \text{ [N/mm]}
 \end{aligned}$$

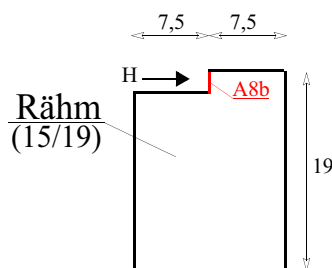
Horizontale Kräfte:

Die horizontalen Kräfte werden über einen Halbkamm aus dem Kehl balken in das Rähm eingeleitet. Die senkrechte Kraftübertragungsfläche (A8b) entsteht durch die Aussparungen an den beiden zu verbindenden Hölzern (siehe Abb. 9.40).

F8d:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 91-93:

Aufriss:



Grundriss:

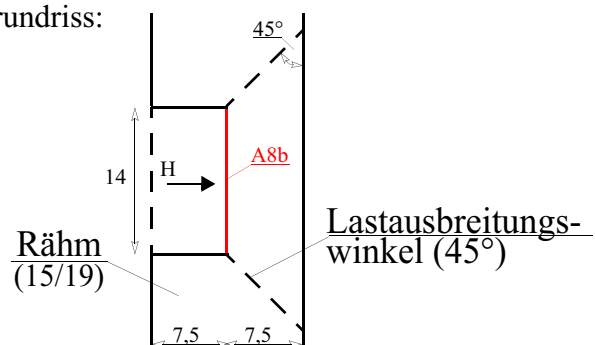


Abb. 9.40: Skizze horizontale Lastübertragung

$$h_1 = 7,5 \text{ [cm]} \quad h_2 = 14 \text{ [cm]} \quad b = 1,5 \text{ [cm]}$$

$$\frac{h_1}{b} = \frac{7,5}{1,5} = 5 \text{ [cm]} \quad \frac{h_2}{b} = \frac{14}{1,5} = 9,3 \text{ [cm]} \quad \zeta = 3,2$$

$$C_d = \zeta \cdot b \cdot E_{\perp} = 3,2 \cdot 1,5 \cdot 10 \cdot 400 = 19200 \text{ [N/mm]}$$

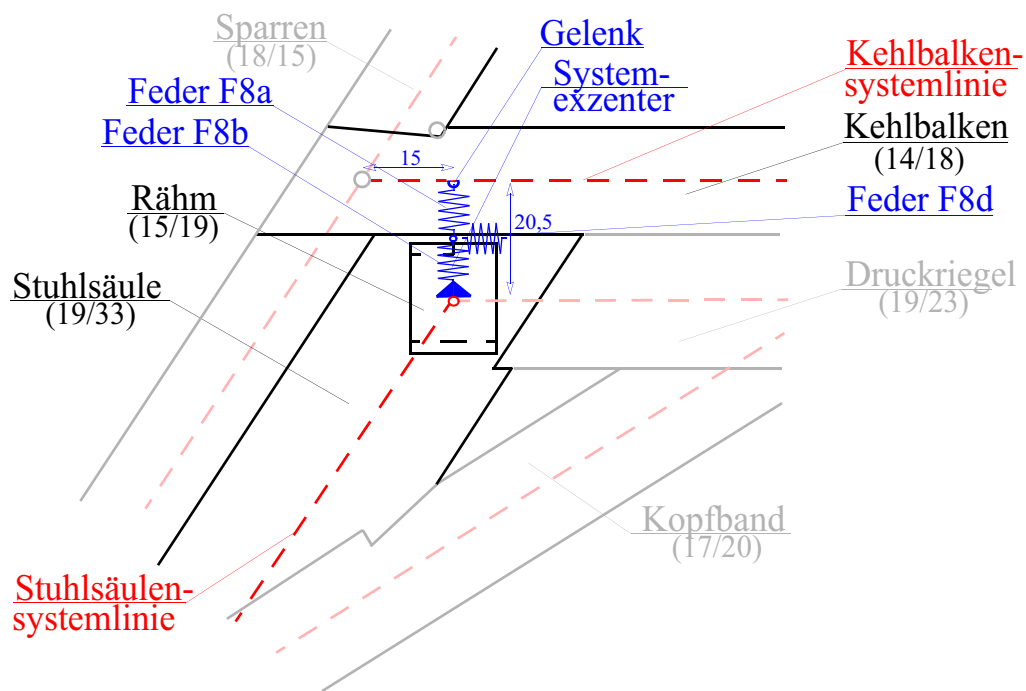


Abb. 9.41: Statisches System M3

Modell M4:

Im Modell M4 wird die Exzentrizität und die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt. Dabei werden die Exzenter aus dem Modell M2 und die Federn aus dem Modell M3 übernommen.

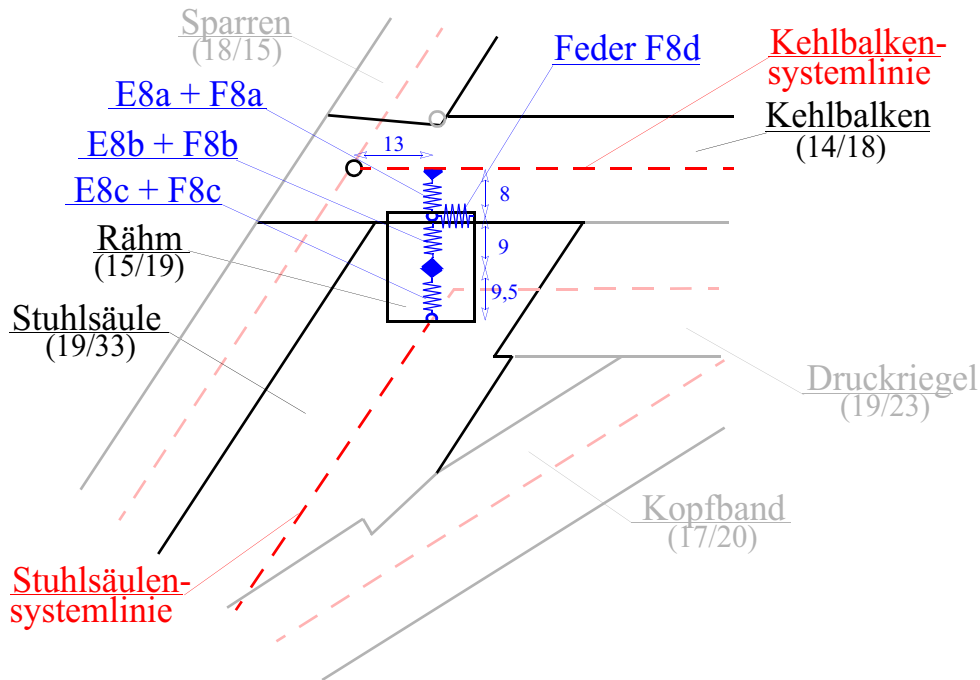


Abb. 9.42: Statisches System M4

9.3.10 D9: Sparren-Kehlbalken

Übersicht:

Der Anschluss des Kehlbalkes an den Sparren erfolgt durch eine Weißschwanzverbindung mit einem Holznagel als Zugsicherung und einem seitlichen Holznagel zur Lagesicherung. Das Abmessen der Holznägel zeigte einen nicht regelmäßigen Querschnitt, welcher sich näherungsweise auf einen runden Querschnitt mit einem Durchmesser von 2,5 cm vereinfachen lässt. Weiters liegt der Holznagel für die Zugsicherung in den Systemachsen und verursacht daher kein zusätzliches Moment aus Exzentrizitäten in der Gespärreebene. Die Überblattung des Weißschwanzes beträgt 5 cm.

Da sich die Querschnittsbreiten des Sparren (18 cm) und des Kehlbalkes (14 cm) unterscheiden und die Bauteile auf einer Seite bündig sind, sind auch die Systemachsen der beiden Bauteile um 2 cm zueinander versetzt. Da dieser Abstand unter 3 cm ist wird er in allen Modellen vernachlässigt. Somit wird die Systemachse des Kehlbalkes in die Systemachse des Sparren versetzt.

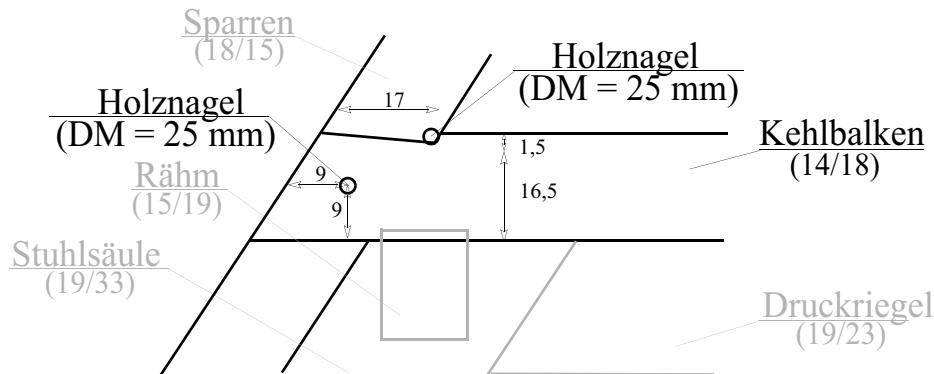


Abb. 9.43: Übersichtsskizze

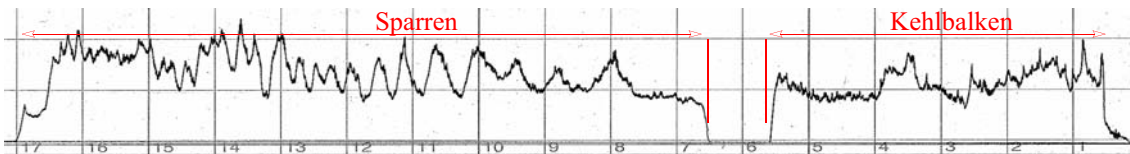


Abb. 9.44: Bohrwiderstandsmessung

Tragfähigkeit auf Zug:

Weißschwanz:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 77-79:

$$\alpha = 56^\circ; \gamma_1 = 0^\circ, \gamma_2 = 5, \alpha = 75 \text{ [mm]} \quad \varphi = 15^\circ (= \text{Reibungswinkel}), \text{ Holznaegel vorhanden}$$

$$k = \frac{\tan(\gamma_2 + \varphi) - \frac{1}{\tan \alpha}}{\tan(\gamma_1 + \varphi) + \tan(\gamma_2 + \varphi)} = \frac{\tan(5 + 15) - \frac{1}{\tan(56)}}{\tan(0 + 15) + \tan(5 + 15)} = -0,49$$

$$z_{ul}F = 0,06 \cdot \frac{\alpha}{\sin \alpha} \cdot \frac{1}{1-k} = 0,06 \cdot \frac{7,5}{\sin(56)} \cdot \frac{1}{1-(-0,49)} = 3,64 \text{ [kN]}$$

$$z_{ul}F = 3,64 + 1 = 4,64 \text{ [kN]}$$

$$R_d \approx z_{ul}F \cdot 1,45 \approx 4,64 \cdot 1,45 \approx 6,73 \text{ [kN]}$$

Modell M1:

Im Modell M1 wird weder die Exzentrizität, noch die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt. Die Kraftübertragung erfolgt im Schnittpunkt der Stabachsen des Sparrens und des Kehlbalckens. Der Anschluss erfolgt gelenkig und fällt auf Zug aus.

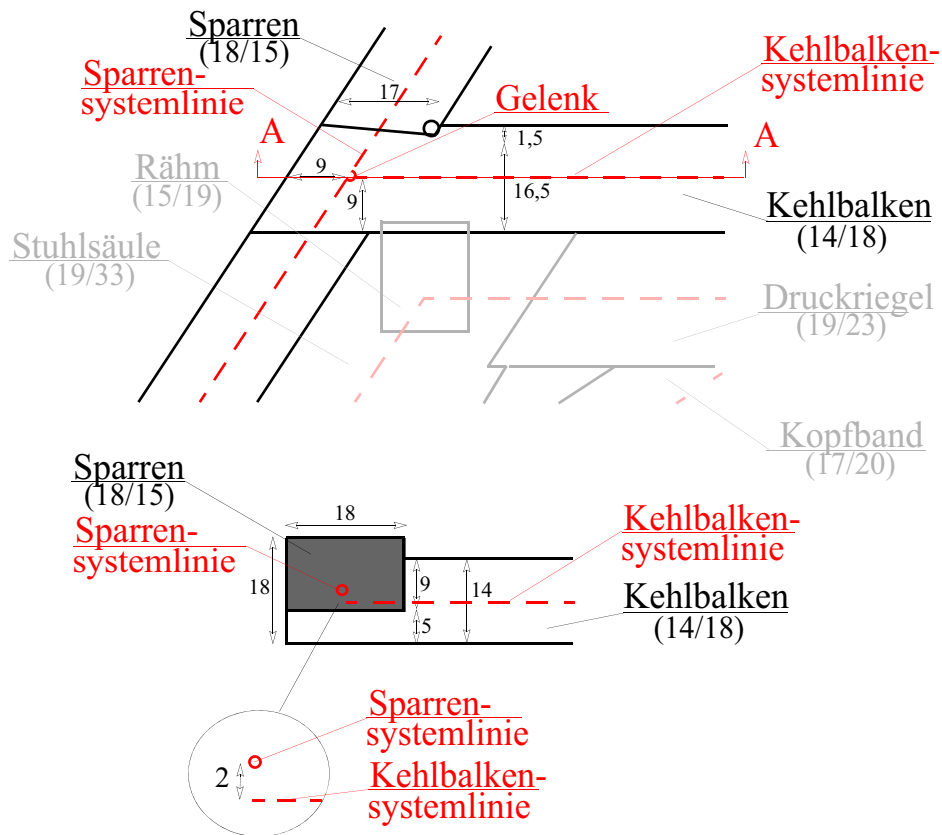


Abb. 9.45: Statisches System M1

Modell M2:

Im Modell M2 wird die Exzentrizität, nicht aber die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt.

Sparren:

Durch den Einschnitt der Blattsasse im Sparren kommt es zu einer Querschnittsveränderung. Dies würde bedeuten, dass es zu einem Sprung in der Systemlinie aus der Gespärreebene kommt. Dieser Sprung beläuft sich auf 2,5 cm und ist somit unter der 3 cm Toleranz. Daher wird er vernachlässigt.

Druck:

Liegt im Kehlbalcken eine Druckkraft vor, so wird diese größtenteils über die Fläche A9a in den Sparren eingeleitet. Die Normalkraft und die Querkraft können in ein Kräftepaar aufgeteilt werden, welche *in* und *normal* auf die Fläche A9a wirken. Die Kraftübertragung erfolgt über Kontaktdruck und über Haftreibung. Da der Winkel in der Gespärreebene zwischen der Systemlinie des Kehlbalckens und der Fläche A9a relativ steil ist (56°), kann davon ausgegangen werden, dass die Haftreibung einen großen Teil der Kräfte, welche *in* der Fläche A9a wirken, aufnimmt. Die übrigen Kräfte werden über die Weißschwanzverbindung in den Sparren eingeleitet. Der Exzenter E9a wird somit in den Schwerpunkt der Fläche A9a gesetzt.

Zug:

Die Weißschwanzverbindung eignet sich nicht um ständige Zugkräfte aufzunehmen. Eine Überblattung verursacht sowohl eine Exzentrizität aus der Gespärreebene als auch in der Gespärreebene.

Exzentrizität in der Gespärreebene:

Da die Exzentrizität durch das Einschneiden des halben Schwalbenschwanzes in der Gespärreebene nur sehr gering ist (< 3 cm) wird sie vernachlässigt.

Exzentrizität aus der Gespärreebene:

Die Systemlinie im Kehl balken ist durch die Ausklinkung aus der Gespärreebene versetzt und muss durch einen Systemlinienexzenter wieder miteinander verbunden werden. Dieser ist aber nur unter einer Zugbeanspruchung wirksam. Der Systemlinienexzenter müßte direkt in den Schwerpunkt der Kraftübertragungsfläche A9a gesetzt werden. Da aber dort auch der Exzenter E9a anschließt und dies zu Eingabeproblemen im Statikprogramm führen würde, wird der Systemexzenter um 1 cm in das Innere des Bauteils versetzt.

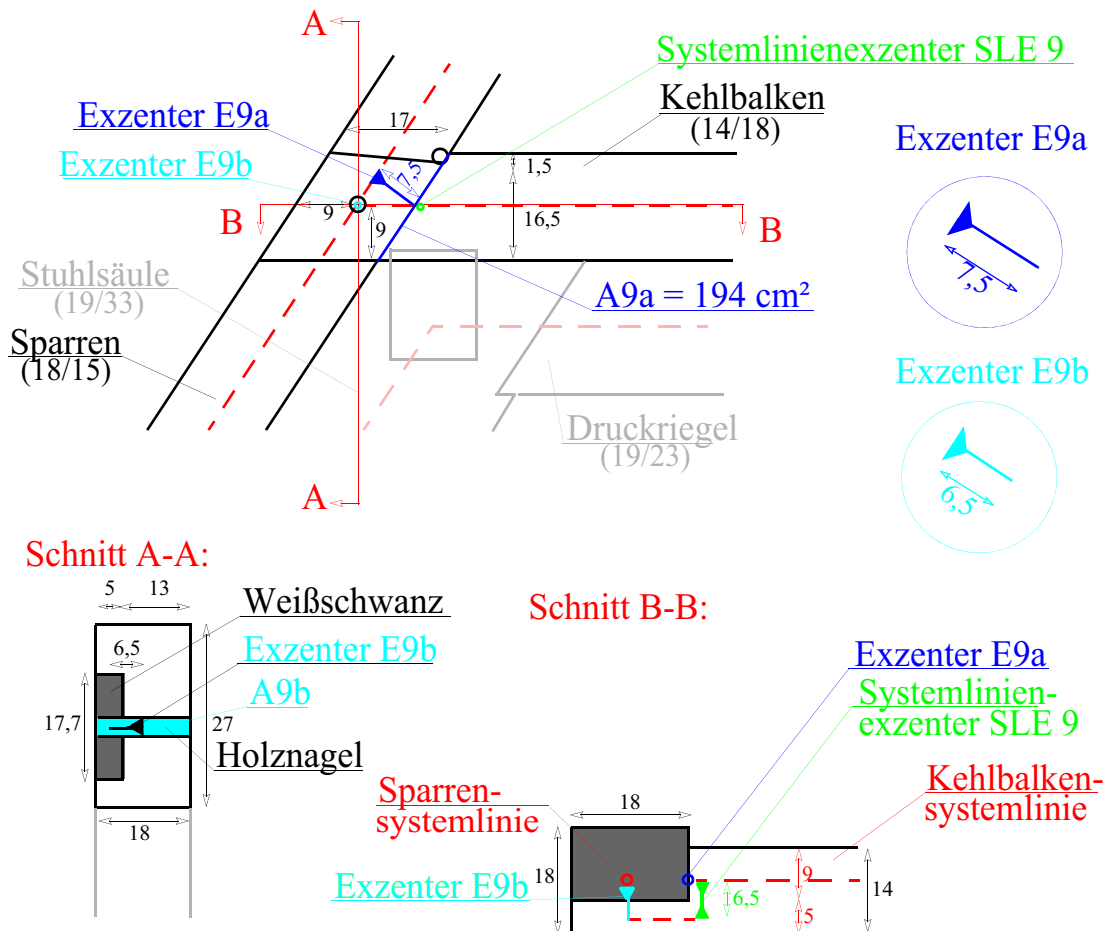


Abb. 9.46: Statisches System M2

Modell M3:

Die vorgehensweise im Modell M3 ist dieselbe wie jene im Modell M3 des Anschlusses D7 (siehe Kap. 9.3.8).

Nachgiebigkeit auf Zug:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 79:

$$C_{Zug} = z_{ul} F \cdot 0,4 = 4640 \cdot 0,4 = 1856 \text{ [N/mm]}$$

Nachgiebigkeit auf Druck:

Für die Nachgiebigkeit der Verbindung ist jene Kraft ausschlaggebend, welche normal auf die Kraftübertragungsfläche A9a wirkt. Der Grund dafür ist der, dass der Elastizitätsmodul quer zu Faserrichtung der Stuhlsäule um ein vielfaches geringer ist als jener in Faserrichtung. Diese Berechnung erfolgt für das Modell M4.

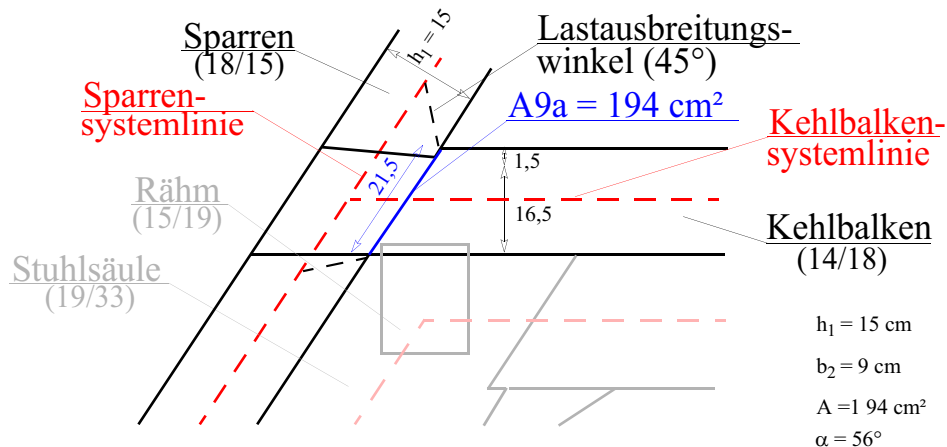


Abb. 9.47: Druckübertragungsfläche

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 91-93:

$$h_1 = 15 \text{ [cm]}$$

$$h_2 = 21,5 \text{ [cm]}$$

$$b_2 = 9 \text{ [cm]}$$

$$\frac{h_1}{b_2} = \frac{15}{9} = 1,67 \approx 2$$

$$\frac{h_2}{b} = \frac{21,5}{9} = 2,4 \approx 2$$

$$\zeta = 3,2$$

$$C_{Druck} = \zeta \cdot b \cdot E_{\perp} = 3,2 \cdot 9 \cdot 10 \cdot 400 = 115200 \text{ [N/mm]}$$

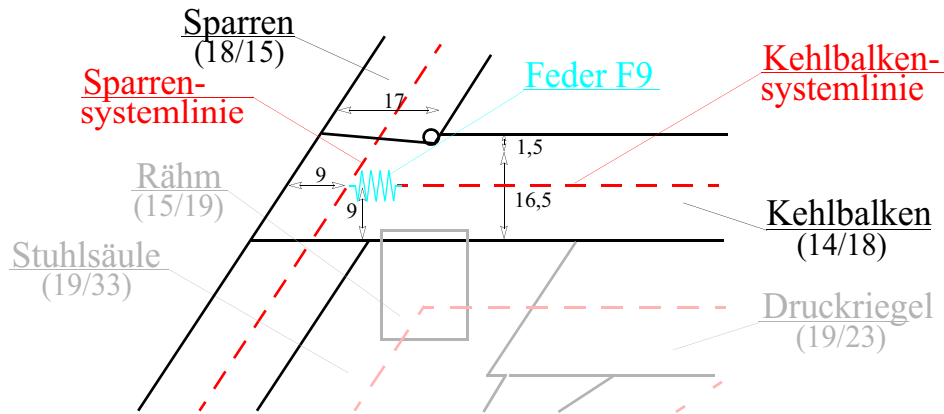
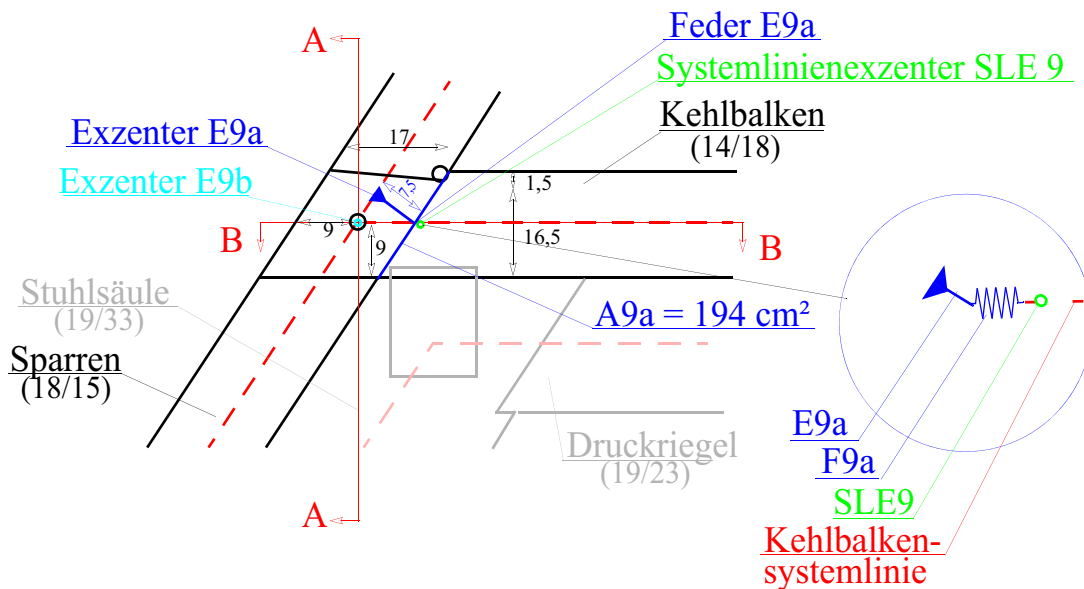


Abb. 9.48: Statisches Modell M3

Modell M4:

Im Modell M4 werden sowohl Nachgiebigkeiten als auch Exzentrizitäten der Verbindung berücksichtigt. Die Vorgehensweise ist dieselbe wie im Kap. 9.3.8.



Schnitt B-B:

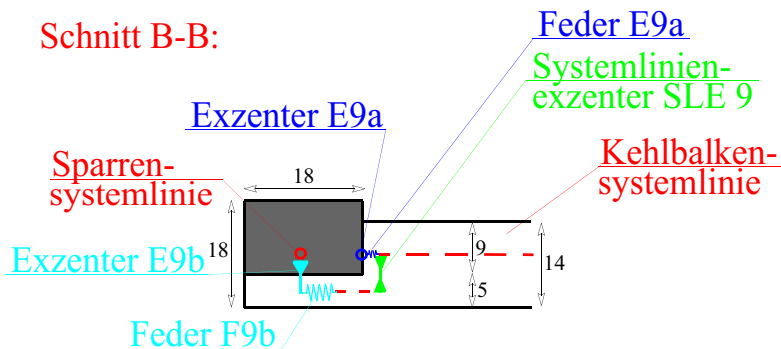


Abb. 9.49: Statisches System M4

9.3.11 D10: Druckriegel-Stuhlsäule

Übersicht:

Der Anschluss der Stuhlsäule mit dem Druckriegel erfolgt über eine Scherzapfenverbindung. Bohrwiderstandsmessungen haben ergeben, dass diese Verbindung ähnlich wie bei den Stirnversatzzapfenanschlüssen am Sparrenfuß nicht ganz symmetrisch ist (siehe Abb. 9.50, Abb. 9.51). Dies wurde für die Modellierung aus den gleichen Beweggründen wie bei den Stirnversatzzapfen symmetrisch angepasst, das heißt der Druckriegel bekommt kein zusätzliches M_z aufgrund Exzentrizitäten der Horizontalkräfte.

Skizze:

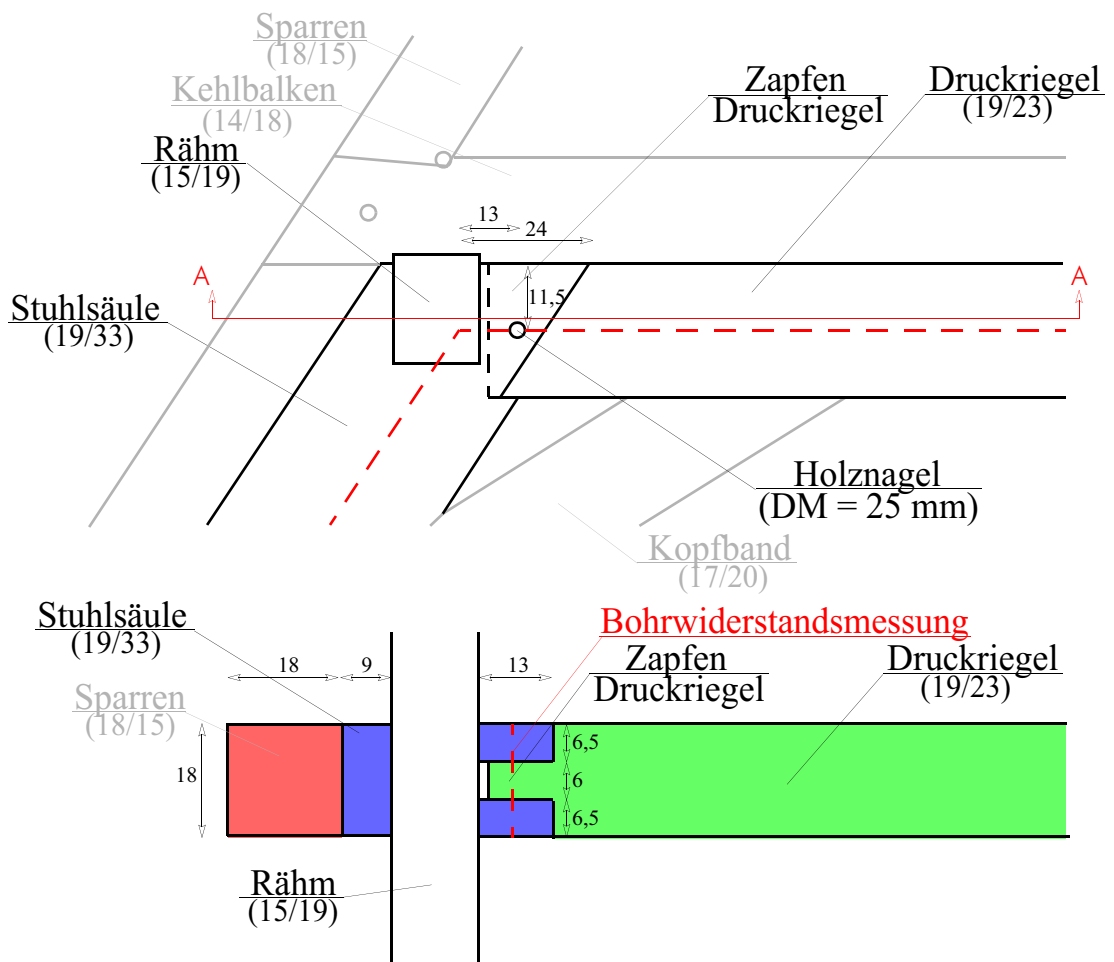


Abb. 9.50: Übersichtsskizze

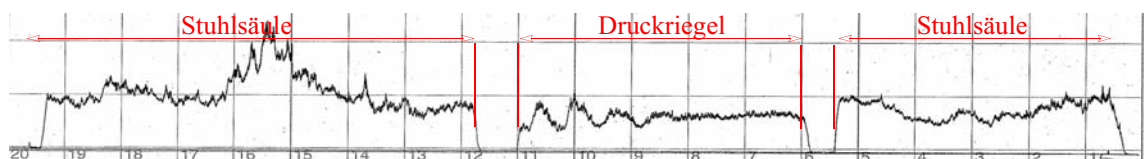


Abb. 9.51: Bohrwiderstandmessung

Tragfähigkeit auf Zug: (vgl. Kap. 8.2)

$$R_d \approx z_{ul} F_{HN} \cdot 1,45 \cdot 2 \approx 3,16 \cdot 1,45 \cdot 2 \approx 9,15 \text{ [kN]}$$

Modell M1:

Im Modell M1 wird weder die Exzentrizität noch die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt. Die Stabelemente (Druckriegel, Stuhlsäule) werden in ihren Systemachsen gelenkig miteinander verbunden. Die Verbindung fällt unter einer Zugbeanspruchung des Bauteils aus.

Die Zugtragwirkung erfolgt über den Holznagel. Die berechnete Tragfähigkeit des Holznagels ist noch mit der Anzahl der Scherflächen zu multiplizieren (siehe Kap. 8.2). Da es sich bei der Verbindung zwischen Druckriegel und der Stuhlsäule um eine zweiseitige Verbindung handelt, ist das R_d zu verdoppeln.

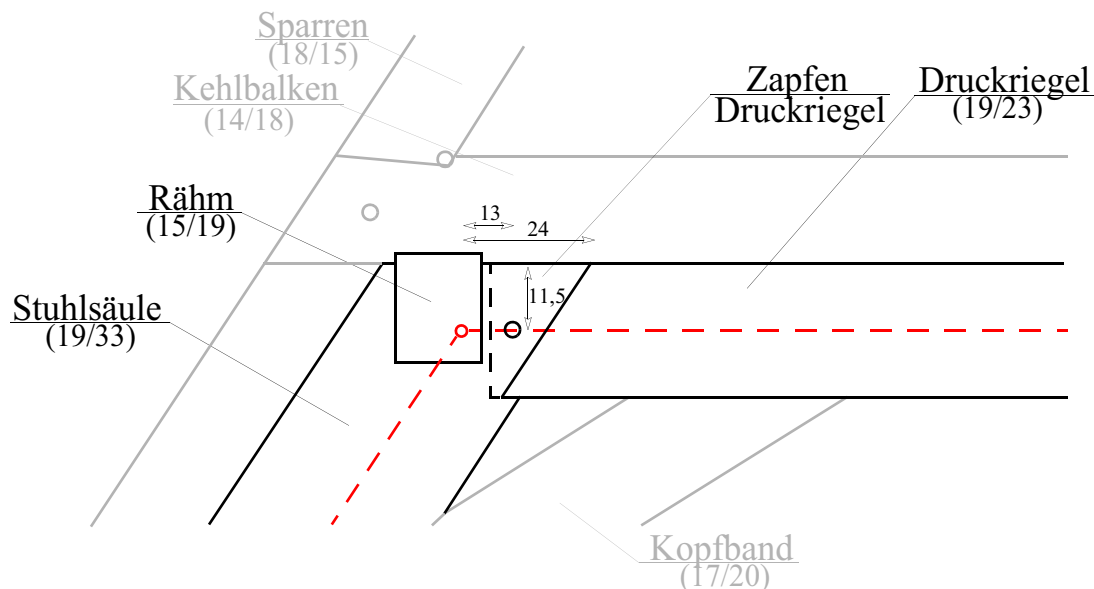


Abb. 9.52: Statisches System M1

Modell M2:

Im Modell M2 wird die Exzentrizität, nicht aber die Nachgiebigkeit der Verbindung, berücksichtigt.

Es gibt in dieser Verbindung drei Kraftübertragungsflächen. Die erste ist die Stirnfläche des Druckriegels A10a. Diese Fläche kann Kräfte, welche normal auf die Fläche stehen über Kontakt- und Reibungsdruck übertragen und Kräfte, welche in der Fläche wirken durch Reibung übertragen. Die Fläche A10b ist deutlich kleiner als die Fläche A10a. A10b überträgt die vertikalen Lasten, die aus dem Druckriegel kommen und nicht über Reibung in der Fläche A10a übertragen werden können. Die Fläche A10c ist die Kraftübertragungsfläche des Holznagels. Dieser kann kurzzeitige Zugkräfte aus dem Druckriegel übertragen.

Da im Druckriegel hauptsächlich Druckkräfte vorliegen ist die Hauptkraftübertragungsfläche die Fläche A10a.

Da der Systemlinienexzenter SLE10 und der Exzenter E10a beziehungsweise E10b die gleiche Richtung besitzen und in einem Abstand von 16 cm stehen, würde eine Vereinheitlichung dieser beiden Exzenter für die globalen Schnittkräfte keine Veränderung mit sich bringen. Dies bestätigen auch Untersuchungen mit verfeinerten Stabmodellen, welche mit einer genauen FE-Modellierung verglichen wurden (vgl. [11] S. 41). Durch *mehrmaliges* Anpassen der Systemexzenter an den tatsächlichen Systemlinienverlauf im lokalen Bereich innerhalb der Verbindung *eines* Bauteils ändern sich die globalen Schnittkräfte nicht. Die Genauigkeit der lokalen Schnittkräfte innerhalb der Verbindung kann durch die Anpassung nicht verbessert, sondern nur mittels FE-Modellierung erfasst werden. Dies bedeutet für das Modell M2, dass der Schwerpunkt der Kraftübertragungsfläche A10a beziehungsweise A10c mit der Verlängerung der regulären Systemachse der Stuhlsäule verbunden werden kann. Der Systemlinienexzenter wird daher vernachlässigt (siehe Abb. 9.53 unten).

Die Systemlinie des Holznagels schneidet sich mit der Systemlinie des Druckriegels, nicht aber mit der Systemlinie der Stuhlsäule. Daher bekommt der Druckriegel bei einer Zugbeanspruchung keine zusätzlichen Momente aus einer Exzentrizität, die Stuhlsäule jedoch schon. Jene Komponente welche das zusätzliche Moment in der Stuhlsäule verursacht ist N_n (siehe Abb. 9.54 unten). Da sich die Längen der Exzenter E10a und E10b nur um 3 cm unterscheiden und dies innerhalb der 3 cm Toleranz liegt, wird die Zugkraftübertragung ebenfalls in der Fläche A10a angenommen (siehe Abb. 9.54). Der Exzenter E10b wird daher in der Modelleingabe vernachlässigt (siehe Abb. 9.54).

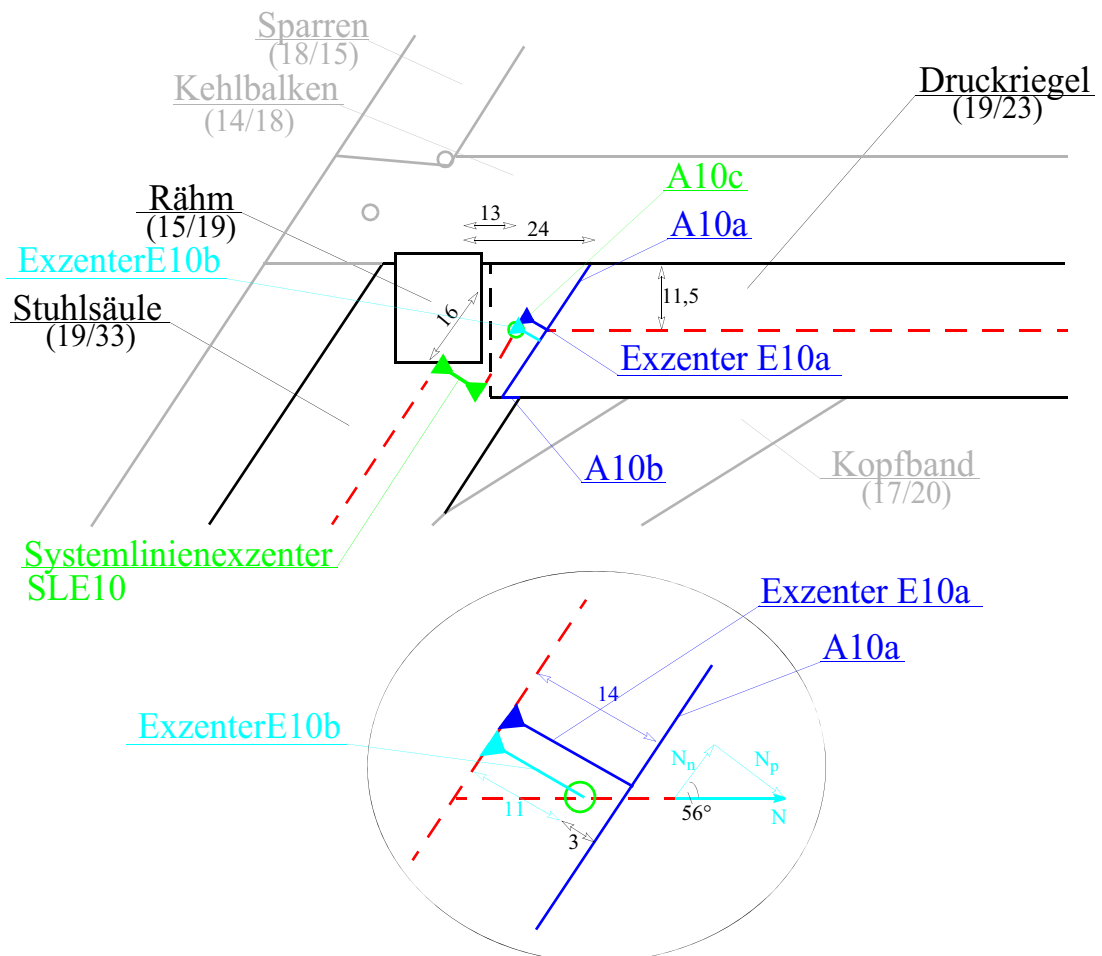


Abb. 9.53: Statisches System mit SLE (oben), statisches System ohne SLE unten

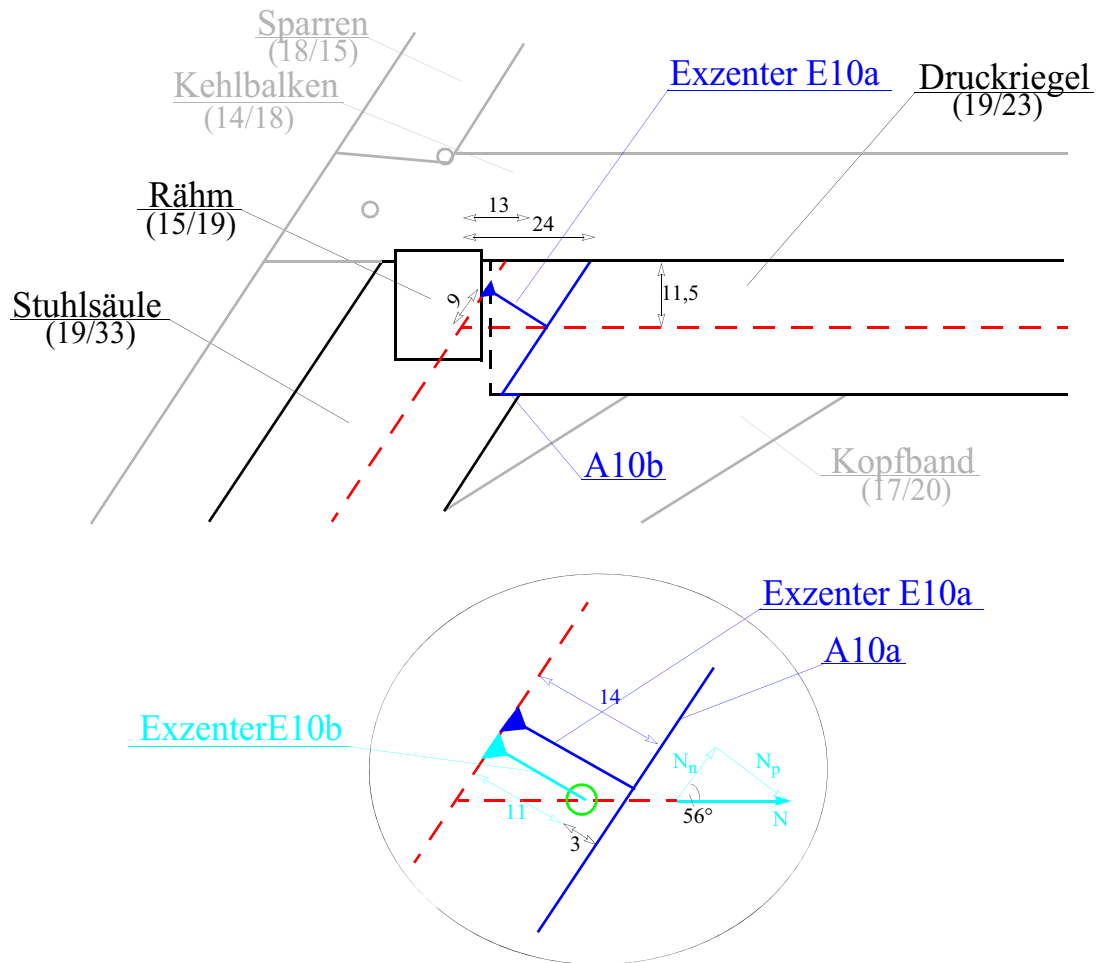


Abb. 9.54: Vereinfachtes statisches System M2

Modell M3:

Im Modell M3 wird die Nachgiebigkeit, nicht aber die Exzentrizität der Verbindung, berücksichtigt.

Da sich in diesem Knotenpunkt sehr viele Bauteile schneiden (Stuhlsäule, Druckriegel, Rähm) gibt es auch sehr viele Faktoren, welche die Nachgiebigkeit des Anschlusses beeinflussen. Eine genaue Berechnung dieser Nachgiebigkeit ist nur mittels FE-Berechnungen möglich. Für die gesuchte Federsteifigkeit im Anschluss Druckriegel-Stuhlsäule kann im Rahmen dieser Arbeit nur eine erste Näherung erfolgen.

Abschätzung der Federsteifigkeit:

Nachgiebigkeit auf Zug: (vgl. Kap. 8.2)

$$z_{ul}F = 3149 \cdot 2 \text{ [N]} = 6298 \text{ [N]}$$

$$C_{Zug} = 6298 \cdot 1 = 6298 \text{ [N/mm]}$$

Die Feder F10 wird mittels Arbeitsdiagramm eingegeben, da sie unter einer Zugbeanspruchung mit der Federsteifigkeit C_{zug} wirkt und auf Druck starr ist.

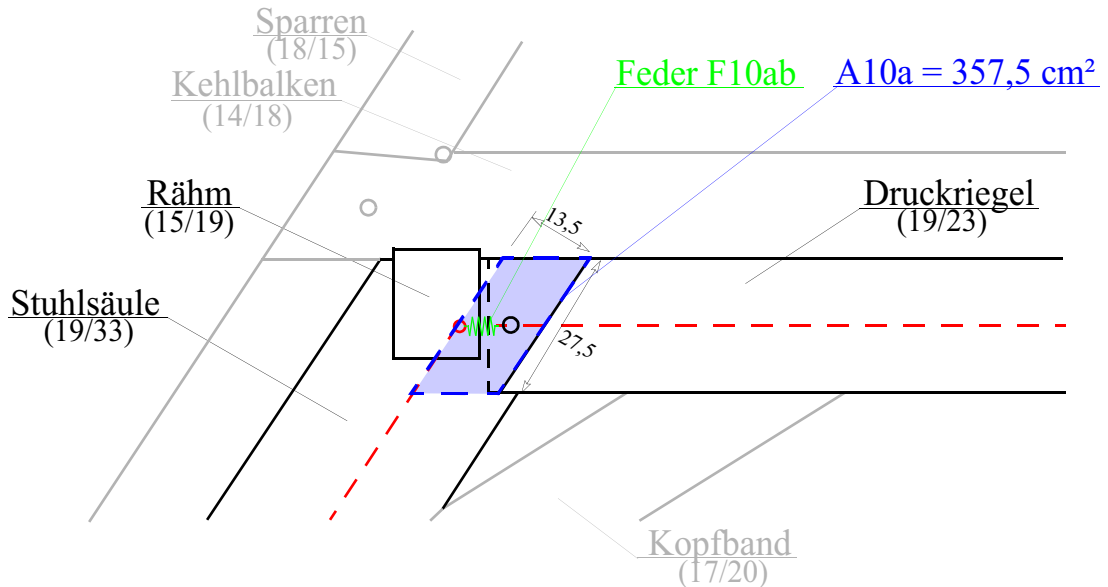


Abb. 9.55: Statisches Modell M3

Nachgiebigkeit auf Druck:

Da im Modell M3 keine Nachgiebigkeit auf Druck berücksichtigt wird, ist diese Berechnung für das Modell M4 (siehe Abb. 9.55). Es handelt sich dabei um eine grobe Abschätzung.

$$C_{\text{Druck}} = \frac{E_{\perp} \cdot A_{10a}}{l} = \frac{400 \cdot 3570}{135} = 105926 \text{ [N/mm]}$$

Modell M4:

Im Modell M4 wird die Nachgiebigkeit und die Exzentrizität der Verbindung berücksichtigt. Die Exzenter und die Federn werden aus dem Modell M2 beziehungsweise M3 übernommen.

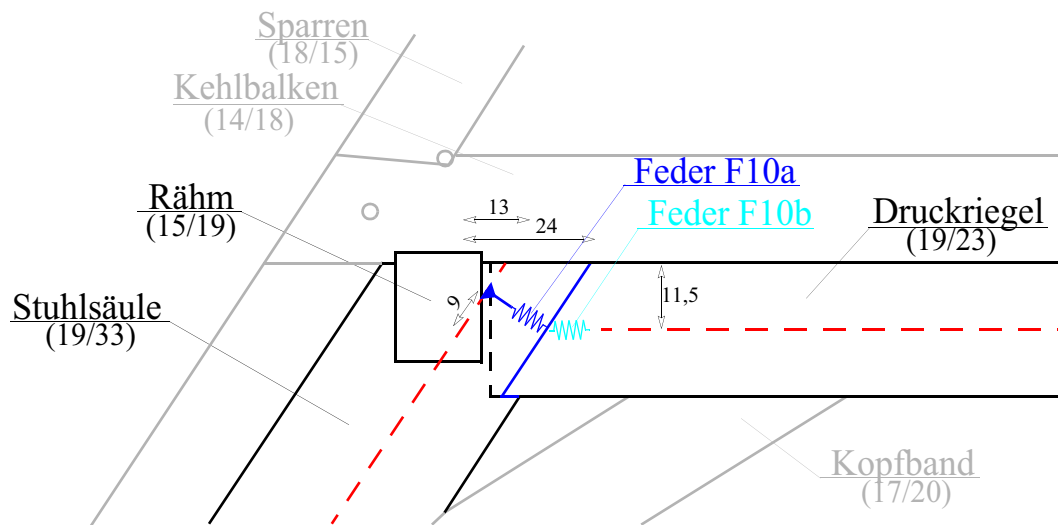


Abb. 9.56: Statisches System M4

9.3.12 D11: Kopfband-Druckriegel

Übersicht:

Der Anschluss des Kopfbandes an den Druckriegel erfolgt über eine Weißschwanzverbindung. Eine Weißschwanzverbindung ist eine halbe Schwalbenschwanzverbindung. Die Weißschwanzverbindungen gehören allgemein zu den Blattverbindungen. Die Überblattung beträgt 5 cm. Exzentrizitäten sind, wie bei der Hakenblattverbindung am anderen Ende des Kopfbandes nur aus der Gespärreebene vorhanden.

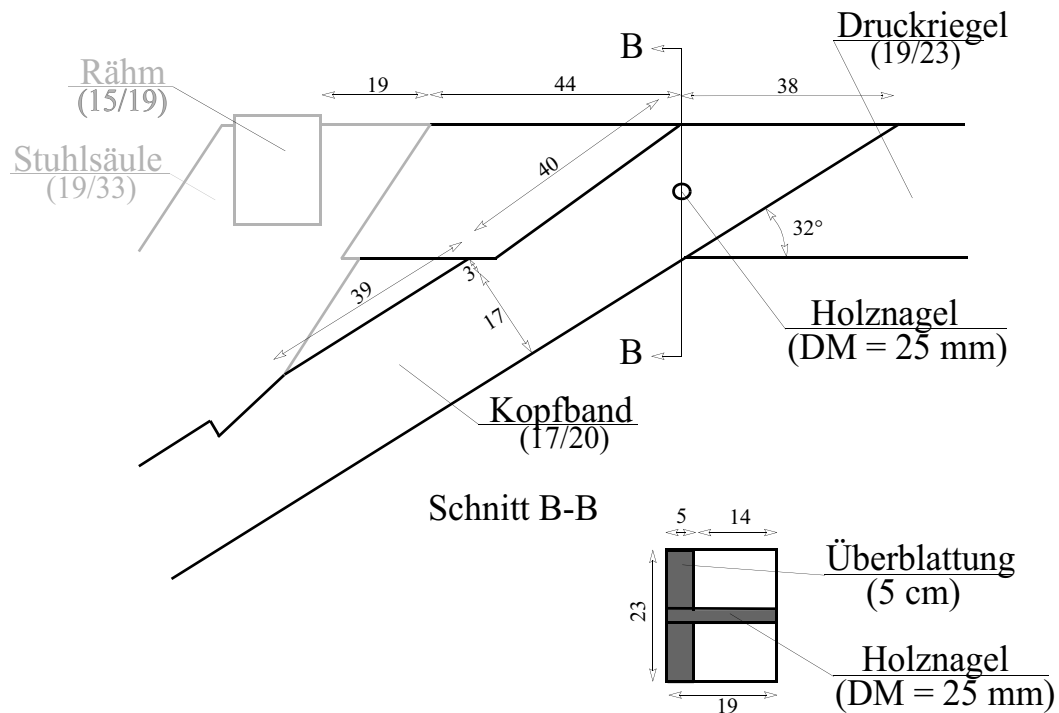


Abb. 9.57: Übersichtsskizze

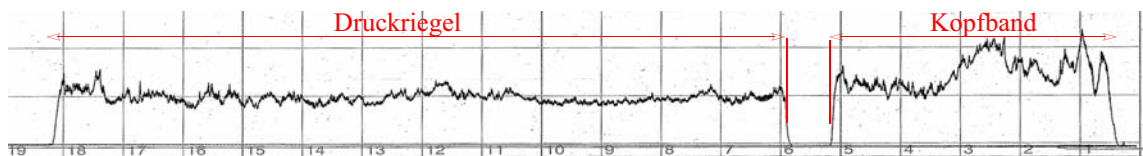


Abb. 9.58: Bohrwiderstandsmessung Kopfband-Druckriegelverbindung

Tragfähigkeit auf Zug:

Die Berechnung erfolgt nach [8] Seite 77-79:

$$\alpha = 32^\circ; \gamma_1 = 0^\circ, \gamma_2 = 3, a = 115 \text{ [mm]} \quad \varphi = 15^\circ (= \text{Reibungswinkel}), \text{ Holznagel vorhanden}$$

$$k = \frac{\tan(\gamma_2 + \varphi) - \frac{1}{\tan \alpha}}{\tan(\gamma_1 + \varphi) + \tan(\gamma_2 + \varphi)} = \frac{\tan(3 + 15) - \frac{1}{\tan(32)}}{\tan(0 + 15) + \tan(3 + 15)} = -2,15$$

$$z_{ul}F = 0,06 \cdot \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \frac{1}{1-k} = 0,06 \cdot \frac{115}{\sin(32)} \cdot \frac{1}{1-(-2,25)} = 4,13 \text{ [kN]}$$

$$z_{ul}F = 4,13 + 1 = 5,13 \text{ [kN]}$$

$$R_d \approx z_{ul}F \cdot 1,45 \approx 5,13 \cdot 1,45 \approx 7,44 \text{ [kN]}$$

M1:

Im Modell M1 wird weder die Exzentrizität noch die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt. Die Kraftübertragung erfolgt im Schnittpunkt der Stabachsen des Kopfbandes und des Druckriegels.

Überblattungen wie zum Beispiel der Schwalbenschwanz, aber auch die Weißschwanzverbindung haben die Eigenschaft, dass sie nur für kurzzeitige Zugbelastungen konzipiert sind. Daher fällt das Gelenk im Modell M1 unter einer Zugkraft aus.

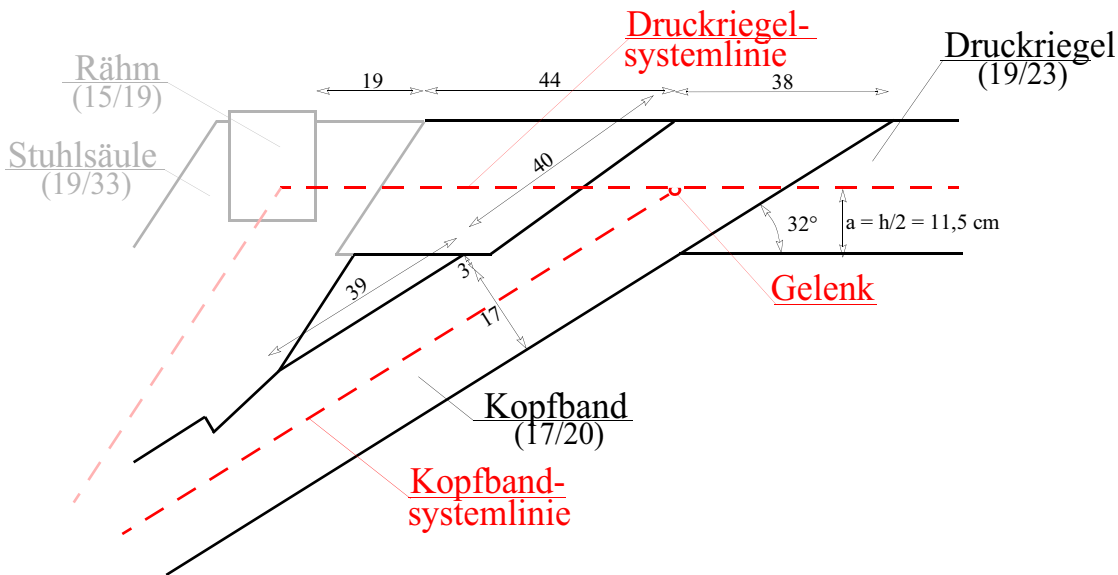


Abb. 9.59: Statisches System M1

M2:

Im Modell M2 wird die Exzentrizität nicht aber die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt. Eine Weißschwanzverbindung verursacht unter Zugbeanspruchung eine Exzentrizität *aus* und *in* der Gespärreebene.

Exzentrizität in der Gespärreebene:

Kopfband:

Die Exzentrizität auf Zug in der Gespärreebene resultiert aus dem Einschneiden (= 3 cm) des Blattes und der dadurch entstehenden Querschnittsverjüngung. Die Querschnittshöhe wird dadurch von 20 cm auf 17 cm reduziert. Die vorhandene Zugtragfähigkeit resultiert aus einer anschließend wieder zunehmenden Querschnittshöhe. Am Ende des Blattes wird wieder die Ausgangshöhe erreicht. Dies bedeutet, dass der Einfluss der Exzentrizität wieder abnimmt. Da der Querschnitt die ursprüngliche Höhe wieder erreicht, wird auch die Exzentrizität wieder zu Null. Dies bedeutet, dass die Exzentrizität vom Ort der Kraftübertragung innerhalb des Battes abhängt. Da dieser nicht lokalisierbar ist wird die Kraftübertragung im Holz nagel angenommen.

Das heißt, es ist jene Querschnittshöhe des Blattes maßgebend, die durch den Mittelpunkt des Holznagels führt. Diese Höhe h_1 beträgt 19,5 cm (siehe Abb. 9.60). Damit ist quasi keine Exzentrizität in der Gespärreebene vorhanden und daher wird diese auch vernachlässigt.

Druckriegel:

Für eine Druckbeanspruchung im Kopfband wird der Exzener E11a benötigt.

Exzentrizität aus der Gespärreebene:

Kopfband:

Die Exzentrizität aus der Gespärreebene ist unter einer Zugbeanspruchung, durch die konstant bleibende Dicke der Überblattung (= 5 cm) ebenfalls konstant. Für die Exzentrizität aus der Gespärreebene wird der Sytemlinienexzenter SLE11 benötigt (siehe Abb. 9.60).

Druckriegel:

Für die Berücksichtigung der Exzentrizität aus der Gespärreebene wird der Exzenter E11b benötigt (siehe Abb. 9.60).

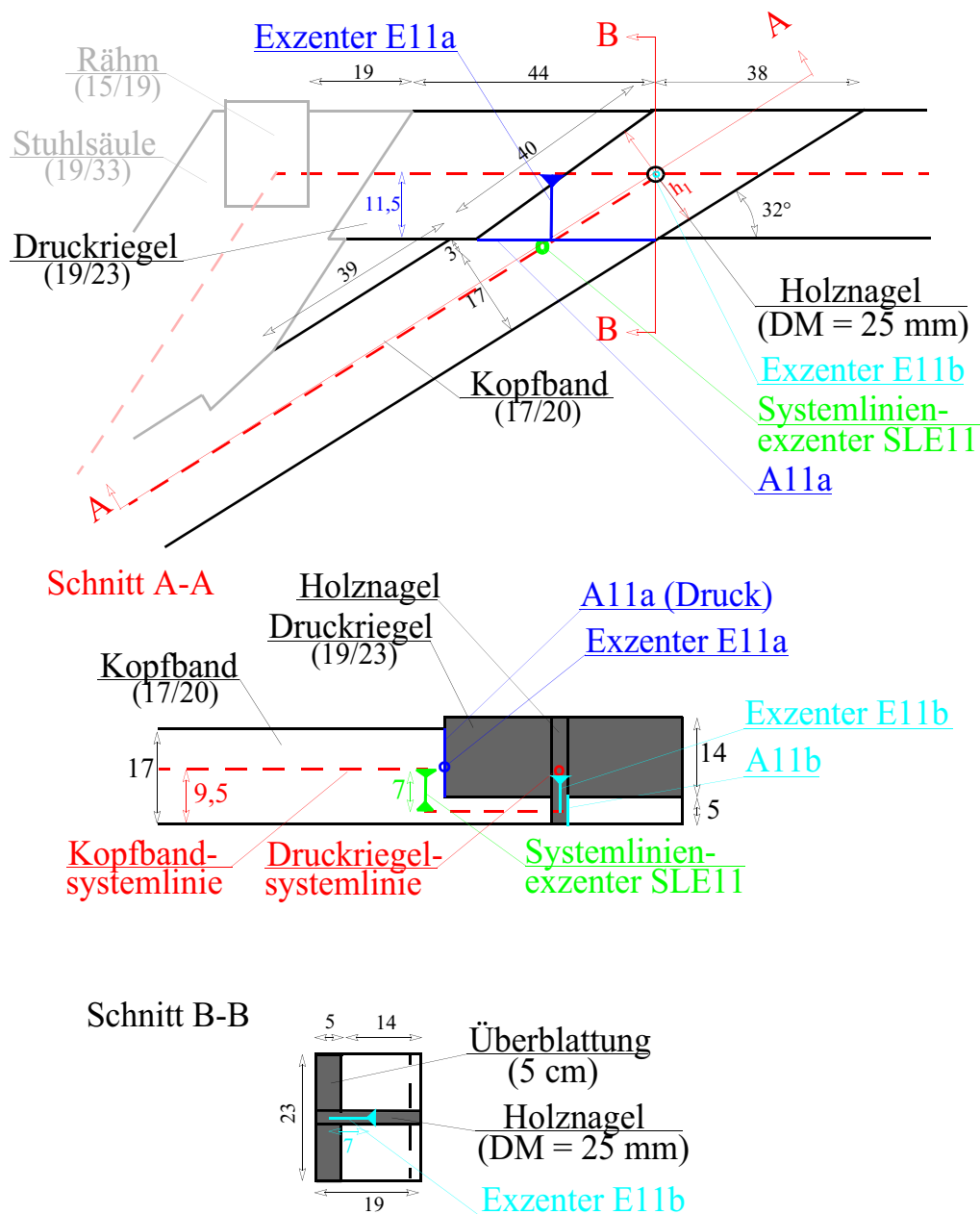


Abb. 9.60: Statisches System M2

M3:

Im Modell M3 wird die Exzentrizität nicht, die Nachgiebigkeit aber schon, berücksichtigt. Die Bestimmung der Nachgiebigkeit erfolgt über die Tragfähigkeit auf Zug. Nachgiebigkeit unter Zugbeanspruchung:

$$C_{Zug} = z_{ul} \cdot F \cdot 0,4 = 5130 \cdot 0,4 = 2052 \text{ [N/mm]}$$

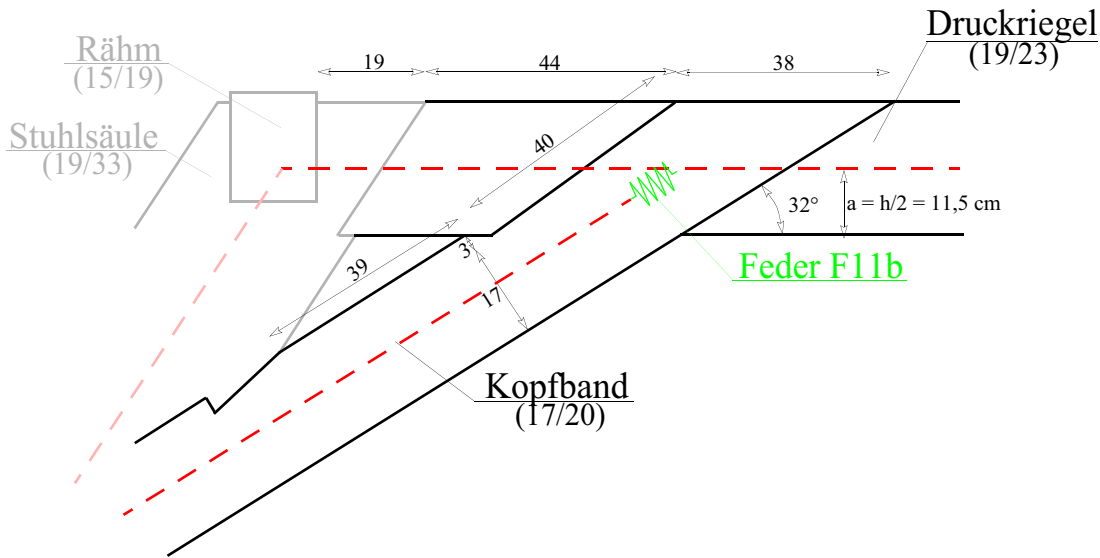


Abb. 9.61: Statisches System M3

Da die Feder zwischen Zug und Druck differenzieren muss, erfolgt die Eingabe in das Statikprogramm über ein Arbeitsdiagramm. Dabei wirkt die Feder auf Zug mit der Federsteifigkeit C_{Zug} ist aber auf Druck starr.

Nachgiebigkeit unter Druckbeanspruchung:

Da im Modell M3 die Federsteifigkeit nur auf Zug berücksichtigt werden kann, ist die Berechnung für das Modell M4. Die Nachgiebigkeit unter einer Druckbeanspruchung liegt zwischen einer Schwellenpressung, da der Kehlbalken entgegenwirkt (Annahme: Kehlbalken liegt kontinuierlich auf dem Druckriegel auf), und einem Druckkontaktanschluss auf Biegeträger. (siehe Abb. 9.62)

$$\mu = \frac{2 \cdot \tan \alpha}{\ln\left(2 \cdot \frac{k}{m} \cdot \tan \alpha + 1\right)} = \frac{2 \cdot \tan \alpha}{\ln\left(2 \cdot \frac{\frac{h_1}{b_2}}{\frac{A}{b_2^2}} \cdot \tan \alpha + 1\right)} = \frac{2 \cdot \tan(45)}{\ln\left(2 \cdot \frac{\frac{23}{12}}{\frac{476}{12^2}} \cdot \tan(45) + 1\right)} = 2,6$$

$$C_1 = \mu \cdot b \cdot E_{\perp} = 2,6 \cdot 120 \cdot 400 = 124800 \text{ [N/mm]}$$

$$h_1 = 33 \text{ [cm]} \quad h_2 = 38 \text{ [cm]} \quad b = 12 \text{ [cm]}$$

$$\frac{h_1}{b} = \frac{33}{12} = 2,75 \approx 3$$

$$\frac{h_2}{b} = \frac{38}{12} = 3,17 \approx 3$$

$$\zeta = 3,2$$

$$C_2 = \zeta \cdot b \cdot E_{\perp} = 3,2 \cdot 12 \cdot 10 \cdot 400 = 153600 \text{ [N/mm]}$$

gemittelt:

$$C_m = \frac{124800 + 153600}{2} = 139200 \text{ [N/mm]}$$

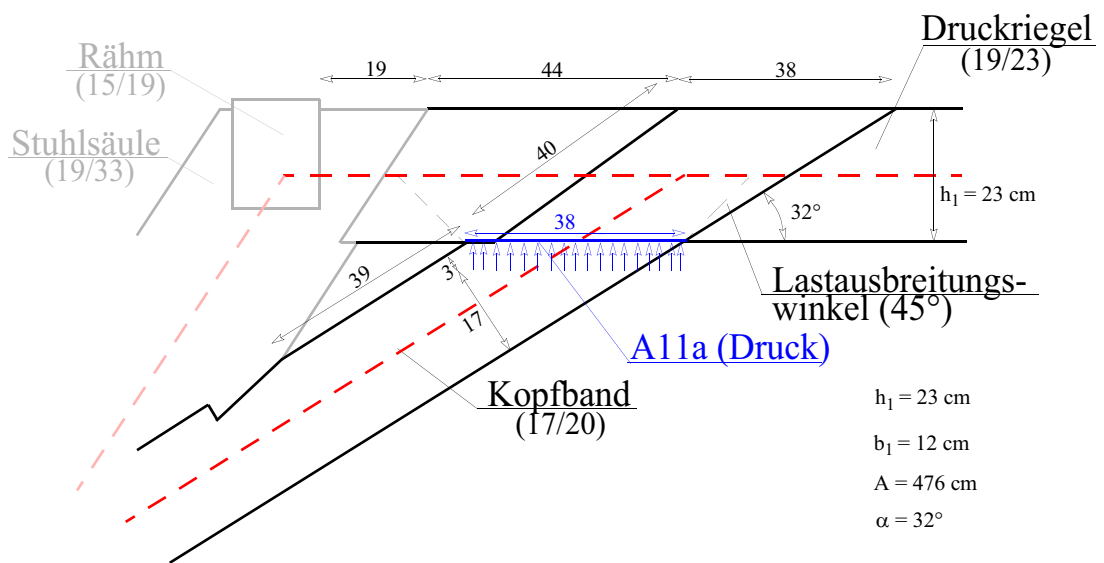


Abb. 9.62: Druckübertragungsfläche

M4:

Im Modell M4 werden sowohl die Exzentrizitäten, als auch die Nachgiebigkeiten berücksichtigt. Alle Überlegungen bezüglich der Platzierung der Exzenter werden aus dem Modell M2 übernommen. Die Nachgiebigkeit der Feder wird aus dem Modell M3 übernommen. Durch die Exzenter ist es aber möglich, eine extra Feder für eine Druckbeanspruchung und eine extra Feder für eine Zugbeanspruchung im Kopfband einzusetzen. Die Feder für die Druckbeanspruchung wird, nicht wie üblich am Ende des Stabes gesetzt, sondern damit die Nachgiebigkeit mit der Richtung der Kräfte, die die größte Verformung verursachen, übereinstimmt, wird sie in den Exzenter E11a gesetzt.

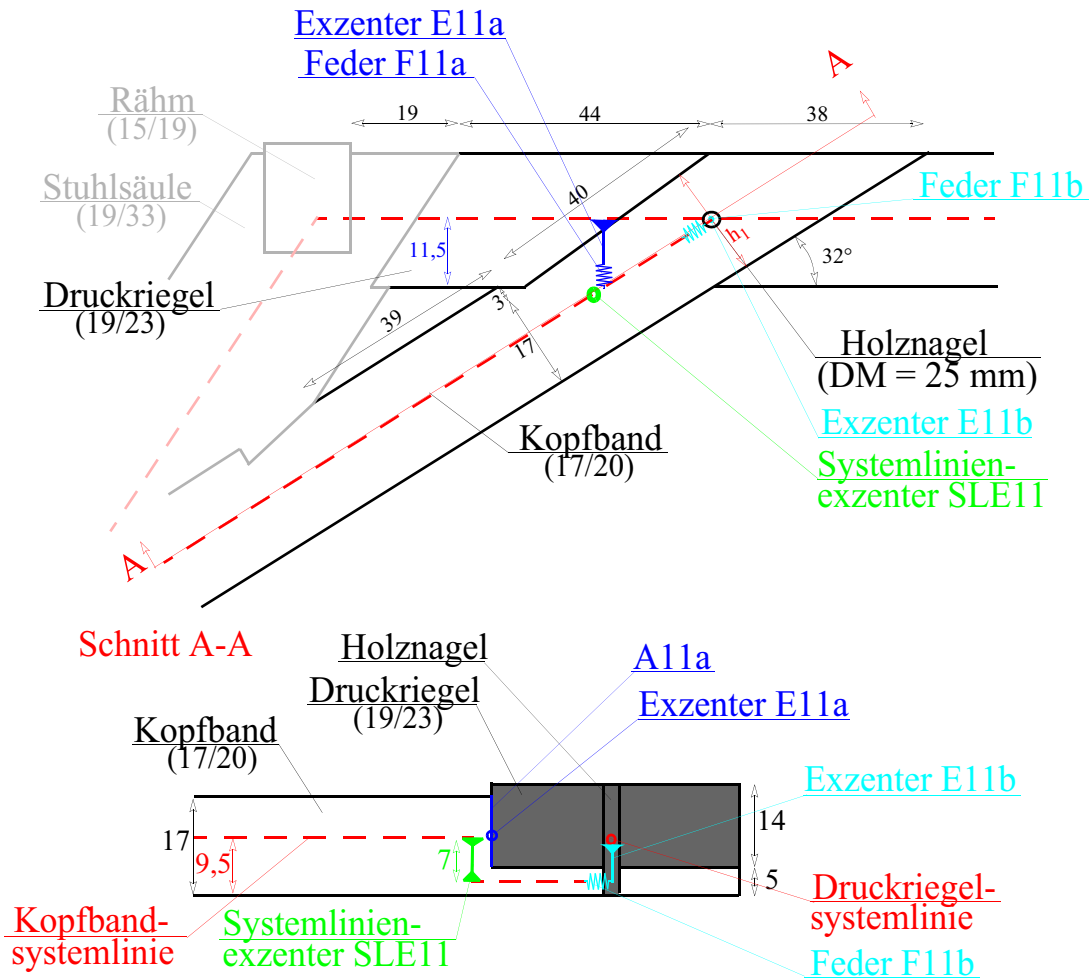


Abb. 9.63: Statisches System M4

9.3.13 D12: Hahnenbalken-Sparren

Die Vorgehensweise ist dieselbe wie im Kap. 9.3.10.

$$R_d \approx z_{ul} F \cdot 1,45 \approx 4,64 \cdot 1,45 \approx 6,73 \text{ [kN]}$$

Modell M1, M2, M3 und M4:

Da der Verbindungstyp derselbe ist wie zwischen Sparren und Kehlbalken und sich die Querschnittsabmessungen nur gering unterscheiden werden für diesen Anschluss die Exzenter und die Steifigkeiten der Federn aus dem Sparren-Kehlbalkenanschluss übernommen.

9.3.14 D13: Sparren-Sparren

Übersicht:

Die Verbindung der beiden Sparren erfolgt über einen Scherzapfen und befindet sich im Firstpunkt.

Skizze:

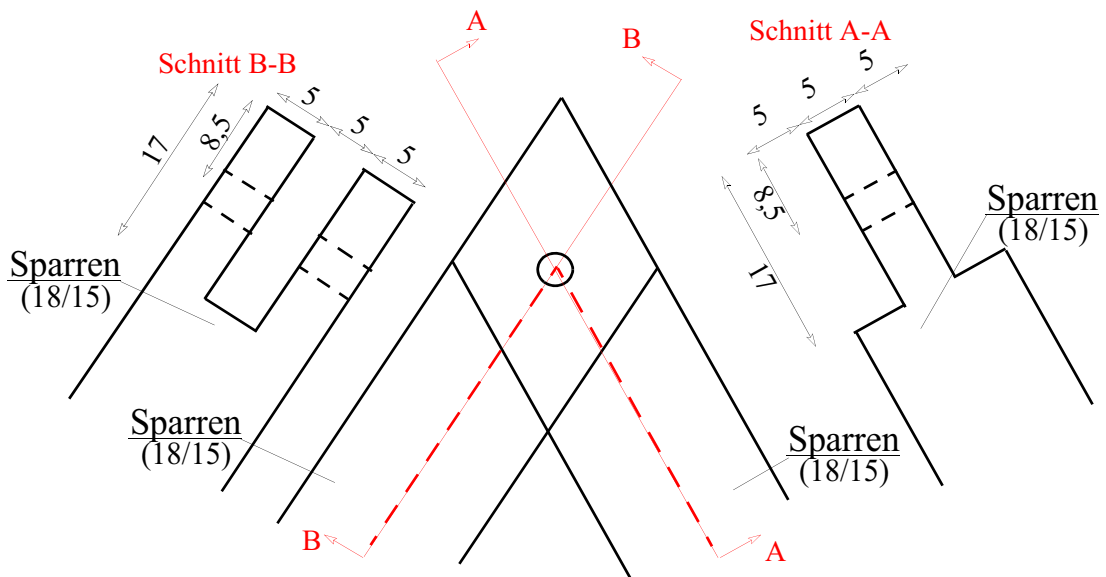


Abb. 9.64: Übersichtsskizze

Modell M1:

Im Modell M1 wird weder die Exzentrizität, noch die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt. Die Stäbe werden im Schnittpunkt ihrer Systemachsen gelenkig miteinander verbunden.

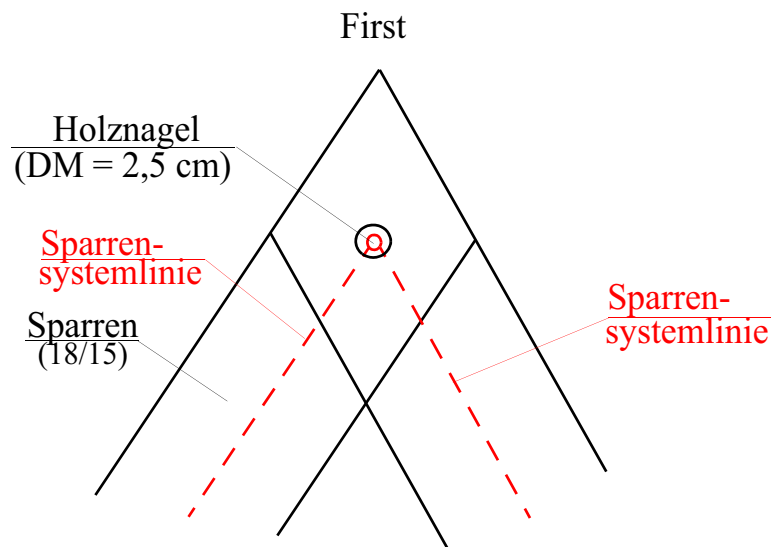


Abb. 9.65: Statisches System M1

Modell M2:

Im Modell M2 wird sowohl die Exzentrizität als auch die Nachgiebigkeit der Verbindung berücksichtigt. Da es weder *in* noch *aus* der Gespärreebene zu Exzentrizitäten kommt, werden bei dieser Verbindung keinerlei Exzenter benötigt.

Modell M3:

Eine genaue Berechnung der Nachgiebigkeit ist nur mittels FE-Modellierung möglich. Da für statische Modellierung eine Nachgiebigkeit benötigt wird, wird in dieser Arbeit eine erste Abschätzung getroffen. Da die Feder auf Zug und Druck unterschiedlich wirkt, erfolgt die Eingabe über ein Arbeitsdiagramm.

Nachgiebigkeit auf Zug (siehe Kap. 8.2):

$$z_{ul}F = 3155 \cdot 2 \text{ [N]} = 6310 \text{ [N]} \qquad R_d = 6,31 \cdot 1,45 = 9,15 \text{ [kN]}$$

$$C_{Zug} = 6298 \cdot 1 = 6310 \text{ [N/mm]}$$

Nachgiebigkeit auf Druck:

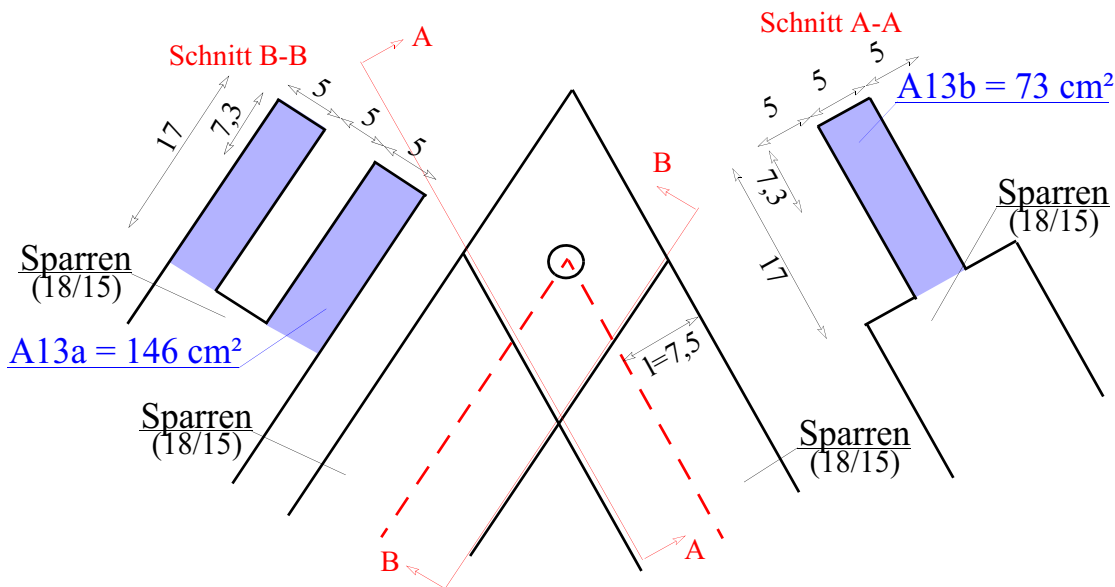


Abb. 9.66: Statisches System M3

$$C_{1, IH} = \frac{E_{\perp} \cdot A_{13a}}{l} = \frac{400 \cdot 14600}{75} = 77866,7 \text{ [N/mm]}$$

$$C_{2, KS} = \frac{E_{\perp} \cdot A_{13b}}{l} = \frac{400 \cdot 7300}{75} = 38933,3 \text{ [N/mm]}$$

Modell M4:

Im Modell M4 wird sowohl die Nachgiebigkeit, als auch die Exzentrizität der Verbindung berücksichtigt. Dabei werden die Exzenter und Nachgiebigkeiten aus den Modellen M2 beziehungsweise M3 übernommen. Da keine Exzentrizitäten vorliegen, ist das System dasselbe wie im Modell M3.

9.3.15 D14: Windrispe-Rähm

Der Anschluss der Windrispe an das Rähm erfolgt hauptsächlich über einen Holznagel. Da die Exzentrizitäten in der Stuhlsäulenwand nicht berücksichtigt werden, wird die Systemachse der Windrispen in die Systemachse des Rähms versetzt. Die Tragfähigkeit der Verbindung ist jene des Holznagels. Die Federn im Modell M3 und M4 werden sowohl auf Zug als auch auf Druck mit der Nachgiebigkeit des Holznagels versehen. (vgl. Kap. 8.2)

9.3.16 D15: Windrispe-Stuhlsäule

Tragfähigkeit auf Zug:

Da der Stirnversatzzapfen keine Zugsicherung besitzt, fällt die Verbindung unter einer Zugbelastung aus.

Der Anschluss der Windrispe erfolgt über einen Stirnversatzzapfen. Da die Exzentrizitäten in der Stuhlwand nicht berücksichtigt werden, wird die Systemachse der Windrispe in die Systemachse der Stuhlsäule versetzt. Die Eingabe der Nachgiebigkeit kann nicht erfolgen, da die Exzentrizität in der Stuhlwandebene nicht berücksichtigt wird.

9.3.17 Zusammenfassung der Eingabewerte:

	Druck- tragfähigkeit	Zug- tragfähigkeit	Exzenter/Systemexzenter		Federn		Arbeitsdiagramm (Wert bei F=+1[kN])
	[kN]	[kN]	NR.	Maß [cm]	NR.	[N/mm]	
D1	voll	0	E1a	8	F1,Zug	/	/
			SLE1	8	F1,Druck	/	/
D2	voll	0	E2	8	F2,Zug	/	/
					F2,Druck	8,00E+04	1,25E-05
D3	voll	0	E3	16	F3,Zug	/	/
					F3,Druck	1,80E+05	5,56E-06
D4	voll	29,29	E4a	16	F4,Zug	8,00E+03	1,25E-04
			E4b	9			
			SLE4	9	F4,Druck	1,20E+05	8,33E-06
D5	voll	9,22	E5a	11	F5,Zug	6,00E+03	1,67E-04
			E5b	7	F5,Druck	1,30E+05	7,69E-06
			SLE5	7			
D6	voll	0	/	/	F6,Zug	/	/
					F6,Druck	2,00E+05	5,00E-06
D7	voll	14,5	E7a	16,5	F7b,Zug	1,00E+04	1,00E-04
			E7b	10 bzw.7			
			SLE7	7	F7a,Druck	1,40E+05	7,14E-06
D8	voll	0	E8a	8	F8a	1,80E+05	5,56E-06
			E8b	9	F8b	1,90E+05	5,26E-06
			E8c	9,5	F8c	1,90E+05	5,26E-06
			E8d	0	F8d	2,00E+04	5,00E-05
D9	voll	6,73	E9a	7,5	F9Zug	2,00E+03	5,00E-04
			E9b	6,5			
			SLE9	6,5	F9Druck	1,20E+05	8,33E-06
D10	voll	9,15	E10a	14	F10,Zug	6,00E+03	1,67E-04
					F10,Druck	1,10E+05	9,09E-06
D11	voll	7,44	E11a	11,5	F11a,Zug	2,00E+03	5,00E-04
			E11b	7	F11b,Druck	1,40E+05	7,14E-06
			SLE11	7			
D12	voll	6,73	E9a	7,5	F9Zug	2,00E+03	5,00E-04
			E9b	6,5			
			SLE9	6,5	F9Druck	1,20E+05	8,33E-06
D13	voll	9,15	/	/	F13,Zug	6,00E+03	1,67E-04
					F13a,Druck,IH	8,00E+04	1,25E-05
					F13b,Druck,KS	4,00E+04	2,50E-05
D14	voll	5,58	/	/	F14,Zug	3,00E+03	3,33E-04

9.4 Plausibilitätskontrollen:

Um die Richtigkeit der Modelle zu überprüfen müssen diese Plausibilitätskontrollen unterzogen werden. Zu überprüfen sind dabei sämtliche Lastfallgruppen und Stäbe.

Zu Kontrollieren ist in allen Modellen:

- a die Summe aller Kräfte für das globale System sind Null.
- b der Vergleich der Sparren mit einem Dreifeldträger beziehungsweise Einfeldträger.
- c die Auflagerreaktionen des Brustriegels in X und Z-Richtung müssen Null sein.

nur in M0, M1 und M3

- d Es dürfen keine Momentensprünge vorkommen, da alle Stäbe gelenkig miteinander verbunden sind. ($\sum M_y = 0$, $\sum M_z = 0$, $\sum M_x = 0$)

nur in M1-M4:

- e bei jenen Verbindungen, welche keine Zugkraft übertragen können, muss die Normalkraft eine Druckkraft sein.

Modell M0, M1, M3:

- f Da sich die Lasten in West-Ostrichtung nicht ändern, müssen die Auflagerreaktionen um das Hauptgespärre HG 2.0 symmetrisch sein.

nur in M2:

- g Die Momentenschnittkraftlinie muss im Schnittpunkt des Exzenters mit der Systemachse den Betrag $M=N \cdot e$ besitzen, wobei e die Länge des Exzenters ist.

Die Ergebnisse können im Anhang eingesehen werden (siehe Anhang Kap. 9.4).

Allgemeine Aussagen:

Grenzfälle für den Sparren bezüglich der Momentenschnittkraft:

Die Sparren und der Bundtram bilden unter Vernachlässigung der Wirkung des Hahnenbalkens und des Kehl balkens einen Dreigelenksrahmen. Da das statische System nicht nach Theorie III. Ordnung (= große Verformungen) gerechnet wird, ist der Firstpunkt und der Sparrenfußpunkt in der Gespärreebene unverschieblich. Daher werden in diese zwei Knotenpunkte dementsprechende Auflager gesetzt. Die Tragwirkung des Sparrens würde der eines Einfeldträgers entsprechen (siehe Abb. 9.67, System 1).

Wären der Hahnenbalken und der Kehlbalken unverschieblich, wäre die Tragwirkung dem eines Dreifeldträgers gleich. Es würden anstelle des Hahnenbalkens und des Kehlbalkens zwei Auflager kommen (siehe Abb. 9.67, System 2). Die Auflager (D, E, F und G) sind gleichwertig, wobei das Auflager F eine etwas geringere Einflussbreite besitzt als das Auflager E. Daher ist auch die Größe des Stützmomentes über den Auflagern eine unterschiedliche.

In Wirklichkeit liegt die Tragwirkung des Hahnenbalkens und des Kehlbalkens bezogen auf den Sparren zwischen unverschieblich (= volles Auflager) und voll verschieblich (= kein Auflager). Diese Wirkung entspricht der einer Feder. Der Hahnenbalken überträgt Teile der Last, welche auf einen Sparren wirken auf den gegenüberliegenden, der somit mitträgt. Die Federsteifigkeit seines Auflagers ist also von der Steifigkeit (= Elastizitätsmodul + Querschnittsabmessung) des gegenüberliegenden Sparrens und von der Nachgiebigkeit der Verbindungen abhängig. Der Kehl-

balken ist hingegen schubsteif mit den Rähmen verbunden (Uberkammung), und diese sind wiederum mit dem Stuhl verbunden, das heißt der Kehlbalken überträgt nicht nur die Last auf den anderen Sparren, sondern leitet sie auch in den liegenden Stuhl ein. Daher bringt er dem Sparren eine größere Steifigkeit entgegen als der Hahnenbalken. Diese hängt sowohl von dem Elastizitätsmodul des gegenüberliegenden Sparrens und der Nachgiebigkeit der Verbindungen, als auch von der Steifigkeit des Stuhls ab.

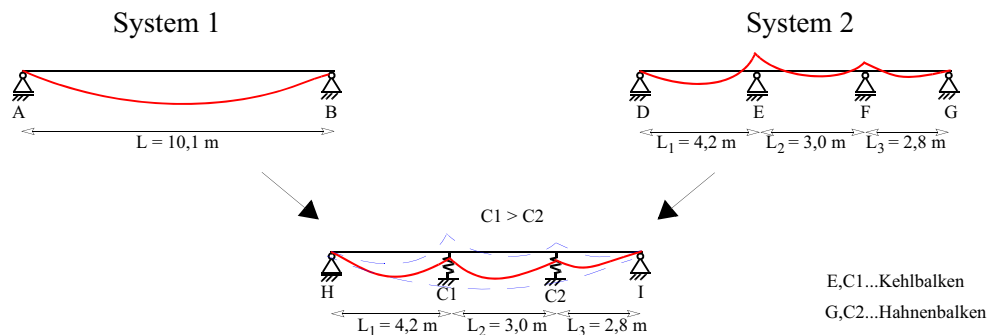


Abb. 9.67: Nachgiebigkeiten des Hahnenbalkens und des Kehlbalkens

Verformung bei einer symmetrischen Belastung:

Die Verformung bei einer symmetrischen Belastung muss die Tendenz in Richtung der Kampseite besitzen, da die Dachneigung im Innenhof eine geringere ist und somit einen größeren horizontalen Schub (aus den Normalkräften der Sparren und der Stuhlsäule) für das Gesamtsystem ergibt.

D Ergebnisse und deren Interpretation

In diesem Kapitel werden im ersten Teil die Schnittkräfte welche aus den unterschiedlichen Modellberechnungen resultieren miteinander verglichen. Um eine Übersicht zu bekommen, werden die Schnittkräfte zuerst grafisch dargestellt. Anschließend werden sie interpretiert und tabellarisch angegeben. Es sind Schnittkräfte von folgenden Bauteilen miteinander verglichen worden: Sparren innenhofseitig (HG 2.0, LG 2.2), Exzenter E8 (HG 1.0 – HG 2.0), Stuhlsäule inklusive Stuhlsäulenknecht innenhofseitig (HG 2.0), Druckriegel und Kopfbänder (HG 2.0).

Im zweiten Teil dieses Kapitels wird die Kraftumlagerung analysiert, welche eintritt, wenn alle Sparrenfüße der Kampseite ausfallen. Als Grundmodell und Referenzmodell wird jeweils das Modell M4 verwendet.

10 Vergleiche der Modelle M0 - M4

In diesem Kapitel werden die Schnittkräfte der unterschiedlichen Modelle interpretiert und miteinander verglichen. Als Lastreferenz wurde die Lastfallgruppe 1 (= LG1) gewählt. Verglichen werden die Schnittkräfte mit dem Modell M4, da davon ausgegangen wird, dass dieses Modell die genauesten Ergebnisse liefert.

Für den Vergleich der Schnittkräfte wird das Hauptgespärre 2.0 gewählt, da die Nachgiebigkeiten der Symmetrielager nicht berücksichtigt werden. Der Einfluss der nicht exakt zutreffenden Auflagerbedingung ist aufgrund des Abstandes von beiden Modellenden erwartungsgemäß am geringsten. Weiters werden die Schnittkräfte des Leergespärres 2.2 verglichen. Da es sich hier um eines der beiden mittleren Leergespärre handelt, ist der Einfluss der Stuhlsäulen (HG 2.0, HG 3.0) hier am geringsten.

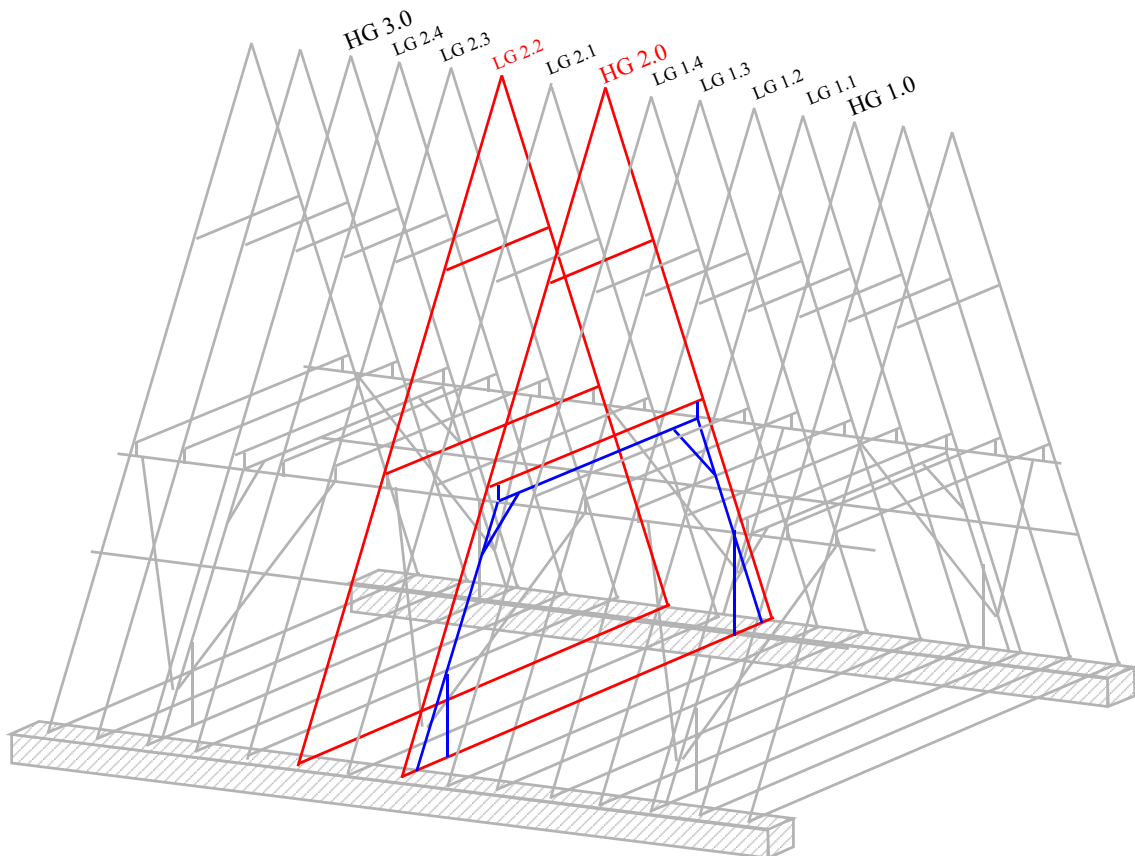


Abb. 10.1: Lage des Hauptgespärres 2.0 und Leergespärres 2.2

10.1 Momente $M_{y(x)}$ - Sparren HG 2.0

Grafische Darstellung der Exzenter:

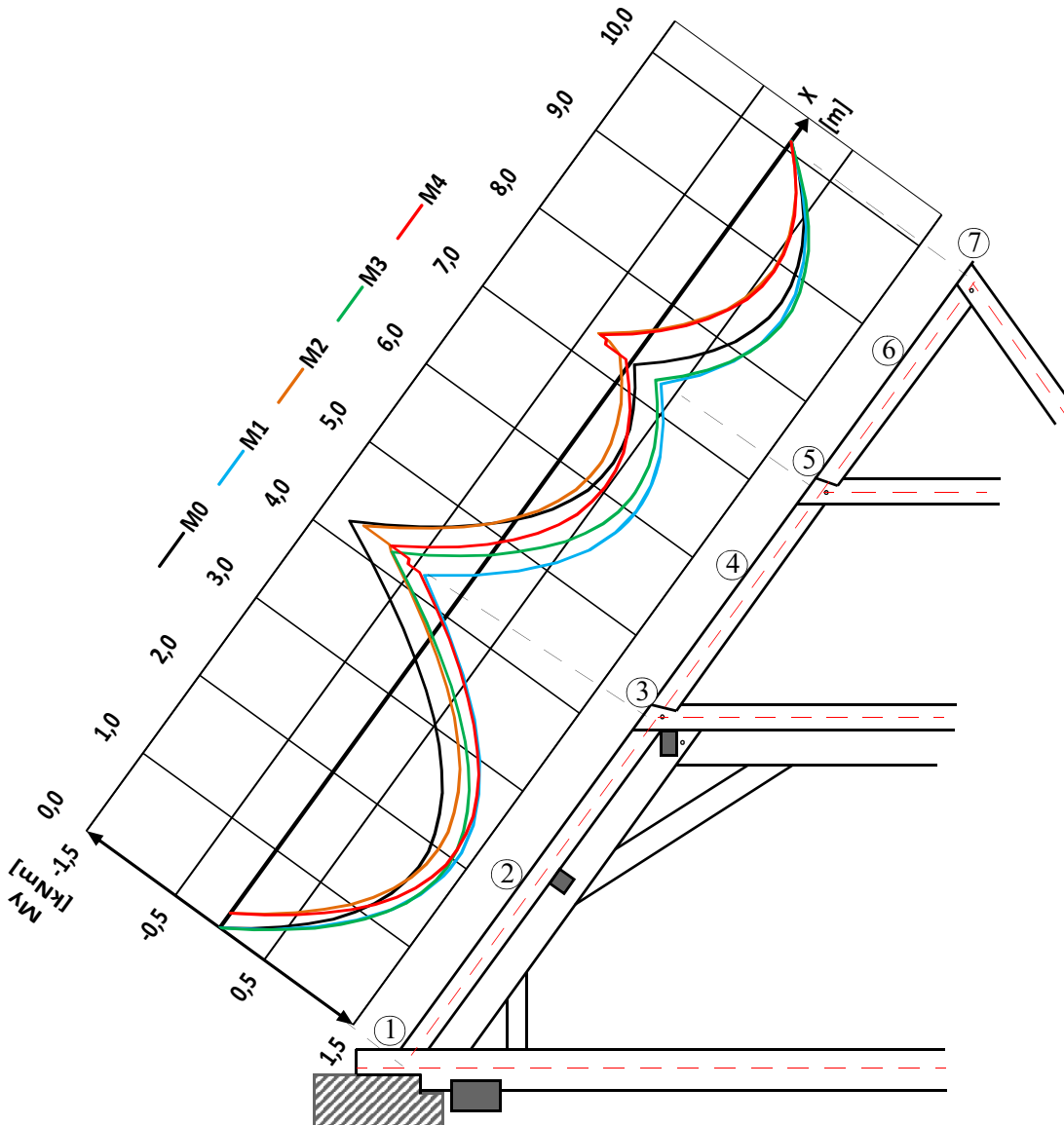


Abb. 10.2: Momentenverlauf $M_{y(x)}$ des Sparrens

Interpretation (siehe Abb. 10.2, Tab. 10.1):

M0:

Wie aus den Momentenverläufen M_y ersichtlich, ist im Bereich des Kehlbalckenanschlusses (3) das Stützmoment des Modells M0 am größten. Dies resultiert aus der hohen Steifigkeit des Stuhles, welcher Lasten „anzieht“, da jede Verbindung in M0 starr ist und eine im Bauteil befindliche Zugnormalkraft und Drucknormalkraft gleichermaßen übertragen werden kann.

M1:

Im Modell M1 können folgende Bauteile unter einer Zugbeanspruchung ausfallen: Sparren (Fußpunkt), Stuhlsäule (Fußpunkt), Stuhlsäulenknecht, Kopfband, Systemexzenter E8 (= Kehl-balken-Rähmverbindung), Kehlbalken, Hahnenbalken, Windrispe (Rähm- und Stuhlsäulenanschluss), Brustriegel (Stuhlsäulenanschluss).

Auf Zug ausgefallen sind folgende Bauteile: Kopfband (innenhofseitig), Stuhlsäulenknecht (innenhofseitig und kampseitig), Systemexzenter E8 (Kehlbalken-Rähmverbindung), Windrispen.

Durch das alleinige Wirken von druckbeanspruchten Bauteilen wird die Gesamtsteifigkeit des Stuhles reduziert. Dies hat zur Folge, dass das Stützmoment im Kehlbalkenbereich von allen Modellen am kleinsten ist.

M2:






Im Modell M2 verursachen die Exzentrizitäten Momentensprünge M_y im Sparren. Diese resultieren aus dem exzentrischen Anschluss des Kehlbalkens beziehungsweise des Hahnenbalkens.

M3:

Im Modell M3 werden die Nachgiebigkeiten (hauptsächlich unter Zugbelastung) berücksichtigt (siehe Kap. 9.2.4). Das Stützmoment (3) muss somit zwischen M0 und M1 liegen.

M4:

Im Modell M4 werden sowohl die Exzentrizitäten, als auch die Nachgiebigkeiten berücksichtigt. Im Vergleich zu M2 muss das Stützmoment im Bereich des Kehlbalkens (3) geringer sein.

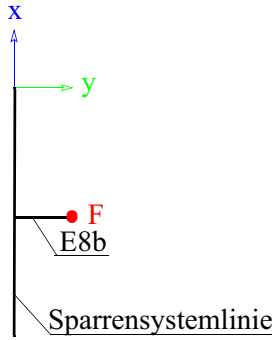
$M_{(x)}$ [kNm]	M0 	M1 	M2 		M3 	M4 	
M_1	0,00 (100 %)	0,00 (100 %)	0,00 (100 %)		0,00 (100 %)	0,00	
$M_{2,max}$	1,14 (88 %)	1,57 (121 %)	1,20 (92 %)		1,35 (104 %)	1,30	
M_3	-1,22 (147 %)	-0,24 (29 %)	-0,73 (146 %)	-1,10 (133 %)	-0,74 (89 %)	-0,50	-0,83
$M_{4,max}$	0,41 (89 %)	1,08 (235 %)	0,32 (70 %)		0,73 (159 %)	0,46	
M_5	0,04 (-11 %)	0,54 (-146 %)	-0,12 (200 %)	-0,39 (105 %)	0,28 (-76 %)	-0,06	-0,37
$M_{6,max}$	0,79 (139 %)	1,06 (186 %)	0,56 (98 %)		0,91 (160 %)	0,57	
M_7	0,00 (100 %)	0,00 (100 %)	0,00 (100 %)		0,00 (100 %)	0,00	

Tab. 10.1: Schnittkraftvergleich $M_{y(x)}$, Lage der Momente siehe Abb. 10.2

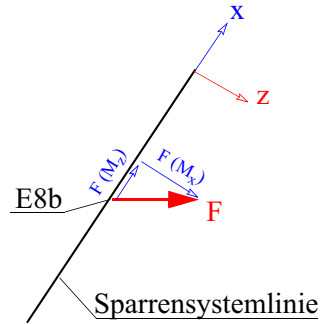
M_z und M_x im Modell M2 beziehungsweise M4:

In den Modellen M2 und M4 werden die Exzentrizitäten berücksichtigt. Ein Moment M_x und M_z tritt im Sparren nur dann auf, wenn im Kehlbalken beziehungsweise im Hahnenbalken eine Zugkraft vorhanden ist. Diese Momente entstehen durch die Exzentrizität aus der Gespärreebene. In allen Modellen werden keine Zugkräfte von den Kehlbalken beziehungsweise Hahnenbalken auf die Sparren übertragen. (siehe Abb. 10.3, Abb. 10.4)

Blickrichtung X (siehe 9.2)



Blickrichtung Y (siehe 9.2)



Schrägansicht

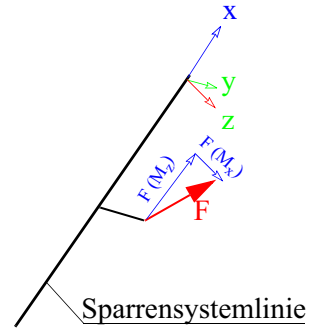


Abb. 10.3: M_x und M_z - Einleitung in Sparren



Abb. 10.4: Sparren-Kehlbalkenanschluss

10.2 Normalkräfte $N_{(x)}$ - Sparren HG 2.0

Grafische Darstellung der Exzenter:

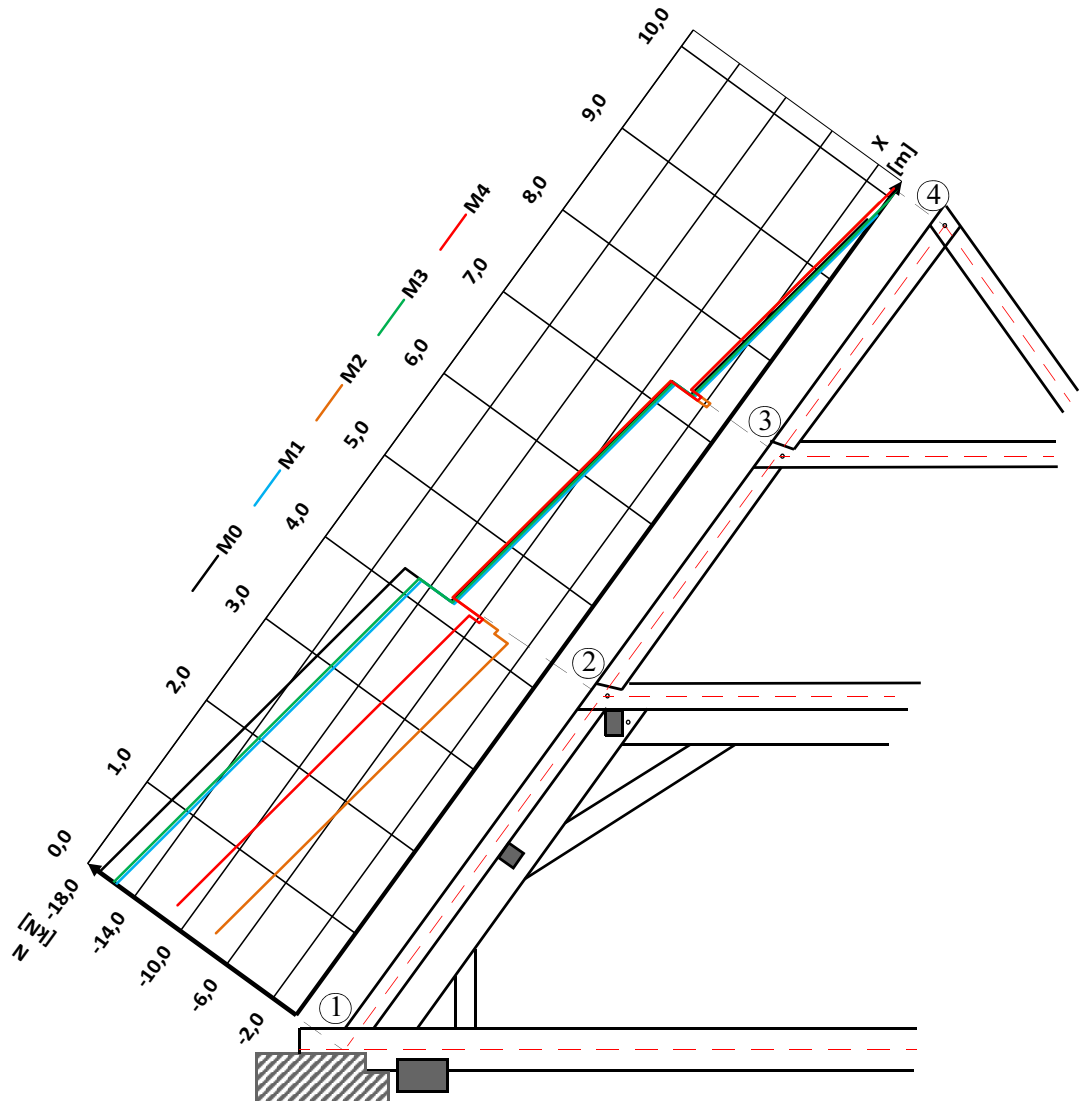


Abb. 10.5: Normalkräfte $N_{(x)}$ des Sparrens

Interpretation (siehe Abb. 10.5, Tab. 10.2):






Auffallend in M0, M1 und M3 ist, dass die Normalkräfte vom Firstpunkt in Richtung Sparrenfußpunkt zunehmen. Im Modell M2 und M4 nehmen sie aber im Anschlussbereich des Kehlbal-kens ab.

M2 und M4:

Der Normalkraftsprung an der Anschlussstelle des Kehlbal-kens (2, 3) in die positive Richtung, ist durch den exzentrischen Anschluss des Kehlbal-kens zu erklären. Durch die Neigung des Ex-zenters tritt durch die Druckkraft im Kehlbal-ken und die Auflagerung auf das Rähm eine zusätz-

liche Normalkraft im Sparren in Richtung Firstpunkt auf. Je größer die Nachgiebigkeit desto kleiner ist dieser Normalkraftsprung. Dadurch ist der Sprung im Modell M4 kleiner als im Modell M2.

Vergleich der Normalkräfte (Klammerwerte beziehen sich auf M4):

$N_{(x)}$ [kN]	M0 		M1 		M2 		M3 		M4 	
N₁₋₂	-16,99 (153 %)	-12,18 (187 %)	-15,55 (140 %)	-10,74 (164 %)	-7,78 (70 %)	-3,20 (49 %)	-15,77 (142 %)	-10,97 (168 %)	-11,12	-6,53
N₂₋₃	-8,24 (100 %)	-4,76 (98 %)	-7,94 (96 %)	-4,46 (92 %)	-8,29 (100 %)	-4,87 (101 %)	-8,10 (98 %)	-4,62 (95 %)	-8,26	-4,84
N₃₋₄	-3,16 (95 %)	0,08 (53 %)	-2,87 (86 %)	0,37 (247 %)	-3,35 (101 %)	-0,17 (-113 %)	-3,02 (91 %)	0,22 (147 %)	-3,33	0,15

Tab. 10.2: Schnittkraftvergleich Normalkräfte $N_{(x)}$, Lage der Normalkräfte siehe Abb. 10.5

10.3 Momente $M_{y(x)}$ - Sparren LG 2.2

Grafische Darstellung der Exzenter:

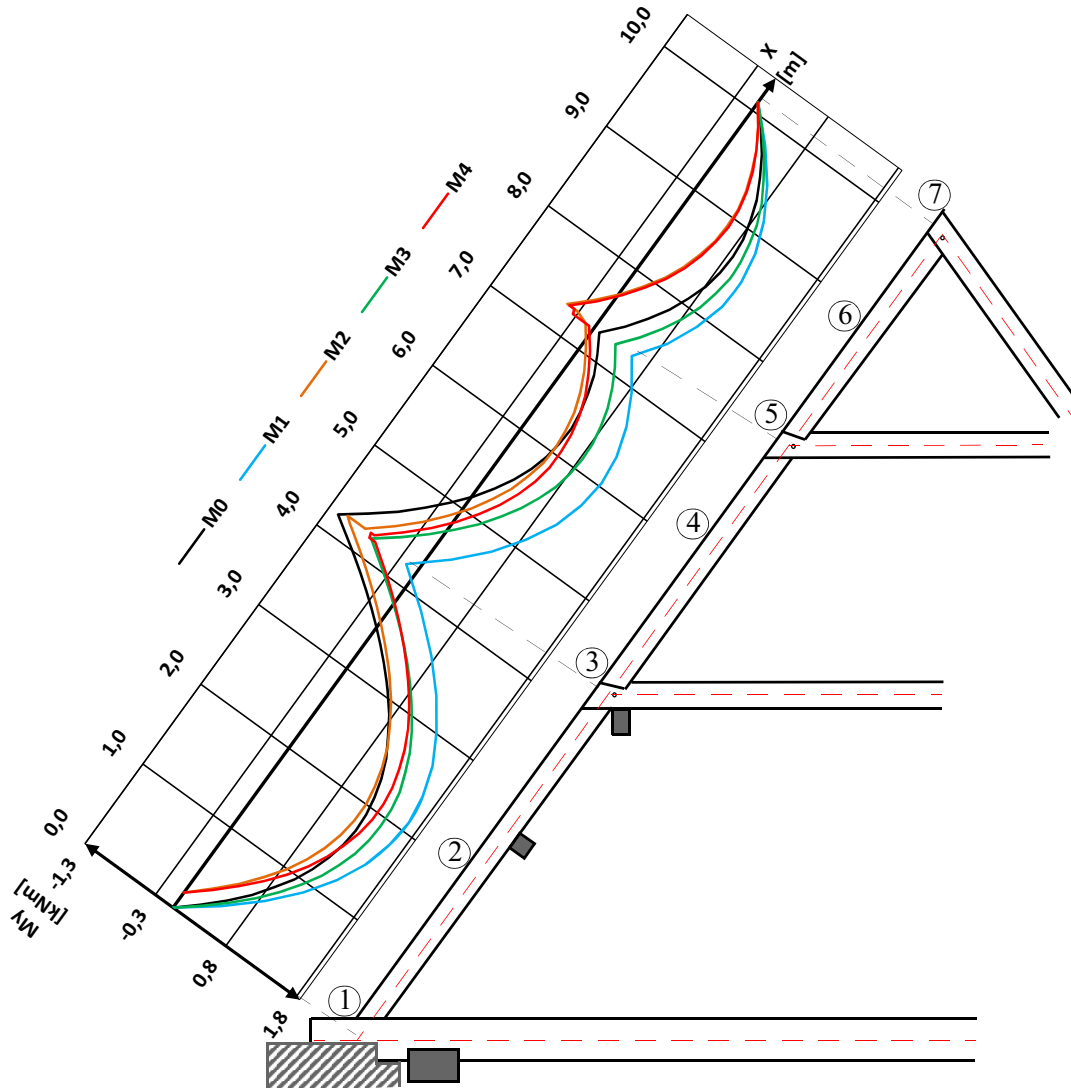







Abb. 10.6: Momentenverlauf $M_{y(x)}$ des Sparrens

Interpretation (siehe Abb. 10.6, Tab. 10.3):

Prinzipiell ist der Einfluss der Steifigkeit des liegenden Stuhls im Hauptgespärre größer als in den Leergespärre. Vergleicht man die Momente M_y des Leergespärres mit jenen des Hauptgespärres stellt man fest, dass die Verläufe ähnlich sind. Die Stützmomente im Leergespärre sind aufgrund der geringeren Stützwirkung des Rähms (ohne Stuhlsäule) im Bereich des Kehlbalkenanschlusses geringer als im Hauptgespärre. Die Stützmomente im Bereich des Hahnenbalkens hingegen steigen im Leergespärre geringfügig an. Dies ist dadurch zu begründen, dass sich durch die geringere Steifigkeit des Rähms (= geringere Lastaufnahme) die Lasten in den Hahnenbalken umlagern. Dadurch verlagern sich auch erwartungsgemäß die Biegemomente M_y des Sparrens von (3) nach (5).

Vergleich der Schnittkräfte (Klammerwerte beziehen sich auf das M4):

$M_{(x)}$ [kNm]	M0 	M1 	M2 		M3 	M4 	
M_1	0 (100 %)	0 (100 %)	0 (100 %)		0 (100 %)	0	
$M_{2,max}$	1,18 (94 %)	1,62 (129 %)	1,10 (87 %)		1,38 (110 %)	1,26	
M_3	-1,12 (175 %)	-0,15 (23 %)	-0,94 (162 %)	-0,76 (119 %)	-0,65 (102 %)	-0,58	-0,64
$M_{4,max}$	0,47 (87 %)	1,12 (207 %)	0,45 (83 %)		0,78 (144 %)	0,54	
M_5	0,08 (-21 %)	0,54 (-142 %)	-0,11 (183 %)	-0,40 (105 %)	0,31 (-82 %)	-0,06	-0,38
$M_{6,max}$	0,81 (142 %)	1,06 (186 %)	0,55 (96 %)		0,93 (163 %)	0,57	
M_7	0 (100 %)	0 (100 %)	0 (100 %)		0 (100 %)	0 (100 %)	

Tab. 10.3: Schnittkraftvergleich Momente M_y , Lage der Momente siehe Abb. 10.6

M_z :

Das Moment M_z im Sparren ist null, da im Kehlbalken und Hahnenbalken eine Druckkraft ist. Da die Exzenter, welche die Druckkraft übertragen (E9a bzw. E12a) keine Exzentrizität aus der Gespärreebene haben, können sie auch kein M_z in den Sparren einleiten. (siehe Kap. 10.10)

10.4 Normalkraft $N_{(x)}$ - Sparren LG 2.2

Grafische Darstellung der Exzenter:

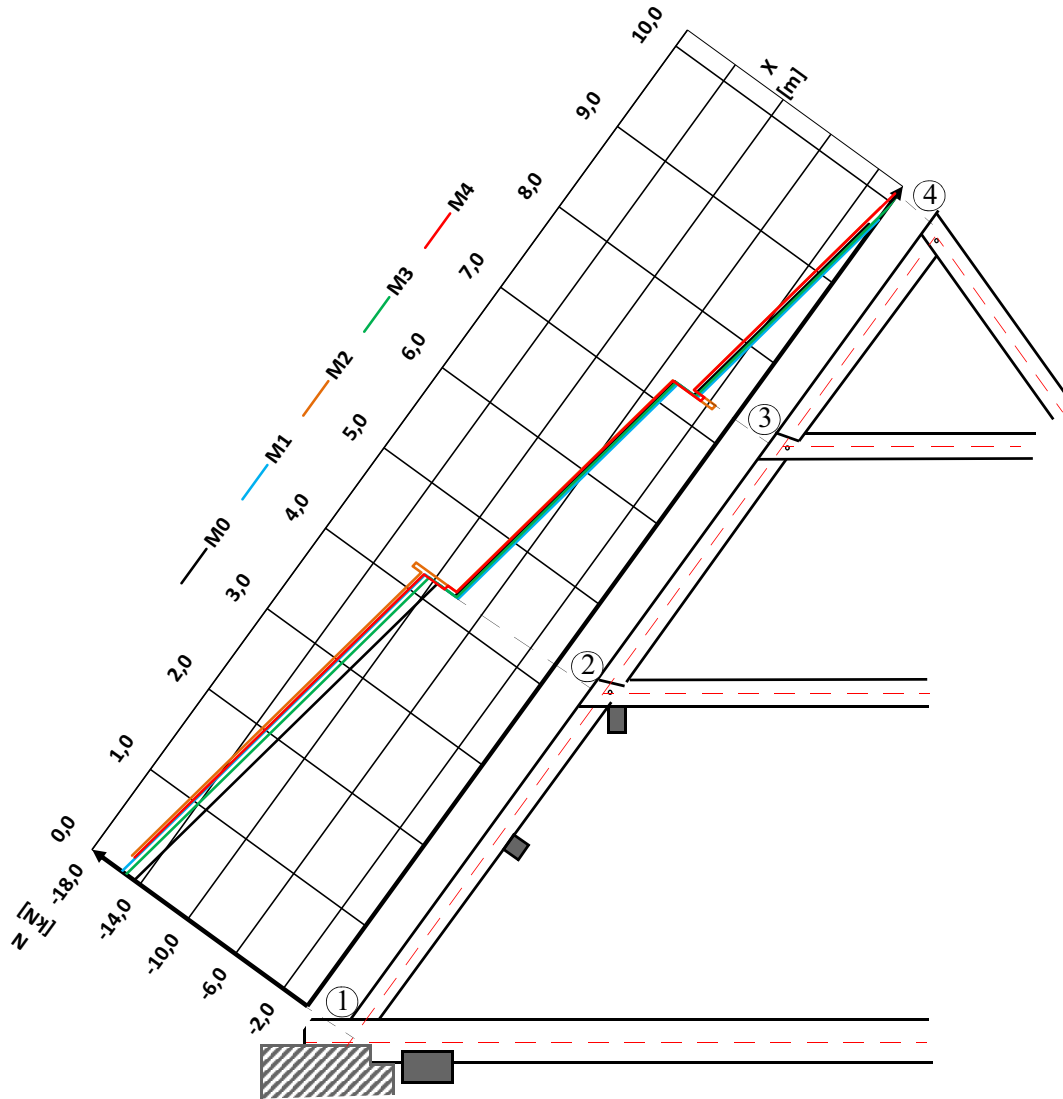


Abb. 10.7: Normalkraftverlauf $N_{(x)}$ des Sparrens

Interpretation: (vgl. Abb. 10.7, Tab. 10.4)

Im Leergespärre LG 2.2 weichen die Normalkraftverläufe nur gering voneinander ab. Es gibt mehrere Begründungen dafür:

Die meisten Bauteile, welche eine Zugbelastung bekommen (Kopfband, Stuhlsäulenknechte...) befinden sich im *Stuhl* des Hauptgespärres. Da die Sparren im Hauptgespärre vom Stuhl über den Kahlbalken und das Rähm direkt unterstützt werden, ist der Einfluss der Nachgiebigkeit beziehungsweise der Exzentrizität größer als in den Sparren der Leergespärre. Anders ausgedrückt: Die Einflussparameter, welche den Unterschied zwischen den Modellen bilden (Nachgiebigkeit, Exzenter), haben in den Leergespärren umso weniger Einfluss je weiter das Leergespärre von den






Hauptgespärren entfernt liegt.

Ein weiter Grund für die geringe Abweichung der Normalkräfte liegt in der Belastungsrichtung der Sparren. Werden die Sparren eines Leergespärres *in* Längsrichtung (= Normalkraft) belastet, hat der Dreigelenksrahmen (Sparrenpaar und Bundtram) eine höhere Steifigkeit, als das quer zur Stabrichtung belastete Rähm. So bekommt das Rähm im Falle einer Normalkraftbelastung der Sparren wenig Lasten. Die Stühle haben nur geringen Einfluss auf die Normalkräfte der Sparren im Leergespärre und die Normalkräfte liegen eng beieinander. (siehe Abb. 10.5, Abb. 10.7)

Anmerkung:

Im Falle einer Belastung der Sparren *quer* zur Längsrichtung ist der Steifigkeitsunterschied zwischen Rähm und Sparren (beides quer zur Stabachse belastete Bauteile) nicht mehr so groß und das Rähm bekommt mehr Lasten eingeleitet. Dies bedeutet aber auch, dass der Einfluss der Stühle größer ist und die Momente (M_y) der Sparren im Leergespärre *nicht* enger beieinander liegen als im Hauptgespärre. (siehe Abb. 10.2, Abb. 10.6)

Vergleich der Schnittkräfte:

$N_{(x)}$ [kN]	M0 		M1 		M2 		M3 		M4 	
N₁₋₂	-14,48 (94 %)	-9,67 (90 %)	-15,50 (101%)	-10,70 (99 %)	-15,56 (101 %)	-10,98 (102 %)	-15,16 (99 %)	-10,36 (96 %)	-15,36	-10,78
N₂₋₃	-8,22 (99 %)	-4,74 (98 %)	-7,93 (96 %)	-4,45 (92 %)	-8,30 (100 %)	-4,88 (101 %)	-8,07 (98 %)	-4,68 (96 %)	-8,27	-4,85
N₃₋₄	-3,13 (94 %)	0,11 (-79 %)	-2,84 (86 %)	0,39 (-279 %)	-3,33 (100 %)	-0,15 (107 %)	-2,99 (90 %)	0,25 (-179 %)	-3,32	-0,14

Tab. 10.4: Schnittkraftvergleich Normalkraft $N_{(x)}$, Lage der Normalkraft siehe Abb. 10.7

M2 und M4:

Die Normalkraftverläufe im Leergespärre 2.2 besitzen verglichen mit jenen im Hauptgespärre 2.0 keinen positiven Sprung an der Stelle 2 und 3. Dies liegt daran, dass die Kehlbalken auf einem Rähm aufliegen.

10.5 Normalkraft N und Querkraft V_z in den Exzenter E8

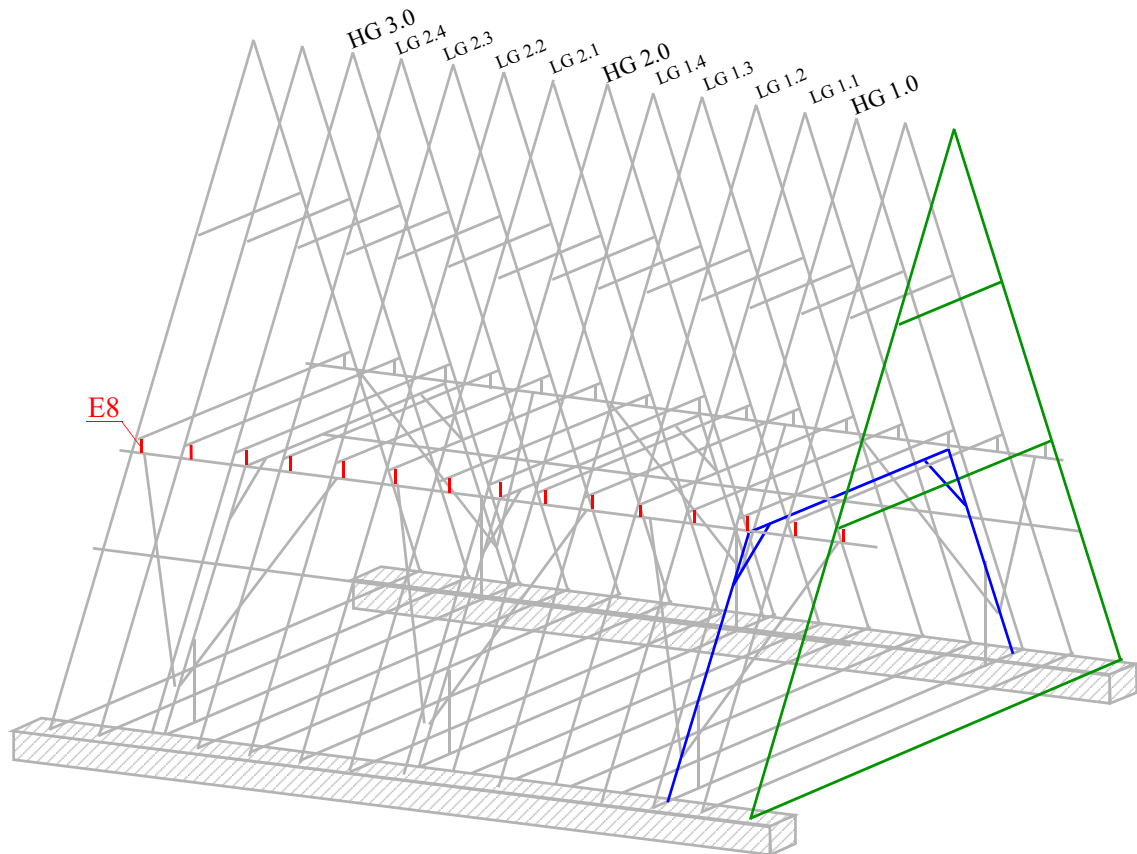


Abb. 10.8: Lage der Exzenter E8

Die Exzenter (E8) stellen die Verbindung zwischen dem *reinen* Kehlbalkendach (siehe Abb. 10.8, grün) und dem Stuhl (siehe Abb. 10.8, blau) her. Die Exzenter beschreiben daher, welche Kräfte vom Kehlbalkendach in den Stuhl und eventuell umgekehrt übertragen werden. Die Verbindung zwischen dem Kehlbalken und dem Rähm (Halbkamm) sowie dem Rähm und der Stuhlsäule (Vollkamm) ist eine reine Druckverbindung.

Vergleich der Schnittkräfte (siehe Abb. 10.8):

Anmerkung 1: Da in den Modellen M0, M1 und M3 nur ein Exzenter, aber in den Modellen M2 und M4 drei Exzenter verwendet werden, kann man die Tabellenwerte nicht miteinander vergleichen. Es werden daher keine Prozentwerte angegeben.

Anmerkung 2: Da die Modelle (M0, M1, M3) und die Lasten um das Hauptgespärre 2.0 symmetrisch sind, müssen auch die Normalkräfte und die Querkräfte symmetrisch sein.

Interpretation (siehe Tab. 10.5, Tab. 10.6):

M0:






Im Modell M0 befindet sich in den Leergespärren eine Druckkraft. Dies stimmt mit dem Tragverhalten der Verbindungen überein. In den Hauptgespärren befindet sich in den Exzentern eine Zugkraft. Dies entspricht nicht dem Tragverhalten einer Druckverbindung und somit nicht der Wirklichkeit.

M1:

Im Modell M1 sind sämtliche Exzenter E8 sowohl auf der Innenhofseite, als auch auf der Kampseite auf Zug ausgefallen und übertragen nur Querkräfte.






M2 bzw. M4:

Im Modell M2 und M4 wird durch die Verwendung von Exzentern zwischen dem Anschluss Rähm-Kehlbalken und Rähm-Stuhlsäule unterschieden. Daher sind in den Modellen M2 und M4 zwei Werte angegeben.

N [kN]	HG 1.0	LG 1.1	LG 1.2	LG 1.3	LG 1.4	HG 2.0	LG 2.1	LG 2.2	LG 2.3	LG 2.4	HG 3.0
M0 (E8) 	0,90	-1,33	-1,36	-1,36	-1,33	0,90	-1,33	-1,36	-1,36	-1,33	0,90
M1 (E8) 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2 (E8a,b) 	-6,62	-1,09	0	0	-0,94	-6,62	-1,07	0	0	-0,91	-6,60
M2 (E8c)	-10,05	/	/	/	/	-10,07	/	/	/	/	-10,07
M3 (E8) 	0	-0,78	-0,53	-0,53	-0,78	0	-0,78	-0,53	-0,53	-0,78	0
M4 (8a,b) 	-3,62	-1,09	0	0	-1,09	-3,62	-1,09	0	0	-1,06	-3,62
M4 (8c)	-7,14	/	/	/	/	-7,14	/	/	/	/	-7,13

Tab. 10.5: Schnittkraftvergleich Normalkräfte N

V_z wirkt in der Gespärreebene.

V_z	HG 1.0	LG 1.1	LG 1.2	LG 1.3	LG 1.4	HG 2.0	LG 2.1	LG 2.2	LG 2.3	LG 2.4	HG 3.0
M0 (E8) 	6,56	0,82	-0,13	-0,13	0,82	6,56	0,82	-0,13	-0,13	0,82	6,56
M1 (E8) 	12,97	0,67	0,14	0,14	0,67	12,97	0,67	0,14	0,14	0,67	12,97
M2 (E8a,b) 	-1,30	0,30	0,26	0,44	0,30	-1,30	0,31	0,26	0,43	0,30	-1,30
M2 (E8c)	0,42	/	/	/	/	0,41	/	/	/	/	0,40
M3 (E8) 	5,03	0,83	0,21	0,21	0,83	5,03	0,83	0,21	0,21	0,83	5,03
M4 (8a,b) 	-0,53	0,10	0,19	0,18	0,11	-0,54	0,10	0,19	0,18	0,11	-0,53
M4 (8c)	0,52	/	/	/	/	0,52	/	/	/	/	0,51

Tab. 10.6: Schnittkraftvergleich Querkräfte V_z

10.6 Momente $M_{y(x)}$ Druckriegel HG 2.0

Grafische Darstellung der Exzenter:

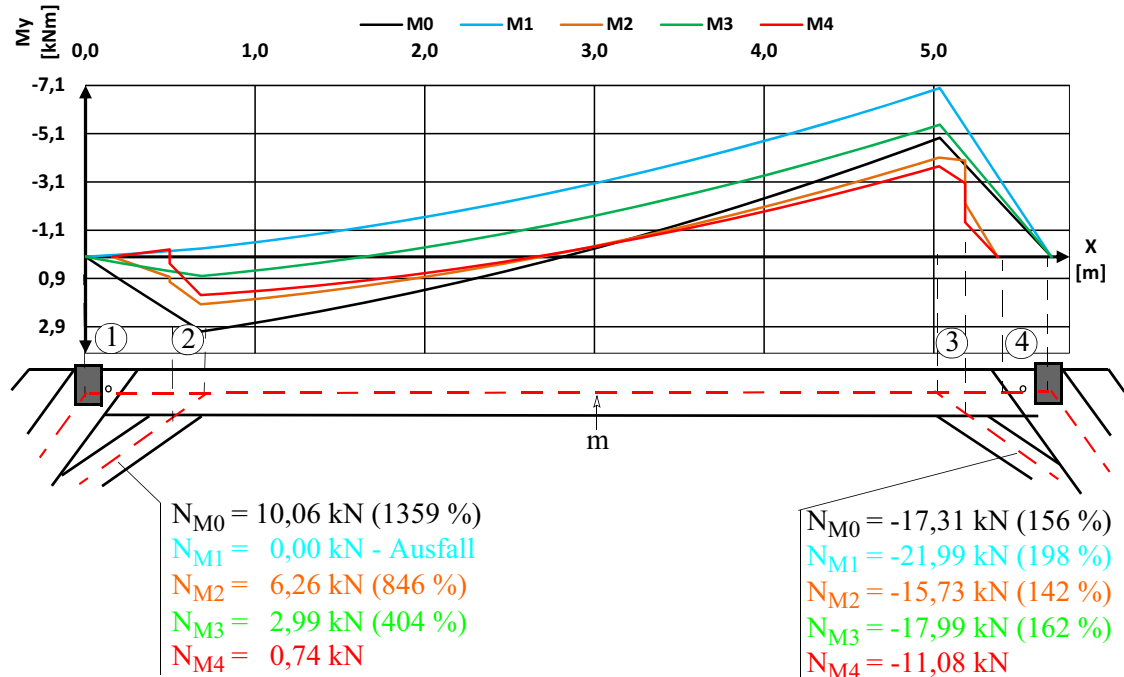


Abb. 10.9: Momentenverlauf $M_{y(x)}$ der Stuhlsäule

Interpretation (siehe Abb. 10.9, Tab. 10.7):

M0:

Da sich die Verbindungen im Modell M0 unter einer Zugbelastung beziehungsweise einer Druckbelastung gleich verhalten, besitzt der Stuhl als gesamtes eine hohe Steifigkeit und zieht Kräfte an. Durch die Möglichkeit des Kopfbandes auf der Innenhofseite (links) Zugkräfte aufzunehmen, nimmt die Momentenlinie im Druckriegel einen nahezu antimetrischen Verlauf um den Punkt m an.

M1:

Die Momentenlinie im Modell M1 besitzt annähernd den Verlauf eines Biegeträgers unter einer Einzellast im Querschnitt (3) (= Kopfband rechts). Dies liegt daran, dass im Modell M1 die Kopfbänder unter einer Zugbelastung ausfallen und nur unter einer Druckbelastung wirken. In diesem Fall bekommt das linke Kopfband eine Zugnormalkraft und fällt aus. Dies ist auch in der Momentenlinie des Druckriegels erkennbar, da sich im Bereich des Stützmomentes kein Knick befindet. Die Tatsache, dass in dem linken Kopfband eine Zugkraft wäre, stimmt mit den Normalkräften der Kopfbänder in den anderen Modellen überein.

M2:

Im Modell M2 können die Kopfbänder sowohl eine Zugnormalkraft als auch eine Drucknormalkraft aufnehmen. Sie übertragen diese aber auf unterschiedliche Art und Weise auf den Druck-

riegel beziehungsweise auf die Stuhlsäule. Da die Exzenter *nur* bei der Normalkraft zwischen Druck und Zug differenzieren und bei Querkraften nicht, sind in der Momentenlinie ($x = 0,34$ m beziehungsweise $0,52$ m) zwei Knicke zu erkennen. Kräfte welche über die Stirnfläche des Kopfbandes und nicht über den Weißschwanz eingeleitet werden, verursachen in der Momentenlinie einen Sprung, da sie über den Exzenter E11a eingeleitet werden. Dies wird bei $x = 0,34$ m ersichtlich.






M3:

Im Modell M3 werden die Nachgiebigkeiten hauptsächlich bei einer auftretenden Zugkraft im Bauteil berücksichtigt (siehe Kap. 9.2.4). Somit bekommt das linke Kopfband, verglichen mit dem Modell M0, eine geringere Zugnormalkraft, da das Kopfband eine größere Nachgiebigkeit besitzt. Auf der rechten Seite bekommen die Kopfbänder in M0 und M1 eine Drucknormalkraft. Die Tragwirkung der Kopfbänder auf Druck ist in beiden Modellen (M0, M3) die gleiche. Da sich aber im Modell M3 das linke Kopfband der Kraftaufnahme entzieht, bekommt das rechte Kopfband mehr Normalkraft.

M4:

Das Stützmoment im Modell M4 ist durch die Berücksichtigung der Nachgiebigkeit links und rechts geringer als im Modell M2.

Vergleich der Schnittkräfte:

M [kNm]	M0 	M1 	M2 		M3 	M4 	
M ₁	0 (100 %)	0 (100 %)	0 (100 %)		0 (100 %)	0	
M ₂	3,10 (196 %)	-0,34 (-22 %)	0,83 (277 %)	1,95 (123 %)	0,80 (51 %)	-0,30	1,58
M ₃	-4,93 (132 %)	-6,99 (187 %)	-4,09 (110 %)	-2,20 (154 %)	-5,47 (147 %)	-3,73	-1,43
M ₄	0 (100 %)	0 (100 %)	0 (100 %)		0 (100 %)	0 (100 %)	

Tab. 10.7: Schnittkraftvergleich Momente $M_{y(x)}$, Lage der Momente siehe Abb. 10.9

M_z:

Das M_z wird nur durch Exzenter eingeleitet, die eine Zugnormalkraft übertragen. Dies ist beim linken Kopfband der Fall (siehe Kap. 10.10)

10.7 Normalkraft $N_{(x)}$ - Druckriegel HG 2.0

Grafische Darstellung der Exzenter:

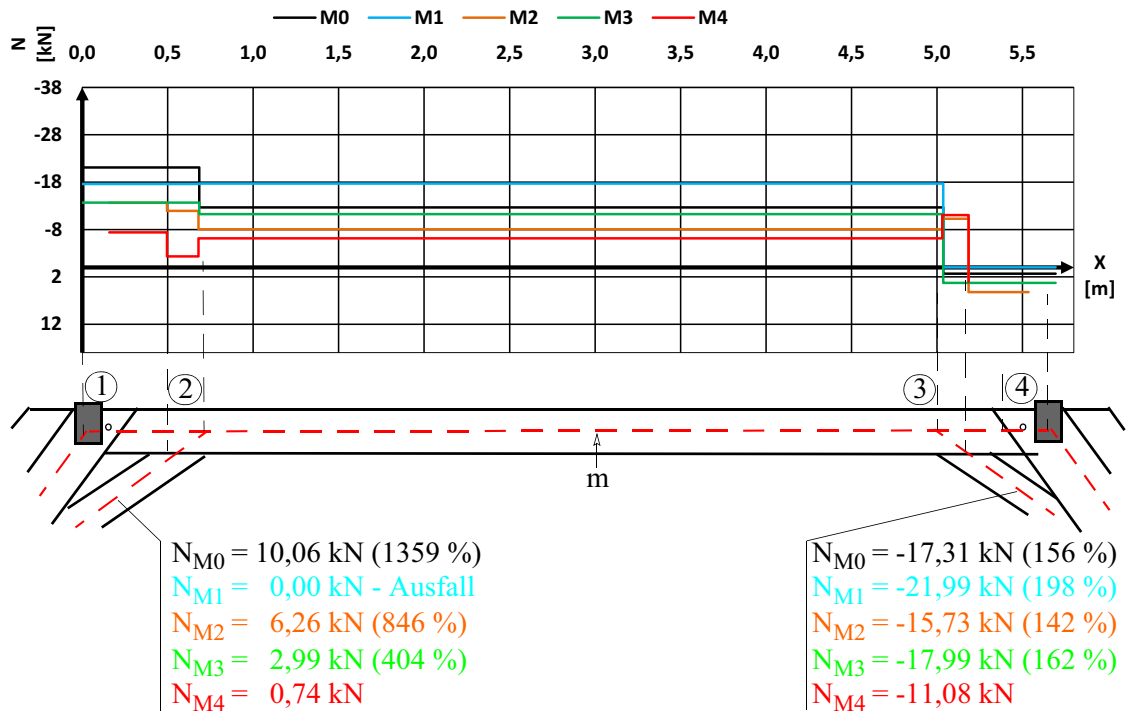


Abb. 10.10: Normalkraftverlauf $N_{(x)}$ Druckriegel

Interpretation (siehe Abb. 10.10, Tab. 10.8):

M1:

Auffallend bei den Normalkräften im Druckriegel ist die hohe Normalkraft im Modell M1. Weiters befindet sich in den Kehlbalken der Leergespärre eine Drucknormalkraft (circa 4 kN). In den Kehlbalken der Hauptgespärre befindet sich zwischen den Exzentern eine Zugnormalkraft (circa 9 kN). Dies ist mit dem Ändern des statischen Systems durch das Ausfallen der Verbindungen unter einer Zugbeanspruchung zu erklären. In der Lastgruppe LG1 sind im Stuhl folgende Verbindungen ausgefallen: Druckriegel - Stuhlsäulenverbindung, Stuhlsäulenknecht (beidseitig), Kopfband (2), Exzenter E8 (beidseitig) (siehe Abb. 10.11 rot).

In der Abbildung 10.11 wird ersichtlich, dass der Stuhl unter der horizontalen Belastung H aus dem Rähm, ohne den Exzenter E8 beziehungsweise dem Kehlbalken instabil wäre. Dies erklärt auch die Zugkraft in den Kehlbalken, die sich zwischen den Exzentern befindet.

statisches System ohne Exzenter und Kehlbalken

statisches System mit Exzenter und Kehlbalken

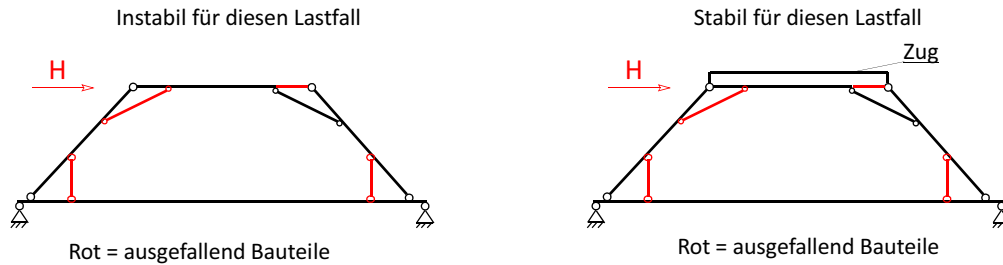







Abb. 10.11: Statisches System des Stuhls

Vergleich der Schnittkräfte:

Anmerkung: In der Tabelle wird immer nur ein Wert pro Abschnitt angegeben, da die Normalkraft in diesem Bereich konstant ist.

$N_{(x)}$ [kN]	M0 	M1 	M2 	M3 	M4 
N_{1-2}	-21,10 (286 %)	-17,63 (239 %)	-13,58 (184 %)	-13,68 (186%)	-7,37
N_{2-3}	-12,65 (206 %)	-17,71 (288 %)	-8,04 (131 %)	-11,23 (183 %)	-6,14
N_{3-4}	1,31 (43 %)	Ausfall	5,21 (170 %)	3,27 (107 %)	3,06

Tab. 10.8: Schnittkraftvergleich Normalkräfte $N_{(x)}$, Lage der Normalkräfte siehe Abb. 10.10

10.8 Momente $M_{y(x)}$ - Stuhlsäule HG 2.0 IH

Grafische Darstellung der Exzenter:

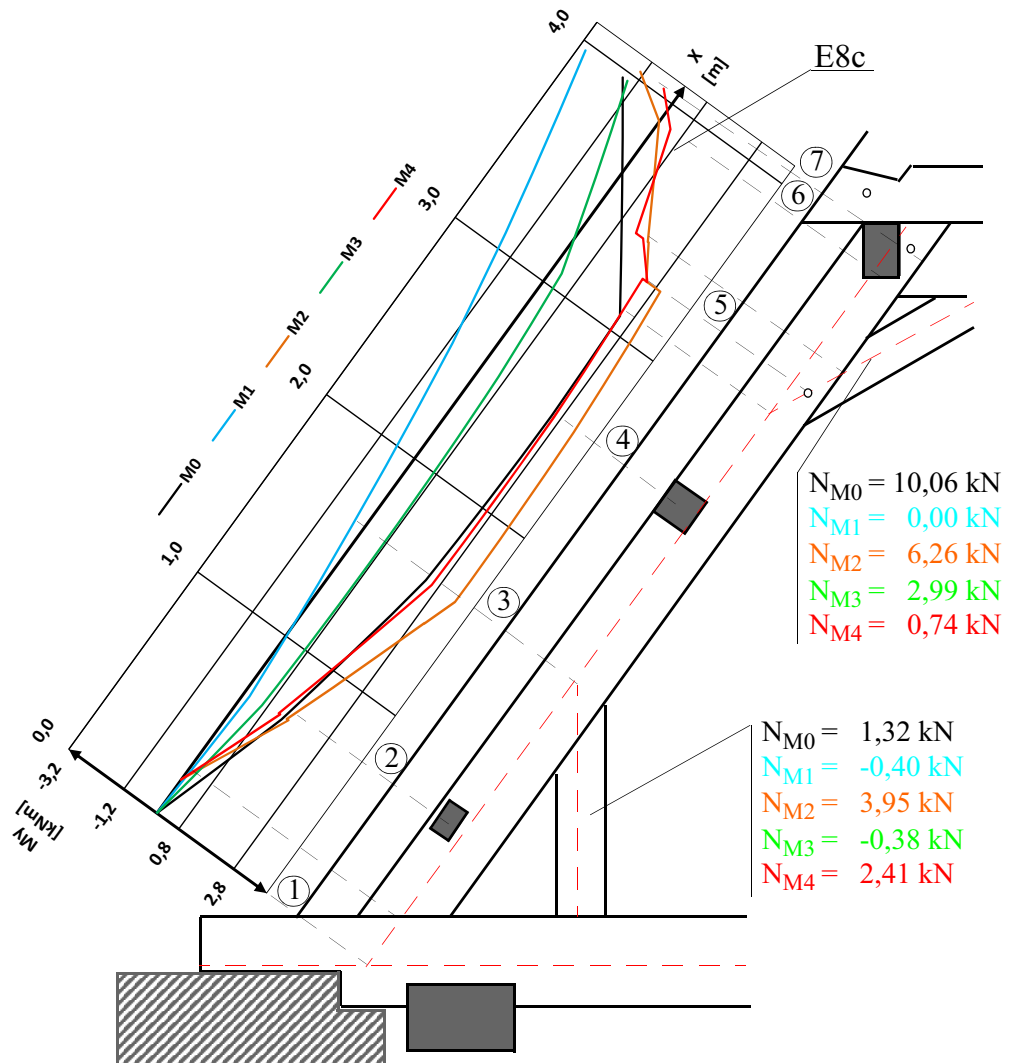


Abb. 10.12: Momentenverlauf $M_{y(x)}$ der Stuhlsäule

M0:

Da im Stuhlsäulenknecht und im Kopfband eine Zugnormalkraft vorliegt, ist in der Stuhlsäule die Momentenkraft eine positive.

Interpretation (siehe Abb. 10.12, Tab. 10.9):






Der Beginn aller Momentenschnittkraftlinien ist Null, da der Anschluss der Stuhlsäulen an den Bundtram gelenkig erfolgt. Beim Anschluss des Brustriegels an die Stuhlsäule wird kein M_x übertragen. Daher sind im Modell M0, M1, und M3 in diesem Bereich keine Sprünge. Im Modell M2 und M4 sind durch die Exzentrizitäten Sprünge vorhanden.

Die Momentensprünge am Ende der Stuhlsäule (6, 7) sind prinzipiell nicht miteinander ver-

gleichbar, da die Einleitung der Momente von unterschiedlichen Bauteilen erfolgt. In den Modellen M0, M1 und M3 wird das Moment M_y durch den Exzenter E8 eingeleitet. In den Modellen M2 und M4 wird das Moment durch den Exzenter E10a eingeleitet. Durch das Auflösen des Exzenter (E8) in den Modellen M2 und M4 in mehrere Exzenter (E8a, E8b, E8c) wird aus dem Kehlbalken kein M_y in die Stuhlsäule eingeleitet.

M1:

Im Modell M1 fällt der Stuhlsäulenknecht (links) und das Kopfband (links) aus. Dadurch sind in 3 und 5 keine Knicke vorhanden.

$M_{(x)}$ [kNm]	M0 	M1 	M2 		M3 	M4 	
M₁	0 (100 %)	0 (100 %)	0 (100 %)		0 (100 %)	0	
M₂	1,35 (111 %)	0,19 (16 %)	1,53 (125 %)	1,47 (125 %)	0,64 (52 %)	1,22	1,18
M₃	2,38 (92 %)	-0,32 (-12 %)	3,45 (146 %)	3,45 (133 %)	0,74 (28 %)	2,36	2,60
M₄	2,53 (97 %)	-1,09 (-42 %)	3,34 (128 %)		0,59 (23 %)	2,61	
M₅	2,43 (104 %)	-1,73 (-74 %)	2,97 (127 %)	2,46 (178 %)	0,31 (13 %)	2,33	1,38
M₆ bzw. M₇	1,63	-2,99	-0,01	-1,31	-1,46	0,40	-0,46

Tab. 10.9: Schnittkraftvergleich Momente M), Lage der Momente siehe Abb. 10.12

10.9 Normalkraft $N_{(x)}$ - Stuhlsäule HG 2.0 IH

Grafische Darstellung der Exzenter:

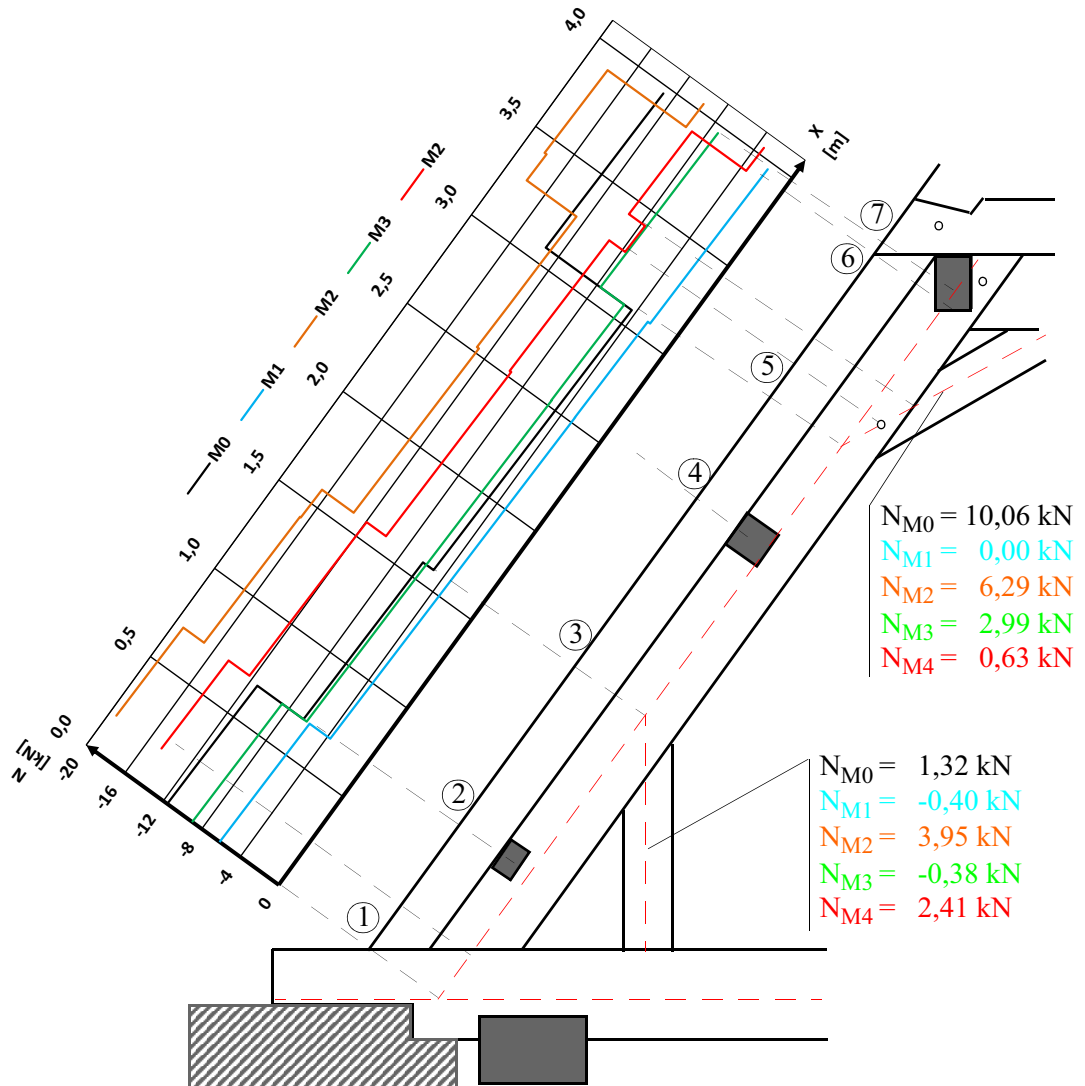


Abb. 10.13: Normalkraftverlauf $N_{(x)}$ der Stuhlsäule Vergleich der Schnittkräfte:

N [kN]	M0		M1		M2		M3		M4	
N₁₋₂	-11,58 (79 %)	-11,30 (78 %)	-6,14 (42 %)	-5,86 (41 %)	-19,34 (132 %)	-19,13 (132 %)	-8,99 (61 %)	-8,71 (60 %)	-14,66	-14,45
N₂₋₃	-6,50 (53 %)	-6,12 (51 %)	-3,72 (30 %)	-3,34 (28 %)	-17,02 (138 %)	-16,71 (140 %)	-6,17 (50 %)	-5,79 (49 %)	-12,30	-11,92
N₃₋₄	-5,02 (51 %)	-4,62 (49 %)	-3,34 (34 %)	-2,94 (31 %)	-13,27 (135 %)	-12,87 (135 %)	-5,77 (59 %)	-5,37 (56 %)	-9,81	-9,51






Tab. 10.10: Schnittkraftvergleich Normalkraft ($N_{(x)}$), Lage der Normalkraft siehe Abb. 10.13

N₄₋₅	-4,62 (48 %)	-4,39 (47 %)	-2,95 (31 %)	-2,72 (29 %)	-13,07 (135 %)	-12,75 (137 %)	-5,40 (56 %)	-5,17 (55 %)	-9,66	-9,34
N_{5-6 bzw. 7}	-13,32 (143 %)	-12,95 (142 %)	-2,47 (27 %)	-2,10 (23 %)	-17,90 (192 %)	-17,83 (196 %)	-7,65 (82 %)	-7,27 (80 %)	-9,30	-9,10
					-9,71 (280 %)	-9,65 (282 %)			-3,47	-3,42






Tab. 10.10: Schnittkraftvergleich Normalkraft ($N_{(x)}$), Lage der Normalkraft siehe Abb. 10.13

10.10 Biegemoment M_z und Torsionsmoment M_t

Generell ist zu sagen, dass die Biegemomente M_z und Torsionsmomente M_t in allen Modellen nur eine geringe Größenordnung aufweisen und daher nur tabellarisch mit den Maximalwerten angegeben werden. Die Schnittkräfte sind aus der Lastfallgruppe 1 und werden in Absolutwerten (= Betrag) angegeben. Zusätzlich werden die maximalen Momente M_y angegeben.

	M0 	M1 	M2 	M3 	M4 
$M_{z,max}$ [kNm]	1,33	0,75	1,00	1,07	0,63
$M_{y,max}$ [kNm]	7,32	9,48	7,51	7,30	7,52

Tab. 10.11: Maximales M_z

	M0 	M1 	M2 	M3 	M4 
$M_{t,max}$ [kNm]	0,25	0,17	1,52	0,21	1,82
$M_{y,max}$ [kNm]	7,32	9,48	7,51	7,30	7,52

Tab. 10.12: Maximales M_t

10.11 Untersuchung des Einflusses des verminderten Torsionswiderstandes

Infolge des unterschiedlichen radialen und tangentialen Schwind- und Quellverhalten entstehen insbesondere in Bauteilen, welche den Kern enthalten Risse in Faserrichtung. Die Tragfähigkeit des Querschnittes unter einer Torsionsbeanspruchung wird dabei deutlich verringert. In diesem Kapitel wird der Einfluss einer Verminderung der Torsionssteifigkeit auf die Schnittkraftverläufe untersucht.



Abb. 10.14: Schubfluss unter Torsionsbeanspruchung

	Querschnitts-abmessungen				Trägheitsmoment					
	ohne Riss		mit Riss		ohne Riss (lt. RStab)	halber QS (lt. RStab)	halber QS mit Nährungsformel		Neues TM	
Bauteil	b [cm]	h [cm]	b [cm]	h [cm]	I_t [cm ³]	I_t [cm ³]	h [cm]	t [cm]	I_t [cm ³]	I_t [cm ³]
Brustriegel	16	21	16	10,5	15292,23	3660,51	16	10,5	3636,79	7321,02
Bundtram	23	32	23	16	72309,23	17906,14	23	16	18497,70	35812,28
Druckriegel	19	23	19	11,5	26270,22	5999,98	19	11,5	5673,84	11999,96
Hahnenbalken	16	17	16	8,5	10339,45	2186,33	16	8,5	1929,33	4372,66
Kehlbalken	14	18	14	9	8640,32	2043,61	14	9	2003,94	4087,22
Kopfband	17	20	17	10	15969,68	3587,42	17	10	3337,94	7174,84
Mauerbank	30	23	15	23	/	/	23	15	/	/
Rähm	15	19	15	9,5	11084,63	2599,13	15	9,5	2525,18	5198,26
Sparren	18	15	9	15	10041,93	2281,93	15	9	2147,08	4563,86
Stuhlsäule	19	33	19	16,5	48329,82	13615,61	19	16,5	16758,51	27231,22
Stuhlsäulenkn.	18	21	18	10,5	19761,21	4417,58	18	10,5	4091,38	8835,16
Windrispe	18	14	9	7	8640,32	2043,61	14	9	2003,94	4087,22
TM = Trägheitsmoment										Anmerkung: Je schmaler der Querschnitt wird, desto ungenauer ist die Berechnungsformel für das Torsionsträgheitsmoment
QS = Querschnitt										

Abb. 10.15: Reduktion des Trägheitsmomentes (vgl. [6], [9])

Momentenschnittkraft M_y im Sparren:

- Die Momentenschnittkraft M_y im Sparren bleibt die gleiche.
- Die Momentenschnittkraft M_y in der Stuhlsäule ändert sich um maximal 0,1 kNm. Diese Änderung ist vernachlässigbar klein.

Generell kann gesagt werden, dass die Auswirkungen eines verminderten Torsionsträgheitsmomentes vernachlässigbar klein sind, da das Torsionsmoment ebenfalls klein ist (siehe Tab. 10.12).

10.12 Zusammenfassung

Linearität:

Das Modell M0 liefert durch das gleichartige Verhalten der Verbindungen auf Zug und Druck keine realitätsnahen Schnittgrößen, da in der Berechnung Zugbelastungen in Bauteilen auftreten, in welchen in Wirklichkeit keine oder nur geringfügige Zugkräfte vorkommen können. Ein Beispiel dafür ist der Normalkraftverlauf in der Stuhlsäule, welcher sich aus Lastgruppe 29 ergibt. Dabei soll rechnerisch in der Verbindung der Stuhlsäule mit den Bundtram (= Stirnversatzzapfen ohne Zugsicherung) eine Zugnormalkraft von 21,50 [kN] übertragen werden.

Dies zeigt uns die Relevanz der Differenzierung zwischen einer statisch linearen und einer statisch nichtlinearen Berechnung.

Nichtlinearität:

Im Modell M1 reduziert sich durch das Ausfallen einzelner Bauteile die Steifigkeit des Gesamtsystems erheblich. Dies führt wiederum zu nicht wirklichkeitsnahen Schnittkräften. Ein typisches Beispiel dafür sind die Normalkräfte der Kopfbänder. Während auf der einen Seite das Kopfband völlig ausfällt, steigt die Drucknormalkraft im gegenüberliegenden Kopfband erheblich. Dies führt, verglichen mit dem Kopfband im Modell M4 zu einer Steigerung der Normalkraft um circa 100 %.

Es wird daher empfohlen, das Ausfallen von Verbindungen auf jene zu reduzieren, welche überhaupt keine Zugkräfte aufnehmen können. Dies betrifft alle Stirn-, Fersen- und einfache Zapfen ohne Holz nagelsicherung. Bei Kammverbindungen liegen die Bauteile in der Regel nur lose (ohne Zugsicherung) aufeinander auf. Daher können in dieser Richtung keine Zugkräfte übertragen werden.

Exzenter:

Im Modell M2 werden die Exzentrizitäten berücksichtigt. Eine Verbesserung zu realistischen Schnittkräften führt vor allem der Exzenter im Detail D9 herbei. Durch diesen Exzenter wird im Modell die Kraftübertragung aus dem reinen Kehlbalkendach in den Stuhl realistischer. Dies ist durch den Normalkraftverlauf im Sparren erkennbar. Die Normalkraftlinie im Sparren bekommt im Bereich des Kehlbalkenanschlusses einen Sprung in die positive Richtung. Dies bedeutet, dass der Stuhl und das Rähm, die Sparren unterstützen und nicht wie im Modell M0, M1 und M3 zusätzliche Normalkräfte einleiten.

Dies zeigt uns die Relevanz des Einsatzes von Exzentern bei Bauteilen, die weitere Lastübertragungsflächen besitzen als jene an den beiden Enden. Anders ausgedrückt: bei sogenannten Pendelstäben, welche zwei *Weißschwanzverbindungen*, besitzen kann auf die Verwendung von Exzentern verzichtet werden.

Nachgiebigkeiten:

Da die Nachgiebigkeiten der Verbindungen unter Zugkräften deutlich größer sind als unter Druckkräften, sind insbesondere die Nachgiebigkeiten unter Zug zu berücksichtigen.

Ziel ist es, mit möglichst geringem Aufwand realitätsnahe Ergebnisse zu erzielen.

vorgeschlagene Eingabereihenfolge:

Schritt 1: Die Eingabe des Modells mit den gemittelten Querschnittswerten muss dreidimensional erfolgen. Die Verbindungen der Bauteile erfolgen jeweils beidseitig durch einen gelenkigen Anschluss.

Schritt 2: Jene Verbindungen die keine Zugkräfte übertragen können, müssen auch im Modell auf Zug ausfallen.

Schritt 3: Bei jenen Bauteilen die eine Zugnormalkraft bekommen, muss die Nachgiebigkeit der Verbindung berechnet und mittels Federn berücksichtigt werden.

Schritt 4: Bei jenen Bauteilen, welche zusätzlich zu den Endverbindungen (nur Weißschwanzverbindungen) weitere Verbindungen besitzen, müssen die Exzentrizitäten berücksichtigt werden. (zum Beispiel Stuhlsäule)

Die Steigerung der Genauigkeit von M0 bis M4 ist auch in den Nachweisen im Anhang deutlich erkennbar. Die Wahl des Modelles beeinflusst den Umfang einer Instandsetzung in sehr großem Maße.

11 Ausfallen der Sparren auf der Kampseite

Vergleicht man viele sanierungswürdige Dachstühle hinsichtlich ihrer Schwachpunkte, stellt man bei bestimmten Dachstuhltypen ähnliche Schadensbilder fest, die sich häufen (vgl. [18]). Ein typischer Schwachpunkt eines Sparrendaches ist der Fußpunkt.

Dies hat mehrere Gründe:

- Da in diesem Bereich der Kontakt mit dem darunterliegenden Mauerwerk hergestellt wird und in historischen Dachstühlen keine Abdichtung zwischen Mauerwerk und Holz vorliegt, kann Feuchtigkeit aus dem Mauerwerk in das Holz eindringen.
- Weiters befindet sich in diesem Bereich eine geringere Dachneigung (siehe Abb. 11.1), was zu einer größeren Schadenssensibilität führt, da das Wasser langsamer abrinnt.
- Alle Niederschlagswasser einer Satteldachseite werden in dem Bereich des Aufschieblings in der Dachrinne gefasst. Dies bedeutet, dass die Wassermenge vom First in Richtung Traufe zunimmt.
- Im Winter bleibt der Schnee aufgrund der flacheren Dachneigung länger liegen (siehe Abb. 5.5).
- Schadhafte Stellen in der Dachdeckung sind in diesem Bereich von innen nur schwer ersichtlich
- Vielerorts befindet sich in diesem Bereich eine Anhäufung von Bauschutt und Verschmutzung. Dies führt zu einer mangelhaften Durchlüftung und schlechten Trocknung möglicher Feuchtstellen.

Besitzt ein Fußpunkt eine verringerte oder keine Tragfähigkeit mehr, so müssen sich jene Lasten, welche durch den Fußpunkt in das Mauerwerk eingeleitet wurden, umgelagert und durch andere Bauteile des Tragwerks aufgenommen werden. Wie diese Umlagerungen erfolgen und wohin sich die Lasten letztendlich verteilen, wird anhand einer 3D-Modellierung in diesem Kapitel gezeigt. Für diese Untersuchung wird das Modell M4 als Grundlage und Referenz herangezogen.

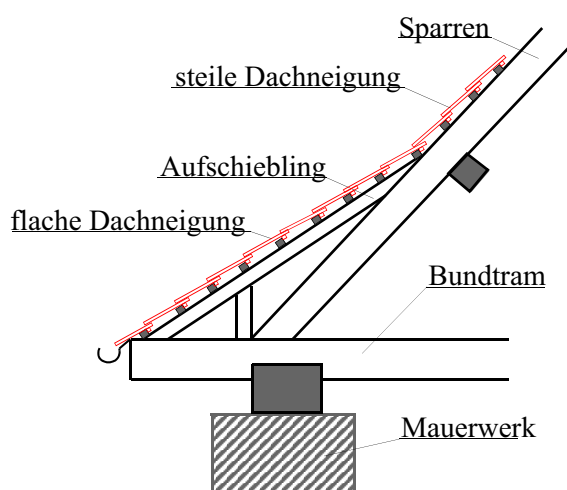


Abb. 11.1: Traufbereich des Daches

Modellierung:

Alle Sparrenfußpunkte der Kampseite fallen völlig aus. Dies bedeutet, dass keine Normalkraft, keine Querkräfte und keine Momente übertragen werden. Diese Annahme trifft in Wirklichkeit nur bedingt zu.

Durch den Festigkeitsverlust des Holzes steigt die Nachgiebigkeit und der Bundtram entzieht sich der Lastaufnahme (siehe Abb. 11.2, Abb. 11.3). Lastumlagerungen sind die Folge. Durch die größere Nachgiebigkeit erfährt der Sparrenfußpunkt eine Verschiebung in die globale X-Richtung beziehungsweise in die globale Z-Richtung (siehe Abb. 9.2). Da der Kontakt zwischen Sparren und Bundtram durch Kriechen des gesamten Systems weitestgehend erhalten bleibt, wird auch eine *geringe* Normalkraft über Kontaktdruck beziehungsweise *geringe* Querkraft über Reibung übertragen. Da sich die Größenordnung dieser Kräfte, beziehungsweise die Nachgiebigkeit, nicht abschätzen lässt, wird der völlige Ausfall der Verbindung angenommen.

Eine weitere Annahme ist, dass die Verbindung der *Stuhlsäule* mit dem Bundtram noch die volle Tragfähigkeit besitzt. Dies entspricht deshalb nicht der Wirklichkeit, weil der Sparren im Hauptgespärre und die Stuhlsäule sehr eng beieinanderliegen. Würde zum Beispiel ein mit Pilz befallener Bundtram vorliegen, würde die steigende Nachgiebigkeit sowohl das Tragverhalten des Sparrens als auch jenes des Bundtrams beeinflussen. Dies wird in der Modellierung nicht berücksichtigt.

Sparrenfuß mit voller Tragfähigkeit

Sparrenfuß mit Teiltragfähigkeit

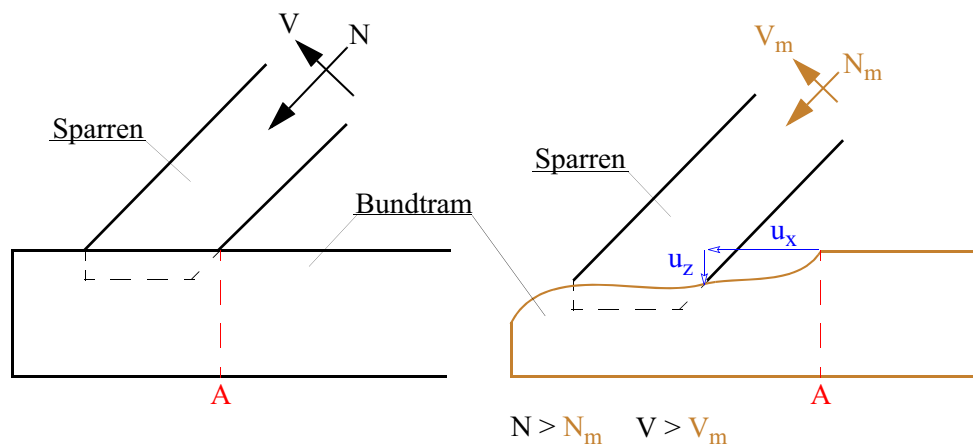


Abb. 11.2: Tragverhalten eines Sparrens auf einem pilzbefallenen Bundtram

Der Ursprung des Pilzbefalls findet sich oft in einer durchfeuchteten Stirnfläche des Bundtrams. Dies kann zu einer Hohlrumbildung im Inneren des Bundtrams führen, welche von außen oft nicht ersichtlich ist. Nur durch das Abklopfen mit einem Hammer beziehungsweise einer Bohrwiderstandsmessung wird dies erkennbar. Dabei sei angemerkt, dass die Klangprobe sehr viel Erfahrung benötigt und nur die Bohrwiderstandsmessung genaueren Aufschluss über das Ausmaß des Hohlraumes liefert.

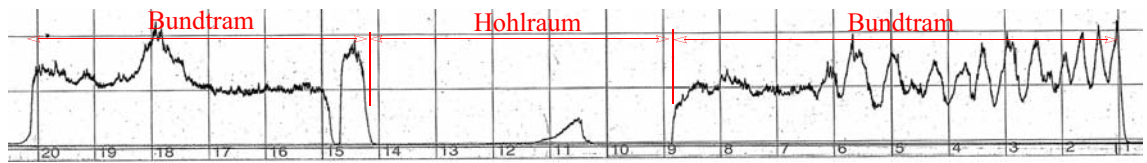


Abb. 11.3: Bohrung durch einen pilzbefallenen Bundtram in Richtung der Breite (siehe Abb. 11.4 links)



Abb. 11.4: Geschädigter Sparrenfuß: visuell nicht erkennbar (links), erkennbar (rechts) (siehe Abb. 11.1)

11.1 Momente $M_{y(x)}$ - Sparren HG 2.0

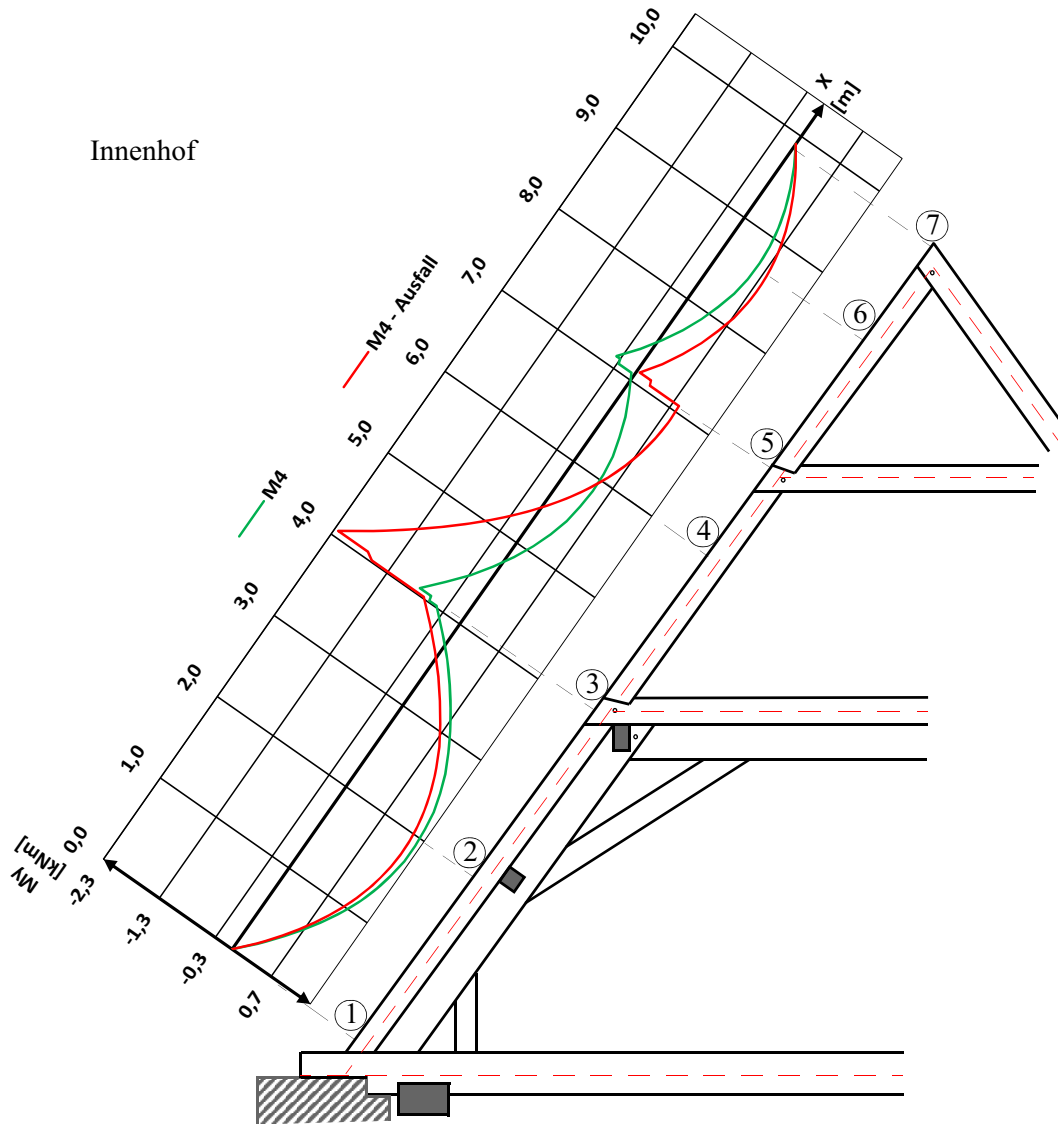


Abb. 11.5: Momentenverlauf $M_{y(x)}$ des Sparrens

Interpretation (siehe Abb. 11.5, Tab. 11.6):

Das Ausfallen der Sparrenfußpunkte auf der Kampseite bewirkt auf der einen Seite eine Zunahme des negativen Stützmomentes im Bereich des Kehl balkens und auf der anderen Seite eine Abnahme des Stützmomentes im Bereich des Hahnenbalkens. Durch den Ausfall der Sparrenfußpunkte ändert sich die Steifigkeit innerhalb des Gesamtsystems. Jene des reinen Kehlbalkendaches sinkt und jene des Stuhles bleibt dieselbe. Dies führt zu einem Anstieg der Normal- und Querkräfte in den Exzentrern der Sparren-Kehlbalkenverbindung (3) und zu einem Sinken der Normal- und Querkräfte in den Exzentrern der Sparren-Hahnenbalkenverbindung (5).

Vergleich der Momente:


$M_{(x)}$ [kNm]	M4 		M4 - Ausfall	
M_1	0		0 (100 %)	
$M_{2,max}$	1,30		1,23 (95 %)	
M_3	-0,50	-0,83	-0,66 (132 %)	-2,24 (270 %)
$M_{4,max}$	0,46		0,81 (176%)	
M_5	-0,06	-0,37	0,80 (-1333 %)	0,05 (-14 %)
$M_{6,max}$	0,57		0,77 (135 %)	
M_7	0		0 (100 %)	

Abb. 11.6: Schnittkraftvergleich Momente $M_{y(x)}$, Lage der Momente siehe Abb. 11.5

11.2 Normalkräfte $N_{(x)}$ - Sparren HG 2.0

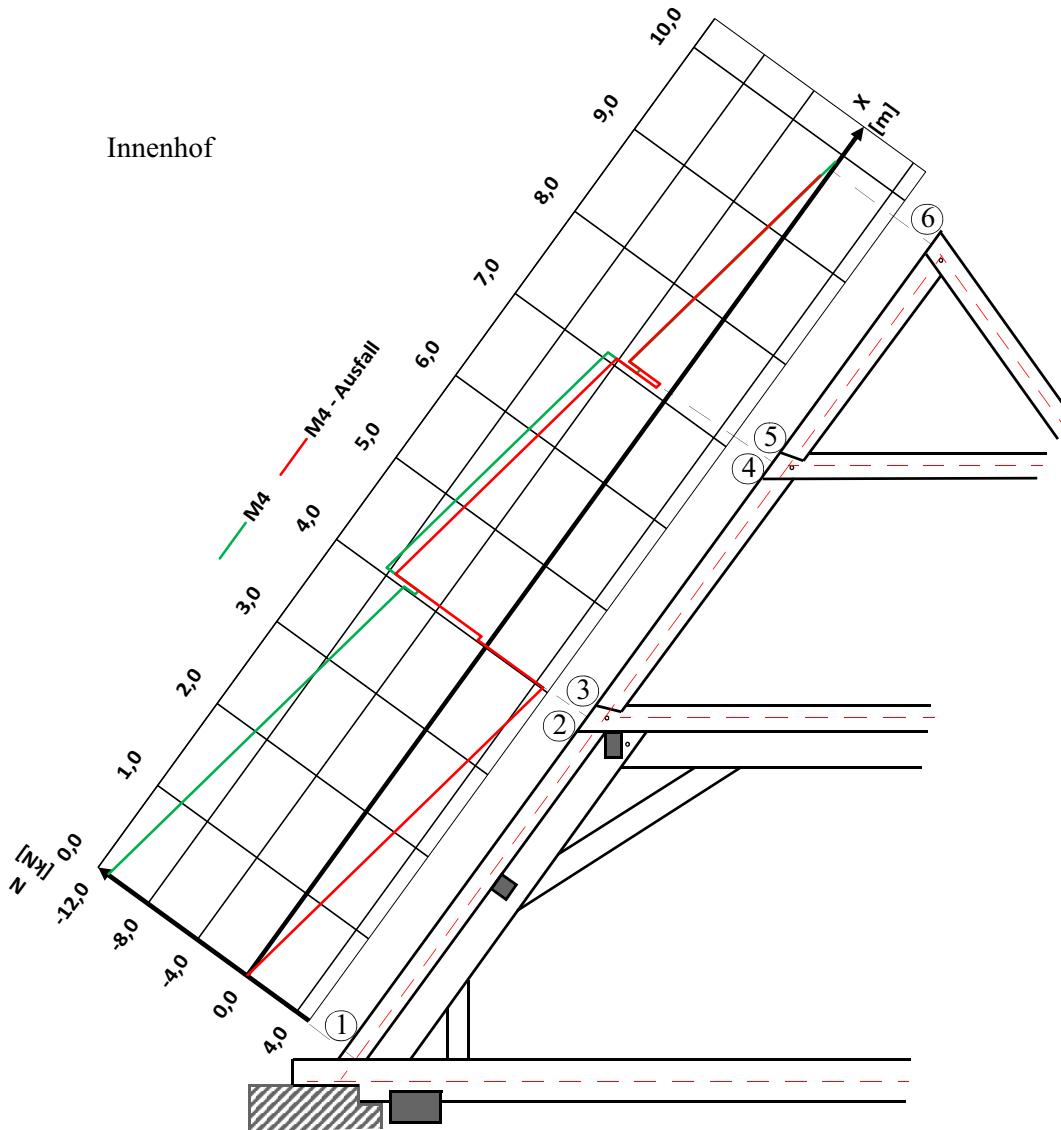



Abb. 11.7: Normalkraftverlauf $N_{(x)}$ des Sparrens

Interpretation: (siehe Abb. 11.6, Tab. 11.1)

Die ausfallenden Sparrenfußpunkte verursachen deutliche Lastumlagerungen. Die Lasten werden hauptsächlich auf das Rähm übertragen und weiter in die Stuhlsäulen der Kampseite eingeleitet. Die Normalkraft im Fußpunkt der Stuhlsäule (HG 2.0) der *Kampseite* (in den Skizzen nicht dargestellt) steigert sich von $-17,57$ [kN] auf $-96,22$ [kN] (= 548 %). Diese extreme einseitige zusätzliche Belastung bringt auch eine sehr große Verschiebung des Stuhlsäulen-Druckriegel-Kopfband-Rahmenecks mit sich, was wiederum die Sparrenfußpunkte der Innenhofseite anhebt. Daraus ergibt sich auch der Abfall der Normalkraft im Sparrenfußpunkt (1).

Vergleich der Normalkräfte:

N [kN]	M4 	M4 - Ausfall
N₁	-11,12	0 (100 %)
N₂	-6,53	4,58 (-69 %)
N₃	-8,26	-7,56 (92 %)
N₄	-4,84	-4,14 (86 %)
N₅	-3,33	-3,37 (101 %)
N₆	0,15	-0,19 (-127 %)

Tab. 11.1: Schnittkraftvergleich Normalkraft $N_{(x)}$, Lage der Normalkraft siehe Abb. 11.7

11.3 Momente $M_{y(x)}$ - Stuhlsäule IH

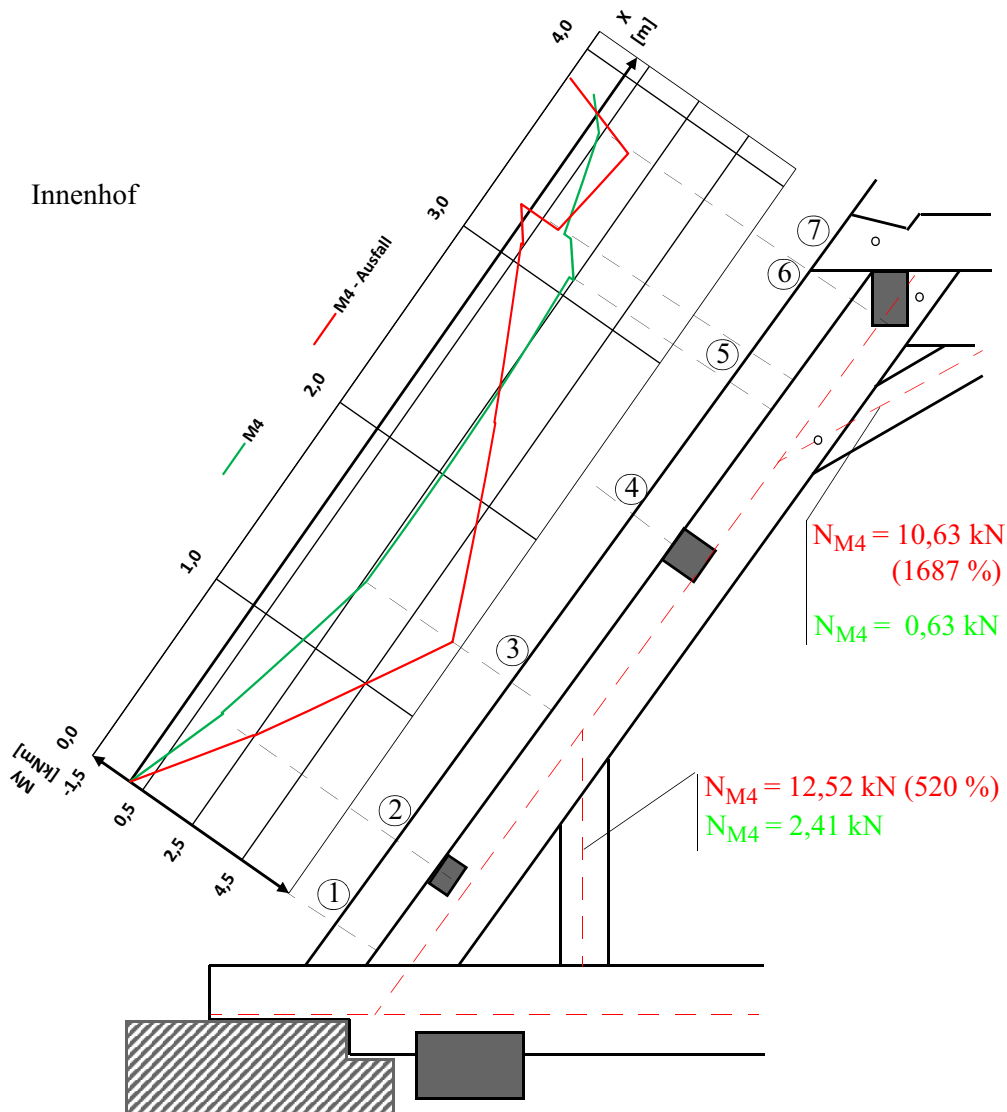


Abb. 11.8: Momentenverlauf $M_{y(x)}$ der Stuhlsäule

Interpretation (siehe Abb. 11.8, Tab. 11.2):

Sowohl die Stützmomente, als auch die Feldmomente, erhöhen sich in der Stuhlsäule. Der annähernd geradlinige Verlauf wird durch die Normalkraftzunahmen im Stuhlsäulenknecht beziehungsweise im Kopfband verursacht. Der Einfluss der Gleichlast aus dem Eigengewicht ist fast nicht mehr erkennbar.

Vergleich der Schnittkräfte:

$M_{y(x)}$ [kNm]	M4		M4 - Ausfall	
M_1	0		0	
M_2	1,22	1,18	2,46 (202 %)	2,49 (211 %)
M_3	2,60	2,60	6,07 (233 %)	6,07 (233 %)
M_4	2,61		3,05 (117 %)	
M_5	2,50	1,38	0,39 (16 %)	-0,35 (-25 %)
M_6 bzw. M_7	0,40	-0,46	1,58 (395 %)	-1,40 (304 %)

Tab. 11.2: Schnittkraftvergleich Momente $M_{y(x)}$, Lage der Momente siehe Abb. 11.8

11.4 Normalkräfte $N_{(x)}$ - Stuhlsäule HG 2.0

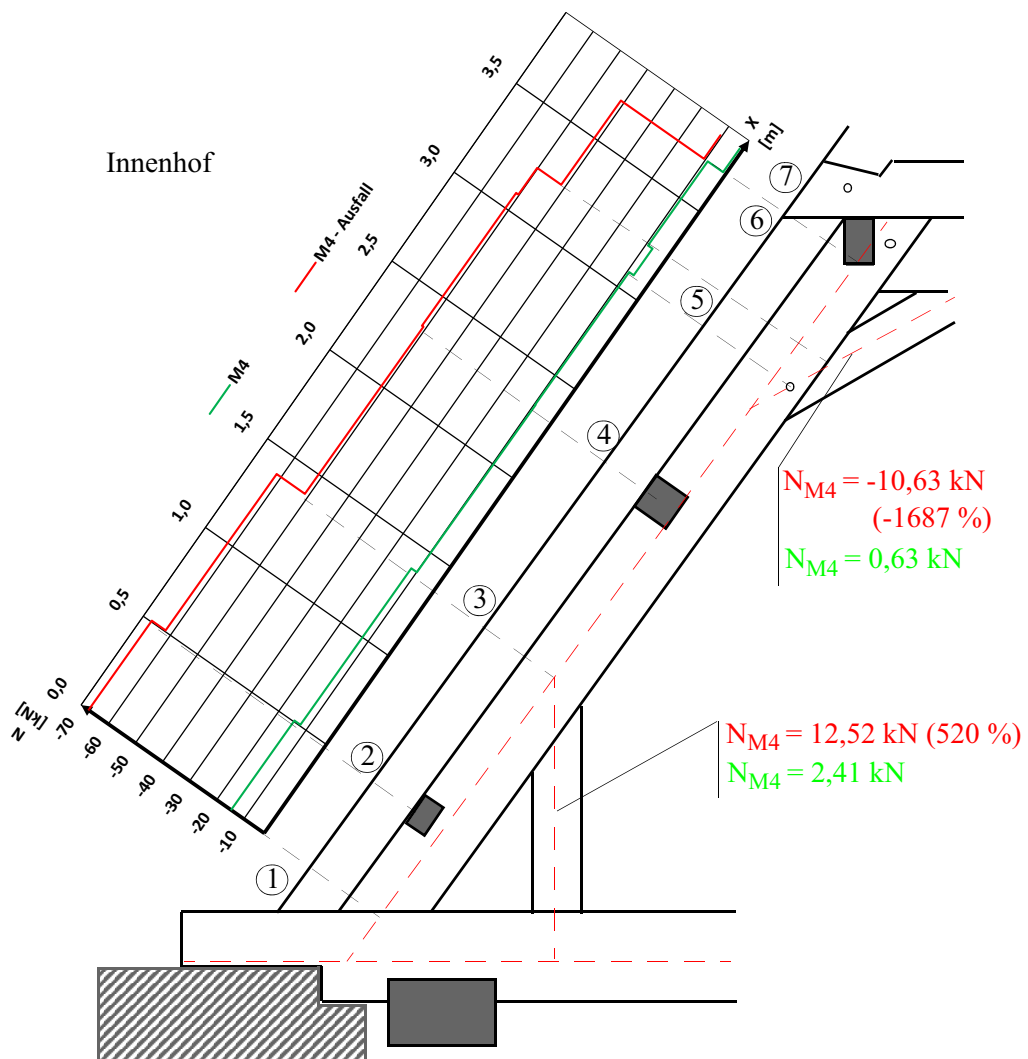



Abb. 11.9: Normalkraftverlauf $N_{(x)}$ der Stuhlsäule

Interpretation (siehe Abb. 11.9, Tab. 11.3):

Im Normkraftverlauf der Stuhlsäule ist die Steigerung der Normkräfte sowohl in der Stuhlsäule, als auch im Stuhlsäulenknecht und im Kopfband erkennbar. Dies kann aus den Sprüngen in den Anschlusspunkten ersehen werden. Weiters wechselt im Kopfband die Normkraft von Zug auf Druck.

Vergleich der Schnittkräfte:

$N_{(x)}$ [kN]	M4 		M4 - Ausfall	
N_{1-2}	-14,66	-14,45	-67,30 (459 %)	-67,09 (464 %)
N_{2-3}	-12,30	-11,92	-62,01 (504 %)	-61,64 (517 %)
N_{3-4}	-9,81	-9,51	-51,23 (522 %)	-50,84 (535 %)
N_{4-5}	-9,66	-9,34	-51,39 (532 %)	-50,25 (538 %)
N_{5-6}	-9,30	-9,10	-41,33 (444 %)	-41,13 (452 %)
N_{6-7}	-3,47	-3,42	-10,49 (302 %)	-10,43 (305 %)

Tab. 11.3: Schnittkraftvergleich Normkraft $N_{(x)}$, Lage der Normkraft siehe Abb. 11.9

11.5 Momente $M_{y(x)}$ - Druckriegel

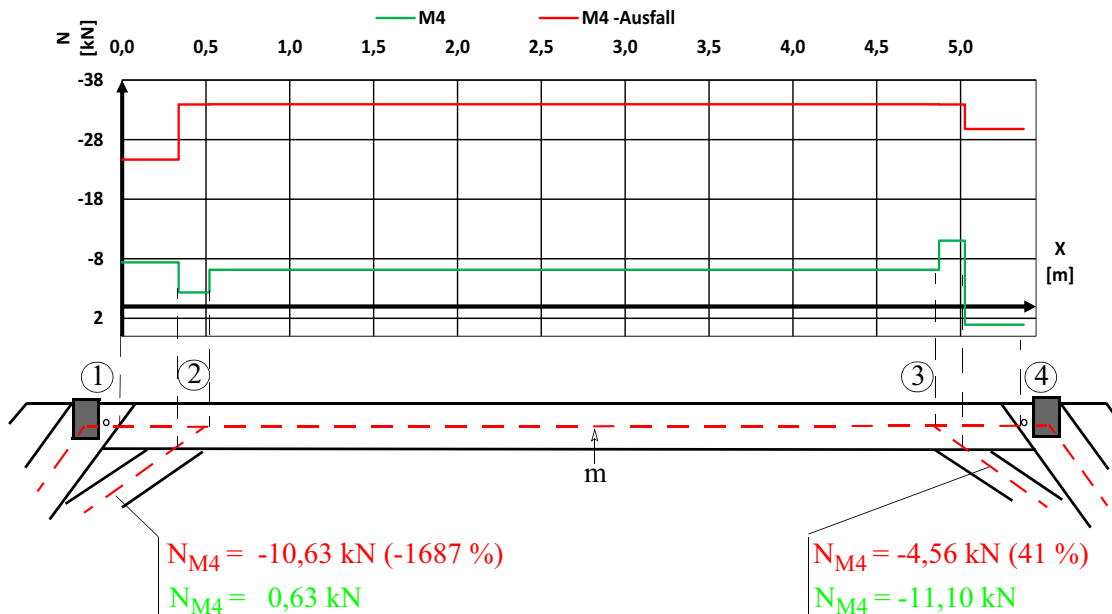



Abb. 11.10: Normkraftverlauf $N_{(x)}$ im Druckriegel

Interpretation:


Im Normalkraftverlauf des Druckriegels ist die Steigerung der Normalkräfte sowohl im Druckriegel, als auch im Stuhlsäulenknecht und im Kopfband erkennbar. Dies wird aus den Sprüngen in den Anschlusspunkten ersichtlich. Weiters wechselt im Kopfband die Normalkraft von Zug auf Druck.

Vergleich der Schnittkräfte:

N [kN]	M4 	M4 - Ausfall
N ₁₋₂	-7,37	-24,64 (334 %)
N ₂₋₃	-6,14	-33,92 (552 %)
N ₃₋₄	3,06	-29,79 (-974 %)


Tab. 11.4: Schnittkraftvergleich Normalkraft $N_{(x)}$, Lage der Normalkraft siehe Abb. 11.10

11.6 Normalkraft N und Querkraft V in den Exzentern D8

N [kN]	HG 1.0	LG 1.1	LG 1.2	LG 1.3	LG 1.4	HG 2.0	LG 2.1	LG 2.2	LG 2.3	LG 2.4	HG 3.0
M4 (8a,b) 	-3,62	-1,09	0	0	-1,06	-3,62	-1,09	0	0	-1,06	-3,62
M4 (8c)	-7,13	/	/	/	/	-7,14	/	/	/	/	-7,14
M4-Ausfall (8a,b)	-12,41	-12,37	-1,12	-1,01	-12,38	-12,41	-12,38	-1,12	-0,98	-12,37	-12,41
M4-Ausfall (8c)	-38,56	/	/	/	/	-38,55	/	/	/	/	-38,55

Tab. 11.5: Schnittkraftvergleich Normalkraft N

V_z wirkt in der Gespärreebene.

V_z [kN]	HG 1.0	LG 1.1	LG 1.2	LG 1.3	LG 1.4	HG 2.0	LG 2.1	LG 2.2	LG 2.3	LG 2.4	HG 3.0
M4 (8a,b) 	-0,53	0,11	0,18	0,19	0,10	-0,54	0,11	0,18	0,19	0,10	-0,53
M4 (8c)	0,51	/	/	/	/	0,52	/	/	/	/	0,52
M4-Ausfall (8a,b)	0,87	-0,82	0,63	0,73	-0,83	0,88	-0,80	0,66	0,72	-0,84	0,89
M4-Ausfall (8c)	2,37	/	/	/	/	2,37	/	/	/	/	2,42

Tab. 11.6: Schnittkraftvergleich Querkraft V_z

11.7 Zusammenfassung

Durch das Versagen der Sparrenfußpunkte wird die Tragwirkung des *reinen* Kehlbalkendaches (siehe Abb. 10.8 grün) empfindlich gestört. Ein Gelenk des Dreigelenksrahmens (Sparrenpaar und Bundtram) fällt aus und das Dreieck ist nicht mehr geschlossen. Infolgedessen müssen erwartungsgemäß Lasten über die Kehlbalken in die Rähme und weiter in Stühle umgelagert werden. Die Lastenleitung in die Stühle erfolgt einerseits über das Rähm selbst und andererseits über die Windrispen, welche das Rähm unterschützen.

Weiters bekommt der Stuhl auf der Seite der ausgefallenen Sparren mehr zusätzliche Lasten als auf der gegenüberliegenden Seite. Unter der Annahme, dass alle Sparren einer Seite ausfallen, steigt die Belastung der Stuhlsäule in einem Ausmaß, an bei dem der Ausnutzungsgrad vieler Nachweise weit über 1 liegen würden.

Besteht der Verdacht, dass die Sparrenfußpunkte einer Seite keine nennenswerten Kräfte mehr übertragen können, sind folgende Warnzeichen zu überprüfen:

- Besitzen die Sparren der voll tragfähigen Seite noch Kontakt mit dem Bundtram, oder sind Klaffungen zu erkennen?
- Ist ein Abscheren des Zapfens des Stuhlsäulenfußpunktes erkennbar?

Befinden sich in einem Trakt mehrere nicht tragfähige Sparrenfußpunkte, muss die Überprüfung der Stuhlsäulen besonders gründlich durchgeführt werden. Dabei sind besonders die höher belasteten Stuhlsäulenfußpunkte zu analysieren. Folgende Punkte sind dabei zu beachten:

- Ist der darunterliegende Bundtram voll tragfähig (Widerstandsbohrung)?
- Befinden sich im Anschlussbereich Eindrückungen unter der Stuhlsäule?
- Ist die Verformung des Stuhles (sofern feststellbar) auf der zusätzlich belasteten Seite größer als auf der gegenüberliegenden Seite?
- Ist ein Fortschreiten der Verformungen erkennbar?

Überprüfung der Sparren:

- Ist die Holzerstörung noch aktiv?

Allgemein kann gesagt werden, dass Fußpunkte wesentlich für das Tragvermögen von Sparren- beziehungsweise Kehlbalkendächern ist. Daher ist bei der Bestandserfassung und Schadensanalyse in diesen Bereichen besonders gründlich vorzugehen. Weiters kann gesagt werden, dass bei Vorkommen der oben genannten Warnzeichen ein Instandsetzung der Sparren durchgeführt werden muss. Dabei muss darauf geachtet werden, dass der Dreigelenksbogen des reinen Sparrendaches wieder geschlossen wird und sowohl wieder Vertikalkräfte als auch Horizontalkräfte übertragen werden können (siehe Abb. 11.11).



Abb. 11.11: Dreigelenksrahmen geschlossen (links), Dreigelenksrahmen offen (Horizontalkraftübertragung nur auf Reibung) (rechts)

E Anhang

12 Sortierung des Bauholzes nach DIN 4074-1 (vgl. [21])

Sortierung des Bauholzes nach DIN 4074-1														radiale Schwindrisse r/h				
	b [cm]	h [cm]	Aststärke d (Breite) [cm]	Aststärke d (Höhe) [cm]	Astigkeit (b/d)	Astigkeit (h/d)	Jahrring- breite [mm]	X [cm]	Y [cm]	Faser- neigung [%]	t ₁ (Breite) (Höhe)	t ₂ (Höhe) (Breite)	t ₃ (Höhe) (Breite)	t ₁ (Höhe)	t ₂ (Höhe)	t ₃ (Höhe)	radiale Schwindrisse r/b	
KB:LG 1.1	16	18	2,5	0	0,16	0,00	/	2,0	70,0	2,86	3,70	2,80	6,00	/	/	/	< 1m	
KB:LG 1.2	14	20	2	1	0,14	0,05	/	2,0	120,0	1,67	/	/	/	4,50	4,50	5,00	0,23	
KB:LG 1.3	16	18	2,5	2,5	0,16	0,14	/	1,5	60,0	2,50	/	/	/	/	/	/	< 1m	
KB:LG 1.4	14	17	2,5	2	0,18	0,12	/	7,0	78	8,97	/	/	/	/	/	/	< 1m	
DR:HG 2	19	21	1	0	0,05	0,00	/	1,0	30,0	3,33	8,00	8,10	7,80	/	/	/	0,42	
KB:LG 2.1	12	16	2	2	0,17	0,13	/	1,0	100,0	1,00	/	/	/	/	/	/	< 1m	
KB:LG 2.2	15	16	2	1,5	0,13	0,09	/	0,5	100,0	0,50	/	/	/	/	/	/	< 1m	
KB:LG 2.3	16	20	0,5	2	0,03	0,10	/	3,0	35,0	8,57	/	/	/	/	/	/	< 1m	
KB:LG 2.4	13	18	2	2	0,15	0,11	/	1,0	40,0	2,50	/	/	/	/	/	/	< 1m	
KB:HG 3	15	18	1	1,5	0,07	0,08	/	2,0	55,0	3,64	6,00	7,50	8,50	/	/	/	0,49	
SS:HG 1 IH	20	38	0	3	0,00	0,08	/	2,0	40,0	5,00	/	/	/	/	/	/	< 1m	
SS:HG 1 KS	20	35	0	2	0,00	0,06	/	0,0	0,0	0,00	/	/	/	/	/	/	< 1m	
SS:HG 2 IH	19	37	2	3	0,11	0,08	/	1,0	100,0	1,00	/	/	/	/	/	/	< 1m	
SS:HG 2 KS	20	37	0	0	0,00	0,00	/	0,0	0,0	0,00	/	/	/	2,00	3,00	1,00	0,05	
SS:HG 3 IH	20	31	2	3	0,10	0,10	/	0,0	0,0	0,00	/	/	/	5,00	3,00	3,00	0,12	
SS:HG 3 KS	19	35	3	1	0,16	0,03	/	0,0	0,0	0,00	/	/	/	6,00	4,00	6,00	0,15	
Windrispe	18	16	1	0	0,06	0,00	/	2,0	47,0	4,26	7,00	6,50	5,00	/	/	/	0,34	
Mindestsortierklassen																		
KB:LG 1.1	S13																	
KB:LG 1.2	S10																	
KB:LG 1.3	S10																	
KB:LG 1.4	S10																	
DR:HG 2	S10																	
KB:LG 2.1	S10																	
KB:LG 2.2	S13																	
KB:LG 2.3	S13																	
KB:LG 2.4	S13																	
KB:HG 3	S13																	
SS:HG 1 IH	S13																	
SS:HG 1 KS	S13																	
SS:HG 2 IH	S13																	
SS:HG 2 KS	S13																	
SS:HG 3 IH	S13																	
SS:HG 3 KS	S13																	
Windrispe	S13																	

Rot	S7	C16
Orange	S10	C24
Grün	S13	C30

13 Gemittelte Querschnitte

Hauptgespärre														
IH	MB		BT		SPfuß		BR		Rähm		KB		SPkopf	
	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
HG 1.0	0,30	0,22	0,22	0,29	0,18	0,17	0,16	0,22	0,16	0,19	0,15	0,21	0,18	0,17
HG 2.0	0,30	0,20	0,24	0,32	0,20	0,16	0,17	0,21	0,15	0,20	0,14	0,20	0,17	0,15
HG 3.0	0,33	0,23	0,21	0,38	0,22	0,16	0,16	0,22	0,15	0,19	0,14	0,18	0,18	0,15
MW	0,31	0,22	0,22	0,33	0,20	0,16	0,16	0,22	0,15	0,19	0,14	0,20	0,18	0,16

HB		SSkopf		KPFB		DR		SSfuß		SSK	
b	h	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0,18	0,17	0,20	0,30	0,20	0,21	0,18	0,24	0,19	0,32	0,18	0,21
0,19	0,19	0,18	0,40	0,18	0,20	0,19	0,20	0,20	0,34	0,18	0,24
0,20	0,18	0,22	0,40	0,17	0,22	0,19	0,24	0,20	0,35	0,18	0,22
0,19	0,18	0,20	0,37	0,18	0,21	0,19	0,23	0,20	0,34	0,18	0,22

KS														
IH	MB		BT		SPfuß		BR		Rähm		KB		SPkopf	
	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
HG 1.0	0,32	0,22	0,22	0,31	0,19	0,14	0,17	0,21	0,16	0,20	0,15	0,16	0,18	0,13
HG 2.0	0,29	0,25	0,24	0,35	0,20	0,16	0,16	0,20	0,16	0,21	0,16	0,20	0,18	0,16
HG 3.0	0,30	0,23	0,24	0,31	0,20	0,16	0,17	0,21	0,16	0,19	0,17	0,19	0,17	0,16
MW	0,30	0,23	0,23	0,32	0,20	0,15	0,17	0,21	0,16	0,20	0,16	0,18	0,18	0,15

SSkopf		KPFB		DR		SSfuß		SSK	
b	h	b	h	b	h	b	h	b	h
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0,19	0,38	0,19	0,21	0,18	0,23	0,19	0,32	0,18	0,20
0,19	0,39	0,16	0,20	0,19	0,22	0,20	0,34	0,19	0,23
0,20	0,37	0,17	0,19	0,20	0,25	0,19	0,32	0,17	0,21
0,19	0,38	0,17	0,20	0,19	0,23	0,19	0,33	0,18	0,21

Leergespärre																
IH	MB		BT		SPfuß		BR		Rähm		KB		SPkopf		HB	
	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
LG 1.1	0,30	0,25	0,20	0,32	0,17	0,14	0,17	0,22	0,15	0,20	0,16	0,18	0,17	0,12	0,14	0,15
LG 1.2	0,31	0,25	0,25	0,32	0,20	0,14	0,16	0,22	0,16	0,20	0,14	0,18	0,18	0,14	0,17	0,16
LG 1.3	0,31	0,26	0,23	0,32	0,21	0,15	0,16	0,22	0,16	0,20	0,15	0,17	0,17	0,13	0,13	0,17
LG 1.4	0,30	0,20	0,25	0,34	0,20	0,15	0,17	0,22	0,17	0,19	0,14	0,17	0,18	0,15	0,12	0,17
LG 2.1	0,30	0,25	0,24	0,36	0,20	0,16	0,17	0,21	0,14	0,19	0,12	0,16	0,19	0,15	0,13	0,15
LG 2.2	0,30	0,22	0,22	0,32	0,22	0,16	0,16	0,21	0,14	0,20	0,15	0,17	0,19	0,15	0,14	0,18
LG 2.3	0,30	0,23	0,26	0,29	0,21	0,16	0,16	0,21	0,15	0,20	0,14	0,21	0,20	0,15	0,14	0,14
LG 2.4	0,30	0,23	0,24	0,22	0,19	0,15	0,16	0,21	0,15	0,19	0,15	0,18	0,18	0,15	0,14	0,19
MW	0,30	0,24	0,24	0,31	0,20	0,15	0,16	0,22	0,15	0,20	0,14	0,18	0,18	0,14	0,14	0,16

KS	MB		BT		SPfuß		BR		Rähm		KB		SPkopf	
	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h	b	h
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
LG 1.1	0,30	0,26	0,22	0,33	0,20	0,14	0,17	0,21	0,16	0,20	0,16	0,17	0,18	0,13
LG 1.2	0,29	0,26	0,23	0,30	0,17	0,15	0,17	0,21	0,16	0,21	0,14	0,21	0,17	0,13
LG 1.3	0,29	0,26	0,21	0,34	0,20	0,15	0,17	0,21	0,15	0,21	0,17	0,18	0,17	0,14
LG 1.4	0,29	0,26	0,25	0,32	0,22	0,16	0,17	0,20	0,17	0,21	0,16	0,20	0,20	0,15
LG 2.1	0,30	0,25	0,23	0,32	0,20	0,16	0,16	0,20	0,17	0,20	0,13	0,17	0,18	0,15
LG 2.2	0,29	0,23	0,22	0,33	0,22	0,16	0,17	0,20	0,16	0,20	0,14	0,15	0,20	0,16
LG 2.3	0,29	0,24	0,25	0,27	0,22	0,14	0,16	0,20	0,16	0,20	0,16	0,22	0,20	0,16
LG 2.4	0,29	0,23	0,24	0,31	0,22	0,15	0,15	0,20	0,16	0,19	0,12	0,17	0,20	0,13
MW	0,29	0,25	0,23	0,32	0,21	0,15	0,17	0,20	0,16	0,20	0,15	0,18	0,19	0,14

Gesamtmittlung, HG und LG,Innenhof															
MB		BT		SPfuß		BR		Rähm		KB		SPkopf		HB	
0,31	0,23	0,23	0,32	0,20	0,16	0,16	0,22	0,15	0,19	0,14	0,19	0,18	0,15	0,16	0,17

Gesamtmittlung, HG und LG,Kamp															
MB		BT		SPfuß		BR		Rähm		KB		SPkopf			
0,30	0,24	0,23	0,32	0,20	0,15	0,17	0,21	0,16	0,20	0,15	0,18	0,18	0,15		

Windrispen		
IH	b	h
	[m]	[m]
	0,18	0,14
	0,19	0,14
	0,17	0,14
	0,16	0,14
KS	0,20	0,14
	0,19	0,13
	0,18	0,16
	0,16	0,14
MW	0,18	0,14

Anmerkung: Die rot hinterlegten Werte wurden in das Statikprogramm eingegeben.

14 Überprüfung der Kraftübertragungsflächen der Sparrenfüße

In diesem Teil des Anhangs wird jene Kraftübertragungsfläche ermittelt, welche für das Modell M2 ausschlaggebend ist. Der Reibungskoeffizient wurde laut [30] mit $\mu = 0,35$ angenommen. Die Abstände x resultieren aus dem Exportieren der Schnittkräfte aus dem Statikprogramm (RStab). Dabei werden alle Sparren der Innenhofseite aneinandergereiht. Der Wert an der Stelle $x = 4,212$ m und die vielfachen davon sind jeweils die Schnittkraftwerte der Sparrenfußpunkte. N steht für Normalkraft, V für Querkraft und die danebenstehenden Zahlen sind die jeweilige Lastgruppe. Diese Lasten werden in eine Horizontalkraft und eine Vertikalkraft umgerechnet. Unter der Überschrift „Fläche“ wird jene Fläche angegeben, welche hauptsächlich die Lasten überträgt. A1 steht für die Fläche A2a und A2 steht für A2b.

x	N1	V-z1			N2	V-z2		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-15,55	1,55			-14,66	1,40		
4,212	-15,55	1,55			-14,66	1,40		
8,425	-15,55	1,55			-14,66	1,40		
12,637	-15,52	1,57			-14,64	1,41		
16,849	-15,50	1,57			-14,63	1,41		
21,062	-15,50	1,57			-14,63	1,41		
25,274	-15,52	1,57			-14,64	1,41		
29,486	-15,52	1,57			-14,64	1,41		
33,699	-15,50	1,57			-14,63	1,41		
37,911	-15,50	1,57			-14,63	1,41		
42,123	-15,52	1,57			-14,64	1,41		
46,336	-15,52	1,57			-14,64	1,41		
50,548	-15,50	1,57			-14,63	1,41		
54,761	-15,52	1,57			-14,64	1,41		
58,973	-15,50	1,57			-14,63	1,41		

x	V1	H1	V1* μ	Fläche	V2	H2	V2* μ	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	13,76	7,41	4,82	A1	12,94	7,04	4,53	A1
4,212	13,76	7,41	4,82	A1	12,94	7,04	4,53	A1
8,425	13,76	7,41	4,82	A1	12,94	7,04	4,53	A1
12,637	13,74	7,38	4,81	A1	12,93	7,02	4,52	A1
16,849	13,73	7,37	4,80	A1	12,92	7,01	4,52	A1
21,062	13,73	7,37	4,80	A1	12,92	7,01	4,52	A1
25,274	13,74	7,38	4,81	A1	12,93	7,02	4,52	A1
29,486	13,74	7,38	4,81	A1	12,93	7,02	4,52	A1
33,699	13,73	7,37	4,80	A1	12,92	7,01	4,52	A1
37,911	13,73	7,37	4,80	A1	12,92	7,01	4,52	A1
42,123	13,74	7,38	4,81	A1	12,93	7,02	4,52	A1
46,336	13,74	7,38	4,81	A1	12,93	7,02	4,52	A1
50,548	13,73	7,37	4,80	A1	12,92	7,01	4,52	A1
54,761	13,74	7,38	4,81	A1	12,93	7,02	4,52	A1
58,973	13,73	7,37	4,80	A1	12,92	7,01	4,52	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

x	N3	V-z3			N4	V-z4		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-10,03	-0,12			-12,70	0,86		
4,212	-10,03	-0,12			-12,70	0,86		
8,425	-10,03	-0,12			-12,70	0,86		
12,637	-10,03	-0,12			-12,69	0,87		
16,849	-10,03	-0,12			-12,68	0,87		
21,062	-10,03	-0,12			-12,68	0,87		
25,274	-10,03	-0,12			-12,69	0,87		
29,486	-10,03	-0,12			-12,69	0,87		
33,699	-10,03	-0,12			-12,68	0,87		
37,911	-10,03	-0,12			-12,68	0,87		
42,123	-10,03	-0,12			-12,69	0,87		
46,336	-10,03	-0,12			-12,69	0,87		
50,548	-10,03	-0,12			-12,68	0,87		
54,761	-10,03	-0,12			-12,69	0,87		
58,973	-10,03	-0,12			-12,68	0,87		

x	V3	H3	V3* _{/L}	Fläche	V4	H4	V4* _{/L}	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	8,25	5,71	2,89	A1	11,01	6,39	3,85	A1
4,212	8,25	5,71	2,89	A1	11,01	6,39	3,85	A1
8,425	8,25	5,71	2,89	A1	11,01	6,39	3,85	A1
12,637	8,25	5,71	2,89	A1	11,01	6,37	3,85	A1
16,849	8,25	5,71	2,89	A1	11,00	6,37	3,85	A1
21,062	8,25	5,71	2,89	A1	11,00	6,37	3,85	A1
25,274	8,25	5,71	2,89	A1	11,01	6,37	3,85	A1
29,486	8,25	5,71	2,89	A1	11,01	6,37	3,85	A1
33,699	8,25	5,71	2,89	A1	11,00	6,37	3,85	A1
37,911	8,25	5,71	2,89	A1	11,00	6,37	3,85	A1
42,123	8,25	5,71	2,89	A1	11,01	6,37	3,85	A1
46,336	8,25	5,71	2,89	A1	11,01	6,37	3,85	A1
50,548	8,25	5,71	2,89	A1	11,00	6,37	3,85	A1
54,761	8,25	5,71	2,89	A1	11,01	6,37	3,85	A1
58,973	8,25	5,71	2,89	A1	11,00	6,37	3,85	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

x	N5	V-z5			N6	V-z6		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-15,94	-0,47			-18,55	0,46		
4,212	-15,94	-0,47			-18,55	0,46		
8,425	-15,94	-0,47			-18,55	0,46		
12,637	-15,92	-0,47			-18,54	0,45		
16,849	-15,97	-0,49			-18,58	0,44		
21,062	-15,97	-0,49			-18,58	0,44		
25,274	-15,92	-0,47			-18,54	0,45		
29,486	-15,92	-0,47			-18,54	0,45		
33,699	-15,97	-0,49			-18,58	0,44		
37,911	-15,97	-0,49			-18,58	0,44		
42,123	-15,92	-0,47			-18,54	0,45		
46,336	-15,92	-0,47			-18,54	0,45		
50,548	-15,97	-0,49			-18,58	0,44		
54,761	-15,92	-0,47			-18,54	0,45		
58,973	-15,97	-0,49			-18,58	0,44		

Überprüfung der Kraftübertragungsflächen der Sparrenfüße

x	N5	V-z5			N6	V-z6		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-15,94	-0,47			-18,55	0,46		
4,212	-15,94	-0,47			-18,55	0,46		
8,425	-15,94	-0,47			-18,55	0,46		
12,637	-15,92	-0,47			-18,54	0,45		
16,849	-15,97	-0,49			-18,58	0,44		
21,062	-15,97	-0,49			-18,58	0,44		
25,274	-15,92	-0,47			-18,54	0,45		
29,486	-15,92	-0,47			-18,54	0,45		
33,699	-15,97	-0,49			-18,58	0,44		
37,911	-15,97	-0,49			-18,58	0,44		
42,123	-15,92	-0,47			-18,54	0,45		
46,336	-15,92	-0,47			-18,54	0,45		
50,548	-15,97	-0,49			-18,58	0,44		
54,761	-15,92	-0,47			-18,54	0,45		
58,973	-15,97	-0,49			-18,58	0,44		

x	V5	H5	V5* μ	Fläche	V6	H6	V6* μ	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	12,95	9,30	4,53	A2	15,64	9,99	5,47	A1
4,212	12,95	9,30	4,53	A2	15,64	9,99	5,47	A1
8,425	12,95	9,30	4,53	A2	15,64	9,99	5,47	A1
12,637	12,94	9,29	4,53	A2	15,62	9,99	5,47	A1
16,849	12,97	9,34	4,54	A2	15,65	10,03	5,48	A1
21,062	12,97	9,34	4,54	A2	15,65	10,03	5,48	A1
25,274	12,94	9,29	4,53	A2	15,62	9,99	5,47	A1
29,486	12,94	9,29	4,53	A2	15,62	9,99	5,47	A1
33,699	12,97	9,34	4,54	A2	15,65	10,03	5,48	A1
37,911	12,97	9,34	4,54	A2	15,65	10,03	5,48	A1
42,123	12,94	9,29	4,53	A2	15,62	9,99	5,47	A1
46,336	12,94	9,29	4,53	A2	15,62	9,99	5,47	A1
50,548	12,97	9,34	4,54	A2	15,65	10,03	5,48	A1
54,761	12,94	9,29	4,53	A2	15,62	9,99	5,47	A1
58,973	12,97	9,34	4,54	A2	15,65	10,03	5,48	A1
A1				0,00				15,00
A2				15,00				0,00

x	N7	V-z7			N8	V-z8		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-11,71	2,88			-14,33	3,80		
4,212	-11,71	2,88			-14,33	3,80		
8,425	-11,71	2,88			-14,33	3,80		
12,637	-7,18	2,93			-9,38	3,84		
16,849	-7,67	2,95			-9,99	3,87		
21,062	-7,67	2,95			-9,99	3,87		
25,274	-7,18	2,93			-9,38	3,84		
29,486	-7,18	2,93			-9,38	3,84		
33,699	-7,67	2,95			-9,99	3,87		
37,911	-7,67	2,95			-9,99	3,87		
42,123	-7,18	2,93			-9,38	3,84		
46,336	-7,18	2,93			-9,38	3,84		
50,548	-7,67	2,95			-9,99	3,87		
54,761	-7,18	2,93			-9,38	3,84		
58,973	-7,67	2,95			-9,99	3,87		

x	V7	H7	V7* _{∫L}	Fläche	V8	H8	V8* _{∫L}	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	11,32	4,16	3,96	A1	14,01	4,86	4,90	A1
4,212	11,32	4,16	3,96	A1	14,01	4,86	4,90	A1
8,425	11,32	4,16	3,96	A1	14,01	4,86	4,90	A1
12,637	7,59	1,59	2,66	A1	9,92	2,06	3,47	A1
16,849	8,01	1,84	2,80	A1	10,45	2,38	3,66	A1
21,062	8,01	1,84	2,80	A1	10,45	2,38	3,66	A1
25,274	7,59	1,59	2,66	A1	9,92	2,06	3,47	A1
29,486	7,59	1,59	2,66	A1	9,92	2,06	3,47	A1
33,699	8,01	1,84	2,80	A1	10,45	2,38	3,66	A1
37,911	8,01	1,84	2,80	A1	10,45	2,38	3,66	A1
42,123	7,59	1,59	2,66	A1	9,92	2,06	3,47	A1
46,336	7,59	1,59	2,66	A1	9,92	2,06	3,47	A1
50,548	8,01	1,84	2,80	A1	10,45	2,38	3,66	A1
54,761	7,59	1,59	2,66	A1	9,92	2,06	3,47	A1
58,973	8,01	1,84	2,80	A1	10,45	2,38	3,66	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

x	N9	V-z9			N10	V-z10		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-13,34	0,77			-14,90	1,32		
4,212	-13,34	0,77			-14,90	1,32		
8,425	-13,34	0,77			-14,90	1,32		
12,637	-13,32	0,78			-14,88	1,34		
16,849	-13,31	0,79			-14,86	1,34		
21,062	-13,31	0,79			-14,86	1,34		
25,274	-13,32	0,78			-14,88	1,34		
29,486	-13,32	0,78			-14,88	1,34		
33,699	-13,31	0,79			-14,86	1,34		
37,911	-13,31	0,79			-14,86	1,34		
42,123	-13,32	0,78			-14,88	1,34		
46,336	-13,32	0,78			-14,88	1,34		
50,548	-13,31	0,79			-14,86	1,34		
54,761	-13,32	0,78			-14,88	1,34		
58,973	-13,31	0,79			-14,86	1,34		

x	V9	H9	V9* _{∫L}	Fläche	V10	H10	V10* _{∫L}	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	11,49	6,82	4,02	A1	13,09	7,24	4,58	A1
4,212	11,49	6,82	4,02	A1	13,09	7,24	4,58	A1
8,425	11,49	6,82	4,02	A1	13,09	7,24	4,58	A1
12,637	11,48	6,80	4,02	A1	13,09	7,21	4,58	A1
16,849	11,48	6,79	4,02	A1	13,07	7,20	4,57	A1
21,062	11,48	6,79	4,02	A1	13,07	7,20	4,57	A1
25,274	11,48	6,80	4,02	A1	13,09	7,21	4,58	A1
29,486	11,48	6,80	4,02	A1	13,09	7,21	4,58	A1
33,699	11,48	6,79	4,02	A1	13,07	7,20	4,57	A1
37,911	11,48	6,79	4,02	A1	13,07	7,20	4,57	A1
42,123	11,48	6,80	4,02	A1	13,09	7,21	4,58	A1
46,336	11,48	6,80	4,02	A1	13,09	7,21	4,58	A1
50,548	11,48	6,79	4,02	A1	13,07	7,20	4,57	A1
54,761	11,48	6,80	4,02	A1	13,09	7,21	4,58	A1
58,973	11,48	6,79	4,02	A1	13,07	7,20	4,57	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

Überprüfung der Kraftübertragungsflächen der Sparrenfüße

x	N11	V-z11			N12	V-z12		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-16,89	0,51			-18,45	1,07		
4,212	-16,89	0,51			-18,45	1,07		
8,425	-16,89	0,51			-18,45	1,07		
12,637	-16,92	0,51			-18,47	1,06		
16,849	-16,94	0,50			-18,49	1,06		
21,062	-16,94	0,50			-18,49	1,06		
25,274	-16,92	0,51			-18,47	1,06		
29,486	-16,92	0,51			-18,47	1,06		
33,699	-16,94	0,50			-18,49	1,06		
37,911	-16,94	0,50			-18,49	1,06		
42,123	-16,92	0,51			-18,47	1,06		
46,336	-16,92	0,51			-18,47	1,06		
50,548	-16,94	0,50			-18,49	1,06		
54,761	-16,92	0,51			-18,47	1,06		
58,973	-16,94	0,50			-18,49	1,06		

x	V11	H11	V11* _{∫L}	Fläche	V12	H12	V12* _{∫L}	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	14,29	9,02	5,00	A1	15,89	9,43	5,56	A1
4,212	14,29	9,02	5,00	A1	15,89	9,43	5,56	A1
8,425	14,29	9,02	5,00	A1	15,89	9,43	5,56	A1
12,637	14,31	9,04	5,01	A1	15,91	9,45	5,57	A1
16,849	14,32	9,06	5,01	A1	15,92	9,46	5,57	A1
21,062	14,32	9,06	5,01	A1	15,92	9,46	5,57	A1
25,274	14,31	9,04	5,01	A1	15,91	9,45	5,57	A1
29,486	14,31	9,04	5,01	A1	15,91	9,45	5,57	A1
33,699	14,32	9,06	5,01	A1	15,92	9,46	5,57	A1
37,911	14,32	9,06	5,01	A1	15,92	9,46	5,57	A1
42,123	14,31	9,04	5,01	A1	15,91	9,45	5,57	A1
46,336	14,31	9,04	5,01	A1	15,91	9,45	5,57	A1
50,548	14,32	9,06	5,01	A1	15,92	9,46	5,57	A1
54,761	14,31	9,04	5,01	A1	15,91	9,45	5,57	A1
58,973	14,32	9,06	5,01	A1	15,92	9,46	5,57	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

x	N13	V-z13			N14	V-z14		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-14,34	2,52			-15,92	3,07		
4,212	-14,34	2,52			-15,92	3,07		
8,425	-14,34	2,52			-15,92	3,07		
12,637	-11,85	2,56			-13,17	3,11		
16,849	-11,82	2,58			-13,21	3,13		
21,062	-11,82	2,58			-13,21	3,13		
25,274	-11,85	2,56			-13,17	3,11		
29,486	-11,85	2,56			-13,17	3,11		
33,699	-11,82	2,58			-13,21	3,13		
37,911	-11,82	2,58			-13,21	3,13		
42,123	-11,85	2,56			-13,17	3,11		
46,336	-11,85	2,56			-13,17	3,11		
50,548	-11,82	2,58			-13,21	3,13		
54,761	-11,85	2,56			-13,17	3,11		
58,973	-11,82	2,58			-13,21	3,13		

x	V13	H13	V13*/ μ	Fläche	V14	H14	V14*/ μ	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	13,30	5,93	4,65	A1	14,92	6,36	5,22	A1
4,212	13,30	5,93	4,65	A1	14,92	6,36	5,22	A1
8,425	13,30	5,93	4,65	A1	14,92	6,36	5,22	A1
12,637	11,26	4,50	3,94	A1	12,66	4,79	4,43	A1
16,849	11,24	4,47	3,93	A1	12,70	4,79	4,45	A1
21,062	11,24	4,47	3,93	A1	12,70	4,79	4,45	A1
25,274	11,26	4,50	3,94	A1	12,66	4,79	4,43	A1
29,486	11,26	4,50	3,94	A1	12,66	4,79	4,43	A1
33,699	11,24	4,47	3,93	A1	12,70	4,79	4,45	A1
37,911	11,24	4,47	3,93	A1	12,70	4,79	4,45	A1
42,123	11,26	4,50	3,94	A1	12,66	4,79	4,43	A1
46,336	11,26	4,50	3,94	A1	12,66	4,79	4,43	A1
50,548	11,24	4,47	3,93	A1	12,70	4,79	4,45	A1
54,761	11,26	4,50	3,94	A1	12,66	4,79	4,43	A1
58,973	11,24	4,47	3,93	A1	12,70	4,79	4,45	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

x	N15	V-z15			N16	V-z16		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-12,45	0,62			-14,02	1,17		
4,212	-12,45	0,62			-14,02	1,17		
8,425	-12,45	0,62			-14,02	1,17		
12,637	-12,44	0,63			-14,00	1,18		
16,849	-12,43	0,63			-13,99	1,18		
21,062	-12,43	0,63			-13,99	1,18		
25,274	-12,44	0,63			-14,00	1,18		
29,486	-12,44	0,63			-14,00	1,18		
33,699	-12,43	0,63			-13,99	1,18		
37,911	-12,43	0,63			-13,99	1,18		
42,123	-12,44	0,63			-14,00	1,18		
46,336	-12,44	0,63			-14,00	1,18		
50,548	-12,43	0,63			-13,99	1,18		
54,761	-12,44	0,63			-14,00	1,18		
58,973	-12,43	0,63			-13,99	1,18		

x	V15	H15	V15*/ μ	Fläche	V16	H16	V16*/ μ	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	10,67	6,45	3,73	A1	12,28	6,87	4,30	A1
4,212	10,67	6,45	3,73	A1	12,28	6,87	4,30	A1
8,425	10,67	6,45	3,73	A1	12,28	6,87	4,30	A1
12,637	10,67	6,43	3,73	A1	12,27	6,85	4,29	A1
16,849	10,66	6,43	3,73	A1	12,26	6,84	4,29	A1
21,062	10,66	6,43	3,73	A1	12,26	6,84	4,29	A1
25,274	10,67	6,43	3,73	A1	12,27	6,85	4,29	A1
29,486	10,67	6,43	3,73	A1	12,27	6,85	4,29	A1
33,699	10,66	6,43	3,73	A1	12,26	6,84	4,29	A1
37,911	10,66	6,43	3,73	A1	12,26	6,84	4,29	A1
42,123	10,67	6,43	3,73	A1	12,27	6,85	4,29	A1
46,336	10,67	6,43	3,73	A1	12,27	6,85	4,29	A1
50,548	10,66	6,43	3,73	A1	12,26	6,84	4,29	A1
54,761	10,67	6,43	3,73	A1	12,27	6,85	4,29	A1
58,973	10,66	6,43	3,73	A1	12,26	6,84	4,29	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

Überprüfung der Kraftübertragungsflächen der Sparrenfüße

x	N17	V-z17			N18	V-z18		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-15,98	0,37			-17,55	0,92		
4,212	-15,98	0,37			-17,55	0,92		
8,425	-15,98	0,37			-17,55	0,92		
12,637	-16,01	0,36			-17,58	0,91		
16,849	-16,03	0,35			-17,60	0,90		
21,062	-16,03	0,35			-17,60	0,90		
25,274	-16,01	0,36			-17,58	0,91		
29,486	-16,01	0,36			-17,58	0,91		
33,699	-16,03	0,35			-17,60	0,90		
37,911	-16,03	0,35			-17,60	0,90		
42,123	-16,01	0,36			-17,58	0,91		
46,336	-16,01	0,36			-17,58	0,91		
50,548	-16,03	0,35			-17,60	0,90		
54,761	-16,01	0,36			-17,58	0,91		
58,973	-16,03	0,35			-17,60	0,90		

x	V17	H17	V17* μ	Fläche	V18	H18	V18* μ	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	13,45	8,63	4,71	A1	15,06	9,05	5,27	A1
4,212	13,45	8,63	4,71	A1	15,06	9,05	5,27	A1
8,425	13,45	8,63	4,71	A1	15,06	9,05	5,27	A1
12,637	13,47	8,65	4,72	A1	15,08	9,08	5,28	A1
16,849	13,49	8,67	4,72	A1	15,09	9,10	5,28	A1
21,062	13,49	8,67	4,72	A1	15,09	9,10	5,28	A1
25,274	13,47	8,65	4,72	A1	15,08	9,08	5,28	A1
29,486	13,47	8,65	4,72	A1	15,08	9,08	5,28	A1
33,699	13,49	8,67	4,72	A1	15,09	9,10	5,28	A1
37,911	13,49	8,67	4,72	A1	15,09	9,10	5,28	A1
42,123	13,47	8,65	4,72	A1	15,08	9,08	5,28	A1
46,336	13,47	8,65	4,72	A1	15,08	9,08	5,28	A1
50,548	13,49	8,67	4,72	A1	15,09	9,10	5,28	A1
54,761	13,47	8,65	4,72	A1	15,08	9,08	5,28	A1
58,973	13,49	8,67	4,72	A1	15,09	9,10	5,28	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

x	N19	V-z19			N20	V-z20		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-13,43	2,38			-15,01	2,92		
4,212	-13,43	2,38			-15,01	2,92		
8,425	-13,43	2,38			-15,01	2,92		
12,637	-11,40	2,41			-12,72	2,96		
16,849	-11,24	2,43			-12,64	2,98		
21,062	-11,24	2,43			-12,64	2,98		
25,274	-11,40	2,41			-12,72	2,96		
29,486	-11,40	2,41			-12,72	2,96		
33,699	-11,24	2,43			-12,64	2,98		
37,911	-11,24	2,43			-12,64	2,98		
42,123	-11,40	2,41			-12,72	2,96		
46,336	-11,40	2,41			-12,72	2,96		
50,548	-11,24	2,43			-12,64	2,98		
54,761	-11,40	2,41			-12,72	2,96		
58,973	-11,24	2,43			-12,64	2,98		

x	V19	H19	V18*/ μ	Fläche	V20	H20	V20*/ μ	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	12,46	5,54	4,36	A1	14,08	5,97	4,93	A1
4,212	12,46	5,54	4,36	A1	14,08	5,97	4,93	A1
8,425	12,46	5,54	4,36	A1	14,08	5,97	4,93	A1
12,637	10,80	4,38	3,78	A1	12,20	4,66	4,27	A1
16,849	10,68	4,27	3,74	A1	12,15	4,60	4,25	A1
21,062	10,68	4,27	3,74	A1	12,15	4,60	4,25	A1
25,274	10,80	4,38	3,78	A1	12,20	4,66	4,27	A1
29,486	10,80	4,38	3,78	A1	12,20	4,66	4,27	A1
33,699	10,68	4,27	3,74	A1	12,15	4,60	4,25	A1
37,911	10,68	4,27	3,74	A1	12,15	4,60	4,25	A1
42,123	10,80	4,38	3,78	A1	12,20	4,66	4,27	A1
46,336	10,80	4,38	3,78	A1	12,20	4,66	4,27	A1
50,548	10,68	4,27	3,74	A1	12,15	4,60	4,25	A1
54,761	10,80	4,38	3,78	A1	12,20	4,66	4,27	A1
58,973	10,68	4,27	3,74	A1	12,15	4,60	4,25	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

x	N21	V-z21			N22	V-z22		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-10,96	0,05			-10,51	-0,04		
4,212	-10,96	0,05			-10,51	-0,04		
8,425	-10,96	0,05			-10,51	-0,04		
12,637	-10,95	0,05			-10,50	-0,04		
16,849	-10,95	0,05			-10,50	-0,04		
21,062	-10,95	0,05			-10,50	-0,04		
25,274	-10,95	0,05			-10,50	-0,04		
29,486	-10,95	0,05			-10,50	-0,04		
33,699	-10,95	0,05			-10,50	-0,04		
37,911	-10,95	0,05			-10,50	-0,04		
42,123	-10,95	0,05			-10,50	-0,04		
46,336	-10,95	0,05			-10,50	-0,04		
50,548	-10,95	0,05			-10,50	-0,04		
54,761	-10,95	0,05			-10,50	-0,04		
58,973	-10,95	0,05			-10,50	-0,04		

x	N23	V-z23			N24	V-z24		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-13,59	1,02			-13,15	0,94		
4,212	-13,59	1,02			-13,15	0,94		
8,425	-13,59	1,02			-13,15	0,94		
12,637	-13,57	1,03			-13,13	0,95		
16,849	-13,56	1,03			-13,12	0,95		
21,062	-13,56	1,03			-13,12	0,95		
25,274	-13,57	1,03			-13,13	0,95		
29,486	-13,57	1,03			-13,13	0,95		
33,699	-13,56	1,03			-13,12	0,95		
37,911	-13,56	1,03			-13,12	0,95		
42,123	-13,57	1,03			-13,13	0,95		
46,336	-13,57	1,03			-13,13	0,95		
50,548	-13,56	1,03			-13,12	0,95		
54,761	-13,57	1,03			-13,13	0,95		
58,973	-13,56	1,03			-13,12	0,95		

Überprüfung der Kraftübertragungsflächen der Sparrenfüße

x	V23	H23	V23* μ	Fläche	V24	H24	V24* μ	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	11,84	6,75	4,14	A1	11,43	6,57	4,00	A1
4,212	11,84	6,75	4,14	A1	11,43	6,57	4,00	A1
8,425	11,84	6,75	4,14	A1	11,43	6,57	4,00	A1
12,637	11,83	6,73	4,14	A1	11,42	6,55	4,00	A1
16,849	11,82	6,73	4,14	A1	11,41	6,55	3,99	A1
21,062	11,82	6,73	4,14	A1	11,41	6,55	3,99	A1
25,274	11,83	6,73	4,14	A1	11,42	6,55	4,00	A1
29,486	11,83	6,73	4,14	A1	11,42	6,55	4,00	A1
33,699	11,82	6,73	4,14	A1	11,41	6,55	3,99	A1
37,911	11,82	6,73	4,14	A1	11,41	6,55	3,99	A1
42,123	11,83	6,73	4,14	A1	11,42	6,55	4,00	A1
46,336	11,83	6,73	4,14	A1	11,42	6,55	4,00	A1
50,548	11,82	6,73	4,14	A1	11,41	6,55	3,99	A1
54,761	11,83	6,73	4,14	A1	11,42	6,55	4,00	A1
58,973	11,82	6,73	4,14	A1	11,41	6,55	3,99	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

x	N25	V-z25			N26	V-z26		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-16,84	-0,32			-16,39	-0,39		
4,212	-16,84	-0,32			-16,39	-0,39		
8,425	-16,84	-0,32			-16,39	-0,39		
12,637	-16,83	-0,32			-16,38	-0,40		
16,849	-16,87	-0,34			-16,42	-0,41		
21,062	-16,87	-0,34			-16,42	-0,41		
25,274	-16,83	-0,32			-16,38	-0,40		
29,486	-16,83	-0,32			-16,38	-0,40		
33,699	-16,87	-0,34			-16,42	-0,41		
37,911	-16,87	-0,34			-16,42	-0,41		
42,123	-16,83	-0,32			-16,38	-0,40		
46,336	-16,83	-0,32			-16,38	-0,40		
50,548	-16,87	-0,34			-16,42	-0,41		
54,761	-16,83	-0,32			-16,38	-0,40		
58,973	-16,87	-0,34			-16,42	-0,41		

x	V25	H25	V25* μ	Fläche	V26	H26	V26* μ	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	13,78	9,68	4,82	A2	13,37	9,49	4,68	A2
4,212	13,78	9,68	4,82	A2	13,37	9,49	4,68	A2
8,425	13,78	9,68	4,82	A2	13,37	9,49	4,68	A2
12,637	13,77	9,68	4,82	A2	13,36	9,49	4,67	A2
16,849	13,80	9,72	4,83	A2	13,38	9,52	4,68	A2
21,062	13,80	9,72	4,83	A2	13,38	9,52	4,68	A2
25,274	13,77	9,68	4,82	A2	13,36	9,49	4,67	A2
29,486	13,77	9,68	4,82	A2	13,36	9,49	4,67	A2
33,699	13,80	9,72	4,83	A2	13,38	9,52	4,68	A2
37,911	13,80	9,72	4,83	A2	13,38	9,52	4,68	A2
42,123	13,77	9,68	4,82	A2	13,36	9,49	4,67	A2
46,336	13,77	9,68	4,82	A2	13,36	9,49	4,67	A2
50,548	13,80	9,72	4,83	A2	13,38	9,52	4,68	A2
54,761	13,77	9,68	4,82	A2	13,36	9,49	4,67	A2
58,973	13,80	9,72	4,83	A2	13,38	9,52	4,68	A2
A1				0,00				0,00
A2				15,00				15,00

x	N27	V-z27			N28	V-z28		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-19,45	0,61			-19,00	0,53		
4,212	-19,45	0,61			-19,00	0,53		
8,425	-19,45	0,61			-19,00	0,53		
12,637	-19,45	0,60			-18,99	0,53		
16,849	-19,48	0,59			-19,03	0,51		
21,062	-19,48	0,59			-19,03	0,51		
25,274	-19,45	0,60			-18,99	0,53		
29,486	-19,45	0,60			-18,99	0,53		
33,699	-19,48	0,59			-19,03	0,51		
37,911	-19,48	0,59			-19,03	0,51		
42,123	-19,45	0,60			-18,99	0,53		
46,336	-19,45	0,60			-18,99	0,53		
50,548	-19,48	0,59			-19,03	0,51		
54,761	-19,45	0,60			-18,99	0,53		
58,973	-19,48	0,59			-19,03	0,51		

x	N27	V-z27			N28	V-z28		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-19,45	0,61			-19,00	0,53		
4,212	-19,45	0,61			-19,00	0,53		
8,425	-19,45	0,61			-19,00	0,53		
12,637	-19,45	0,60			-18,99	0,53		
16,849	-19,48	0,59			-19,03	0,51		
21,062	-19,48	0,59			-19,03	0,51		
25,274	-19,45	0,60			-18,99	0,53		
29,486	-19,45	0,60			-18,99	0,53		
33,699	-19,48	0,59			-19,03	0,51		
37,911	-19,48	0,59			-19,03	0,51		
42,123	-19,45	0,60			-18,99	0,53		
46,336	-19,45	0,60			-18,99	0,53		
50,548	-19,48	0,59			-19,03	0,51		
54,761	-19,45	0,60			-18,99	0,53		
58,973	-19,48	0,59			-19,03	0,51		

x	V27	H27	V27* _{LL}	Fläche	V28	H28	V28* _{LL}	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	16,47	10,37	5,76	A1	16,05	10,19	5,62	A1
4,212	16,47	10,37	5,76	A1	16,05	10,19	5,62	A1
8,425	16,47	10,37	5,76	A1	16,05	10,19	5,62	A1
12,637	16,46	10,38	5,76	A1	16,04	10,18	5,61	A1
16,849	16,48	10,40	5,77	A1	16,06	10,22	5,62	A1
21,062	16,48	10,40	5,77	A1	16,06	10,22	5,62	A1
25,274	16,46	10,38	5,76	A1	16,04	10,18	5,61	A1
29,486	16,46	10,38	5,76	A1	16,04	10,18	5,61	A1
33,699	16,48	10,40	5,77	A1	16,06	10,22	5,62	A1
37,911	16,48	10,40	5,77	A1	16,06	10,22	5,62	A1
42,123	16,46	10,38	5,76	A1	16,04	10,18	5,61	A1
46,336	16,46	10,38	5,76	A1	16,04	10,18	5,61	A1
50,548	16,48	10,40	5,77	A1	16,06	10,22	5,62	A1
54,761	16,46	10,38	5,76	A1	16,04	10,18	5,61	A1
58,973	16,48	10,40	5,77	A1	16,06	10,22	5,62	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

Überprüfung der Kraftübertragungsflächen der Sparrenfüße

x	N29	V-z29			N30	V-z30		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-12,62	3,03			-12,16	2,96		
4,212	-12,62	3,03			-12,16	2,96		
8,425	-12,62	3,03			-12,16	2,96		
12,637	-7,63	3,08			-7,40	3,00		
16,849	-8,24	3,10			-7,96	3,02		
21,062	-8,24	3,10			-7,96	3,02		
25,274	-7,63	3,08			-7,40	3,00		
29,486	-7,63	3,08			-7,40	3,00		
33,699	-8,24	3,10			-7,96	3,02		
37,911	-8,24	3,10			-7,96	3,02		
42,123	-7,63	3,08			-7,40	3,00		
46,336	-7,63	3,08			-7,40	3,00		
50,548	-8,24	3,10			-7,96	3,02		
54,761	-7,63	3,08			-7,40	3,00		
58,973	-8,24	3,10			-7,96	3,02		

x	V29	H29	V29* μ	Fläche	V30	H30	V30* μ	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	12,16	4,55	4,25	A1	11,74	4,35	4,11	A1
4,212	12,16	4,55	4,25	A1	11,74	4,35	4,11	A1
8,425	12,16	4,55	4,25	A1	11,74	4,35	4,11	A1
12,637	8,05	1,71	2,82	A1	7,81	1,65	2,73	A1
16,849	8,56	2,04	3,00	A1	8,29	1,95	2,90	A1
21,062	8,56	2,04	3,00	A1	8,29	1,95	2,90	A1
25,274	8,05	1,71	2,82	A1	7,81	1,65	2,73	A1
29,486	8,05	1,71	2,82	A1	7,81	1,65	2,73	A1
33,699	8,56	2,04	3,00	A1	8,29	1,95	2,90	A1
37,911	8,56	2,04	3,00	A1	8,29	1,95	2,90	A1
42,123	8,05	1,71	2,82	A1	7,81	1,65	2,73	A1
46,336	8,05	1,71	2,82	A1	7,81	1,65	2,73	A1
50,548	8,56	2,04	3,00	A1	8,29	1,95	2,90	A1
54,761	8,05	1,71	2,82	A1	7,81	1,65	2,73	A1
58,973	8,56	2,04	3,00	A1	8,29	1,95	2,90	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

x	N31	V-z31			N32	V-z32		
[m]	[kN]	[kN]			[kN]	[kN]		
0,000	-15,24	3,94			-14,79	3,87		
4,212	-15,24	3,94			-14,79	3,87		
8,425	-15,24	3,94			-14,79	3,87		
12,637	-9,83	3,99			-9,61	3,92		
16,849	-10,56	4,01			-10,28	3,94		
21,062	-10,56	4,01			-10,28	3,94		
25,274	-9,83	3,99			-9,61	3,92		
29,486	-9,83	3,99			-9,61	3,92		
33,699	-10,56	4,01			-10,28	3,94		
37,911	-10,56	4,01			-10,28	3,94		
42,123	-9,83	3,99			-9,61	3,92		
46,336	-9,83	3,99			-9,61	3,92		
50,548	-10,56	4,01			-10,28	3,94		
54,761	-9,83	3,99			-9,61	3,92		
58,973	-10,56	4,01			-10,28	3,94		

x	V31	H31	V31*/ℓ	Fläche	V32	H32	V32*/ℓ	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	14,84	5,26	7,19	A1	14,43	5,06	5,05	A1
4,212	14,84	5,26	5,19	A1	14,43	5,06	5,05	A1
8,425	14,84	5,26	5,19	A1	14,43	5,06	5,05	A1
12,637	10,38	2,19	3,63	A1	10,16	2,12	3,56	A1
16,849	11,00	2,58	3,85	A1	10,73	2,48	3,75	A1
21,062	11,00	2,58	3,85	A1	10,73	2,48	3,75	A1
25,274	10,38	2,19	3,63	A1	10,16	2,12	3,56	A1
29,486	10,38	2,19	3,63	A1	10,16	2,12	3,56	A1
33,699	11,00	2,58	3,85	A1	10,73	2,48	3,75	A1
37,911	11,00	2,58	3,85	A1	10,73	2,48	3,75	A1
42,123	10,38	2,19	3,63	A1	10,16	2,12	3,56	A1
46,336	10,38	2,19	3,63	A1	10,16	2,12	3,56	A1
50,548	11,00	2,58	3,85	A1	10,73	2,48	3,75	A1
54,761	10,38	2,19	3,63	A1	10,16	2,12	3,56	A1
58,973	11,00	2,58	3,85	A1	10,73	2,48	3,75	A1
A1				15,00				15,00
A2				0,00				0,00

x	N33	V-z33		
[m]	[kN]	[kN]		
0,000	-13,76	1,32		
4,212	-13,76	1,32		
8,425	-13,76	1,32		
12,637	-13,77	1,33		
16,849	-13,76	1,33		
21,062	-13,76	1,33		
25,274	-13,77	1,33		
29,486	-13,77	1,33		
33,699	-13,76	1,33		
37,911	-13,76	1,33		
42,123	-13,77	1,33		
46,336	-13,77	1,33		
50,548	-13,76	1,33		
54,761	-13,77	1,33		
58,973	-13,76	1,33		

x	V33	H33	V33*/ℓ	Fläche
[m]	[kN]	[kN]	[kN]	
0,000	12,15	6,60	4,25	A1
4,212	12,15	6,60	4,25	A1
8,425	12,15	6,60	4,25	A1
12,637	12,16	6,60	4,26	A1
16,849	12,15	6,59	4,25	A1
21,062	12,15	6,59	4,25	A1
25,274	12,16	6,60	4,26	A1
29,486	12,16	6,60	4,26	A1
33,699	12,15	6,59	4,25	A1
37,911	12,15	6,59	4,25	A1
42,123	12,16	6,60	4,26	A1
46,336	12,16	6,60	4,26	A1
50,548	12,15	6,59	4,25	A1
54,761	12,16	6,60	4,26	A1
58,973	12,15	6,59	4,25	A1
A1				15,00
A2				0,00

Überprüfung der Kraftübertragungsflächen der Sparrenfüße

Die Summe aller Flächen für A2a ist 345 und jene der Fläche A2b ist 45.

15 Modell M0

In diesem Teil des Anhangs werden die Plausibilitätskontrollen der statischen Berechnung angeführt. Dies wurde anhand des Modells M0 dokumentiert.

a Die Summe aller Kräfte für das globale System ist null

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
LG1 - ULS-Schnee Volllast			
Summe Belastung in Richtung X	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	541,97	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	541,97	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG2 - ULS-Schnee Halblast IH			
Summe Belastung in Richtung X	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	526,17	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	526,17	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG3 - ULS-Wind Osten (Westen)/Innendruck			
Summe Belastung in Richtung X	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	399,08	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	399,08	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG4 - ULS-Wind Osten (Westen)/Innensog			
Summe Belastung in Richtung X	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	477,91	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	477,91	kN	Abweichung: 0.00 %

Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG5 - ULS-Wind Süden/Innendruck			
Summe Belastung in Richtung X	-128,43	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	-128,43	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	503,23	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	503,23	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart I. Ordnung Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)			
LG6 - ULS-Wind Süden/Innensog			
Summe Belastung in Richtung X	-128,43	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	-128,43	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	582,06	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	582,06	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart I. Ordnung Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)			
LG7 - ULS-Wind Norden/Innendruck			
Summe Belastung in Richtung X	128,43	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	128,43	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	517,50	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	517,50	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart I. Ordnung Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)			
LG8 - ULS-Wind Norden/Innensog			
Summe Belastung in Richtung X	128,43	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	128,43	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	596,33	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	596,33	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart I. Ordnung Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)			
LG9 - ULS-Schnee Vollast/Wind Osten (Westen)/Innendruck			
Summe Belastung in Richtung X	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	475,20	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	475,20	kN	Abweichung: 0.00 %

Modell M0

Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG10 - ULS-Schnee Volllast/Wind Osten (Westen)/Innensog			
Summe Belastung in Richtung X	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	522,49	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	522,49	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG11 - ULS-Schnee Volllast/Wind Süden/ Innendruck			
Summe Belastung in Richtung X	-77,06	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	-77,06	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	537,69	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	537,69	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG12 - ULS-Schnee Volllast/Wind Süden/ Innensog			
Summe Belastung in Richtung X	-77,06	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	-77,06	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	584,99	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	584,99	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG13 - ULS-Schnee Volllast/Wind Norden/ Innendruck			
Summe Belastung in Richtung X	77,06	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	77,06	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	546,25	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	546,25	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG14 - ULS-Schnee Volllast/Wind Norden/ Innensog			
Summe Belastung in Richtung X	77,06	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	77,06	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	

Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	593,55	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	593,55	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG15 - ULS-Schnee Halblast/Wind Osten (Westen)/Innendruck			
Summe Belastung in Richtung X	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	459,39	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	459,39	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG16 - ULS-Schnee Halblast/Wind Osten (Westen)/Innensog			
Summe Belastung in Richtung X	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	506,69	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	506,69	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG17 - ULS-Schnee Halblast/Wind Süden/Innendruck			
Summe Belastung in Richtung X	-77,06	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	-77,06	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	521,89	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	521,89	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
Anzahl der Iterationen	1		
LG18 - ULS-Schnee Halblast/Wind Süden/Innensog			
Summe Belastung in Richtung X	-77,06	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	-77,06	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	569,18	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	569,18	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)

Modell M0

LG19 - ULS-Schnee Halblast/Wind Norden/ Innendruck			
Summe Belastung in Richtung X	77,06	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	77,06	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	530,45	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	530,45	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG20 - ULS-Schnee Halblast/Wind Norden/ Innensog			
Summe Belastung in Richtung X	77,06	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	77,06	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	577,74	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	577,74	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG21 - ULS-Wind Osten (Westen)/ Innendruck/Schnee Volllast			
Summe Belastung in Richtung X	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	414,88	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	414,88	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG22 - ULS-Wind Osten (Westen)/ Innendruck/Schnee Halblast			
Summe Belastung in Richtung X	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	406,98	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	406,98	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG23 - ULS-Wind Osten (Westen)/Innensog/ Schnee Volllast			
Summe Belastung in Richtung X	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	

Summe Belastung in Richtung Z	493,71	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	493,71	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG24 - ULS-Wind Osten (Westen)/Innensog/Schnee Halblast			
Summe Belastung in Richtung X	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	485,81	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	485,81	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG25 - ULS-Wind Süden/Innendruck/Schnee Volllast			
Summe Belastung in Richtung X	-128,43	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	-128,43	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	519,03	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	519,03	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG26 - ULS-Wind Süden/Innendruck/Schnee Halblast			
Summe Belastung in Richtung X	-128,43	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	-128,43	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	511,13	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	511,13	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG27 - ULS-Wind Süden/Innensog/Schnee Volllast			
Summe Belastung in Richtung X	-128,43	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	-128,43	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	597,86	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	597,86	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG28 - ULS-Wind Süden/Innensog/Schnee Halblast			
Summe Belastung in Richtung X	-128,43	kN	

Modell M0

Summe Lagerkräfte in Richtung X	-128,43	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	589,96	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	589,96	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG29 - ULS-Wind Norden/Innendruck/Schnee Volllast			
Summe Belastung in Richtung X	128,43	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	128,43	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	533,30	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	533,30	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG30 - ULS-Wind Norden/Innendruck/Schnee Halblast			
Summe Belastung in Richtung X	128,43	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	128,43	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	525,40	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	525,40	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG31 - ULS-Wind Norden/Innensog/Schnee Volllast			
Summe Belastung in Richtung X	128,43	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	128,43	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	612,13	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	612,13	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)
LG32 - ULS-Wind Norden/Innensog/Schnee Halblast			
Summe Belastung in Richtung X	128,43	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	128,43	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	604,23	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	604,23	kN	Abweichung: 0.00 %
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung)

Einige Lastfälle wurden überschlagsmäßig mit der Hand kontrolliert:

Summe aller V		Lastgruppe 1							
Eigengewicht Tragwerk		Querschnittswerte							
Hauptgespärre und Leergespärre	b	h	A	l	Last	Q	Anzahl	Qges	
	[m]	[m]	[m ²]	[m]	[kN/m ³] bzw. [kN/m ²]	[kN]			
Sparren (innenhofseitig und kampseitig)	0,18	0,15	0,027	19,71	6,00	3,19	15	47,90	
Bundtram	0,23	0,32	0,074	10,65	6,00	4,70	15	70,55	
Kehlbalken	0,14	0,18	0,025	6,01	6,00	0,91	15	13,62	
Hahnenbalken	0,16	0,17	0,027	2,90	6,00	0,47	15	7,09	
Stuhlsäule	0,19	0,33	0,063	3,87	6,00	1,46	6	8,74	
Druckriegel	0,19	0,23	0,044	5,69	6,00	1,49	3	4,48	
Kopfband	0,17	0,20	0,034	1,39	6,00	0,28	6	1,70	
Stuhlsäulenknecht	0,18	0,21	0,038	1,32	6,00	0,30	6	1,79	
Brustriegel	0,16	0,21	0,034	11,70	6,00	2,36	2	4,72	
Rähm	0,15	0,19	0,029	11,70	6,00	2,00	2	4,00	
Windrispe	0,18	0,14	0,025	41,80	6,00	6,32	1	6,32	
								170,90	
Dachlattung und Dachdeckung			0,78	19,71	0,9		15	207,59	
Schnee				5,65	0,25		15	21,18	
Gesamtlast mit Sicherheitsfaktor							Summe	542,73	

Summe aller V		Lastfallgruppe 4							
Eigengewicht Tragwerk		Querschnittswerte							
Hauptgespärre und Leergespärre	b	h	A	l	Last	Q	Anzahl	Qges	
	[m]	[m]	[m ²]	[m]	[kN/m ³] bzw. [kN/m ²]	[kN]		[kN]	
Sparren (innenhofseitig und kampseitig)	0,18	0,15	0,027	19,71	6,00	3,19	15	47,90	
Bundtram	0,23	0,32	0,074	10,65	6,00	4,70	15	70,55	
Kehlbalken	0,14	0,18	0,025	6,01	6,00	0,91	15	13,62	
Hahnenbalken	0,16	0,17	0,027	2,90	6,00	0,47	15	7,09	
Stuhlsäule	0,19	0,33	0,063	3,87	6,00	1,46	6	8,74	
Druckriegel	0,19	0,23	0,044	5,69	6,00	1,49	3	4,48	
Kopfband	0,17	0,20	0,034	1,39	6,00	0,28	6	1,70	
Stuhlsäulenknecht	0,18	0,21	0,038	1,32	6,00	0,30	6	1,79	
Brustriegel	0,16	0,21	0,034	11,70	6,00	2,36	2	4,72	
Rähm	0,15	0,19	0,029	11,70	6,00	2,00	2	4,00	
Windrispe	0,18	0,14	0,025	41,80	6,00	6,32	1	6,32	
								170,90	
Dachlattung und Dachdeckung			0,78	19,71	0,9		15	207,59	
Wind				10,10	9,61	0,14	15	21,65	
Gesamtlast mit Sicherheitsfaktor							Summe	478,49	

Modell M0

Summe aller V		Lastfallgruppe 8							
Eigengewicht Tragwerk		Querschnittswerte							
Hauptgespärre und Leergespärre	b [m]	h [m]	A [m ²]	l [m]	Last [kN/m ³] bzw. [kN/m ²]	Q [kN]	Anzahl	Qges [kN]	
Sparren (innenhofseitig und kampseitig)	0,18	0,15	0,027	19,71	6,00	3,19	15	47,90	
Bundtram	0,23	0,32	0,074	10,65	6,00	4,70	15	70,55	
Kehlbalken	0,14	0,18	0,025	6,01	6,00	0,91	15	13,62	
Hahnenbalken	0,16	0,17	0,027	2,90	6,00	0,47	15	7,09	
Stuhlsäule	0,19	0,33	0,063	3,87	6,00	1,46	6	8,74	
Druckriegel	0,19	0,23	0,044	5,69	6,00	1,49	3	4,48	
Kopfband	0,17	0,20	0,034	1,39	6,00	0,28	6	1,70	
Stuhlsäulenknecht	0,18	0,21	0,038	1,32	6,00	0,30	6	1,79	
Brustriegel	0,16	0,21	0,034	11,70	6,00	2,36	2	4,72	
Rähm	0,15	0,19	0,029	11,70	6,00	2,00	2	4,00	
Windrispe	0,18	0,14	0,025	41,80	6,00	6,32	1	6,32	
								170,90	
Dachlattung und Dachdeckung			0,78	19,71	0,9		15	207,59	
Wind				10,10	0	0,68	15	57,61	
Gesamtlast mit Sicherheitsfaktor							Summe	597,38	
Summe aller H									
Wind				10,10	0	0,68	15	85,41	
Gesamtlast mit Sicherheitsfaktor								128,11	
Summe aller V		Lastfallgruppe 12							
Eigengewicht Tragwerk		Querschnittswerte							
Hauptgespärre und Leergespärre	b [m]	h [m]	A [m ²]	l [m]	Last [kN/m ³] bzw. [kN/m ²]	Q [kN]	Anzahl	Qges [kN]	
Sparren (innenhofseitig und kampseitig)	0,18	0,15	0,027	19,71	6,00	3,19	15	47,90	
Bundtram	0,23	0,32	0,074	10,65	6,00	4,70	15	70,55	
Kehlbalken	0,14	0,18	0,025	6,01	6,00	0,91	15	13,62	
Hahnenbalken	0,16	0,17	0,027	2,90	6,00	0,47	15	7,09	
Stuhlsäule	0,19	0,33	0,063	3,87	6,00	1,46	6	8,74	
Druckriegel	0,19	0,23	0,044	5,69	6,00	1,49	3	4,48	
Kopfband	0,17	0,20	0,034	1,39	6,00	0,28	6	1,70	
Stuhlsäulenknecht	0,18	0,21	0,038	1,32	6,00	0,30	6	1,79	
Brustriegel	0,16	0,21	0,034	11,70	6,00	2,36	2	4,72	
Rähm	0,15	0,19	0,029	11,70	6,00	2,00	2	4,00	
Windrispe	0,18	0,14	0,025	41,80	6,00	6,32	1	6,32	
								170,90	
Dachlattung und Dachdeckung			0,78	19,71	0,9		15	207,59	

Summe aller V		Lastfallgruppe 31							
Eigengewicht Tragwerk		Querschnittswerte							
Hauptgespärre und Leergespärre	b [m]	h [m]	A [m ²]	l [m]	Last [kN/m ³] bzw. [kN/m ²]	Q [kN]	Anzahl	Qges [kN]	
Sparren (innenhofseitig und kampseitig)	0,18	0,15	0,027	19,71	6,00	3,19	15	47,90	
Bundtram	0,23	0,32	0,074	10,65	6,00	4,70	15	70,55	
Kehlbalken	0,14	0,18	0,025	6,01	6,00	0,91	15	13,62	
Hahnenbalken	0,16	0,17	0,027	2,90	6,00	0,47	15	7,09	
Stuhlsäule	0,19	0,33	0,063	3,87	6,00	1,46	6	8,74	
Druckriegel	0,19	0,23	0,044	5,69	6,00	1,49	3	4,48	
Kopfband	0,17	0,20	0,034	1,39	6,00	0,28	6	1,70	
Stuhlsäulenknecht	0,18	0,21	0,038	1,32	6,00	0,30	6	1,79	
Brustriegel	0,16	0,21	0,034	11,70	6,00	2,36	2	4,72	
Rähm	0,15	0,19	0,029	11,70	6,00	2,00	2	4,00	
Windrispe	0,18	0,14	0,025	41,80	6,00	6,32	1	6,32	
								170,90	
Dachlattung und Dachdeckung			0,78	19,71	0,9		15	207,59	
Schnee				5,65	0,25		15	21,18	
Wind				10,1	0,68		15	57,61	
Gesamtlast mit Sicherheitsfaktor							Summe	613,26	
Summe aller H									
Wind				10,10	0,68		15	85,41	
Gesamtlast mit Sicherheitsfaktor								128,11	

Modell M0

Die Summe der Momente um die Y-Achse:

Summe der Momente um Y-Achse (IH) - LG1

Eigengewicht HG+LG	Querschnittswerte				Q [kN]	Anzahl	Qges	Abstand	M [kNm]
	b [m]	h [m]	A [mm ²]	I [m]					
Sparren (innenhofseitig)	0,18	0,15	0,027	10,1	1,64	15	24,54	2,74	67,25
Sparren (kampseitig)	0,18	0,15	0,027	9,614	1,56	15	23,36	7,89	184,33
Bundtram	0,23	0,32	0,0736	10,65	4,70	15	70,55	5,115	360,84
Kehlbalken	0,14	0,18	0,0252	6,007	0,91	15	13,62	5,28	71,93
Hahnenbalken	0,16	0,17	0,0272	2,895	0,47	15	7,09	5,42	38,41
Stuhlsäule (innenhofseitig)	0,19	0,33	0,0627	3,965	1,49	3	4,47	1,32	5,91
Stuhlsäule (kampseitig)	0,19	0,33	0,0627	3,774	1,42	3	4,26	9,04	38,50
Druckriegel	0,19	0,23	0,0437	5,694	1,49	3	4,48	5,28	23,65
Kopfband (innenhofseitig)	0,17	0,20	0,034	0,77	0,16	3	0,47	2,58	1,22
Kopfband (kampseitig)	0,17	0,20	0,034	0,81	0,17	3	0,50	7,97	3,95
Stuhlsäulenknecht	0,18	0,21	0,0378	1,315	0,30	6	1,79	5,124	9,17
Brustriegel (innenhofseitig)	0,16	0,21	0,0336	11,7	2,36	1	2,36	1,406	3,32
Brustriegel (kampseitig)	0,16	0,21	0,0336	11,7	2,36	1	2,36	8,734	20,60
Rähm (innenhofseitig)	0,15	0,19	0,0285	11,7	2,00	1	2,00	2,637	5,28
Rähm (kampseitig)	0,15	0,19	0,0285	11,7	2,00	1	2,00	8,122	16,25
Windrispe	0,18	0,14	0,0252	41,8	6,32	1	6,32	5,38	34,00
spez. Gewicht	6,0	[kN/m ³]					170,17		884,60
Dachlattung	0,7	[kN/m]		19,71		15	207,00	5,124	1060,65
Schnee	0,25	[kN/m]		5,65		15	21,18	2,824	59,81
Gesamtlast mit Sicherheitsfaktor									2715,81
Auflagerlast (Rstab)	16,24								
	15,10								
	27,10								
	15,10								
	16,24								
	16,24								
	15,10								
	27,01								
	15,10								
	16,24								
	16,24								
	15,10								
	27,01								
	15,10								
	16,24								
Summe	269,16						10,23		2753,51

Summe der Momente um Y-Achse (IH) - LG4

Eigengewicht HG+LG	Querschnittswerte				Q [kN]	Anzahl	Qges	Abstand	M [kNm]		
	b [m]	h [m]	A [mm ²]	I [m]							
Sparren (innenhofseitig)	0,18	0,15	0,027	10,1	1,64	15	24,54	2,74	67,25		
Sparren (kampseitig)	0,18	0,15	0,027	9,614	1,56	15	23,36	7,89	184,33		
Bundtram	0,23	0,32	0,0736	10,65	4,70	15	70,55	5,115	360,84		
Kehlbalken	0,14	0,18	0,0252	6,007	0,91	15	13,62	5,28	71,93		
Hahnenbalken	0,16	0,17	0,0272	2,895	0,47	15	7,09	5,42	38,41		
Stuhlsäule (innenhofseitig)	0,19	0,33	0,0627	3,9647	1,49	3	4,47	1,32	5,91		
Stuhlsäule (kampseitig)	0,19	0,33	0,0627	3,7737	1,42	3	4,26	9,04	38,50		
Druckriegel	0,19	0,23	0,0437	5,694	1,49	3	4,48	5,28	23,65		
Kopfband (innenhofseitig)	0,17	0,20	0,034	0,77	0,16	3	0,47	2,58	1,22		
Kopfband (kampseitig)	0,17	0,20	0,034	0,81	0,17	3	0,50	7,97	3,95		
Stuhlsäulenknecht	0,18	0,21	0,0378	1,315	0,30	6	1,79	5,124	9,17		
Brustriegel (innenhofseitig)	0,16	0,21	0,0336	11,7	2,36	1	2,36	1,406	3,32		
Brustriegel (kampseitig)	0,16	0,21	0,0336	11,7	2,36	1	2,36	8,734	20,60		
Rähm (innenhofseitig)	0,15	0,19	0,0285	11,7	2,00	1	2,00	2,637	5,28		
Rähm (kampseitig)	0,15	0,19	0,0285	11,7	2,00	1	2,00	8,122	16,25		
Windrispe	0,18	0,14	0,0252	41,8	6,32	1	6,32	5,38	34,00		
spez. Gewicht	6,0		[kN/m ³]						884,60		
Dachlattung	0,7		[kN/m]	19,714		15	207,00	5,124	1060,65		
Wind	0,14		[kN/m]	10,10	9,61	15	21,21	20,19	5,01	0,18	109,90
Gesamtlast mit Sicherheitsfaktor										2461,24	
Auflagerlast (Rstab)			14,58								
			13,74								
			24,86								
			13,74								
			14,58								
			14,58								
			13,74								
			24,86								
			13,74								
			14,58								
			14,58								
			13,74								
			24,86								
			13,74								
			14,58								
Summe			244,50					10,23		2501,24	

(b) Vergleich der Sparren mit einem Dreifeldträger beziehungsweise Einfeldträger

Da der Aufwand alle Sparren in allen Lastgruppen (LG) zu vergleichen zu groß ist, beschränkt sich der Vergleich auf den Sparren der Innenhofseite des Leergespärres LG 2.2 und des HG 2.0. Folgende LG wurden gewählt:

LG	Lastfallgruppe-Bezeichnung	Lastfälle in Lastfallgruppe
1	ULS-Schnee Volllast	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF3$
4	ULS-Wind Osten (Westen)/Innensog	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF6$

Die Lastgruppe 1 ist eine asymmetrische Belastung, die Lastgruppe 4 eine symmetrische.

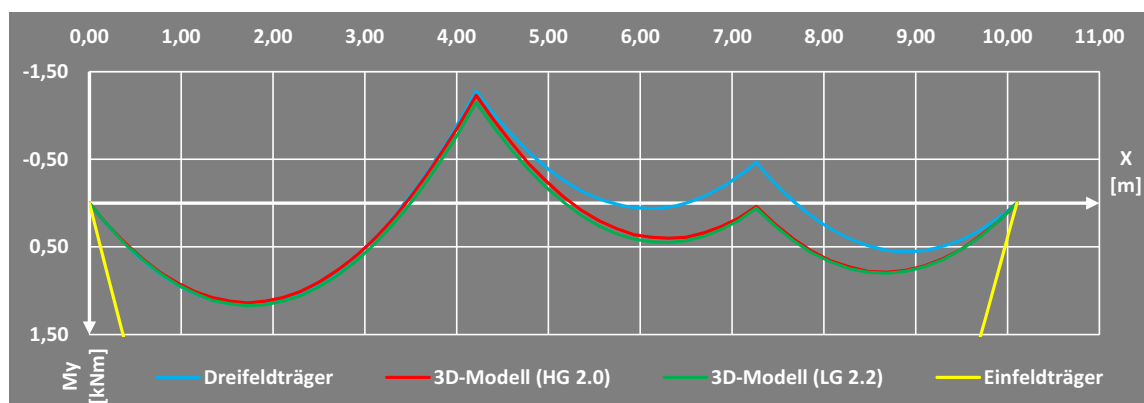
LG1: Sparren im HG 2.0 und Leergespärre 2.2:

Abb. 15.1: Sparrenmomentenlinie (HG 2.0, LG 2.2)

Die Momentenlinie des Sparren (HG 2.0) aus dem 3D-Modell liegt zwischen der Momentenlinie des Einfeldträgers und der des Dreifeldträgers. Die Verläufe der roten Linie und der blauen Linie sind bis zum Kehlbalken ($x = 4,2$ m) nahezu ident. Dies bedeutet das der Kehlbalken fast wie ein starres Auflager wirkt. Die Begründung liegt in der hohen Steifigkeit des Stuhles, welcher über das Rähm den Kehlbalken horizontal stützt. Die Nachgiebigkeit des Hahnenbalkens ($x = 7,3$ m) ist mit der einseitigen Belastung durch den Schnee zu erklären. Wäre das Dach und die Last symmetrisch würde sich der Hahnenbalken horizontal nicht verschieben.

Auch die grüne Momentenlinie des Sparrens (LG 2.2) aus dem 3D-Modell liegt zwischen der Momentenlinie des Einfeldträgers und des Dreifeldträgers. Sie weist aber im Bereich des Kehlbalkens ($x = 4,2$ m) gegenüber der roten Momentenlinie des Sparrens im Hauptgespärre ein etwas geringeres negatives Moment auf. Dies ist mit dem Fehlen des Stuhles zu erklären. Die Stützung des Kehlbalkens erfolgt nur durch das Rähm alleine.

LG4: Sparren im HG 2.0 und Leergespärre 2.2:

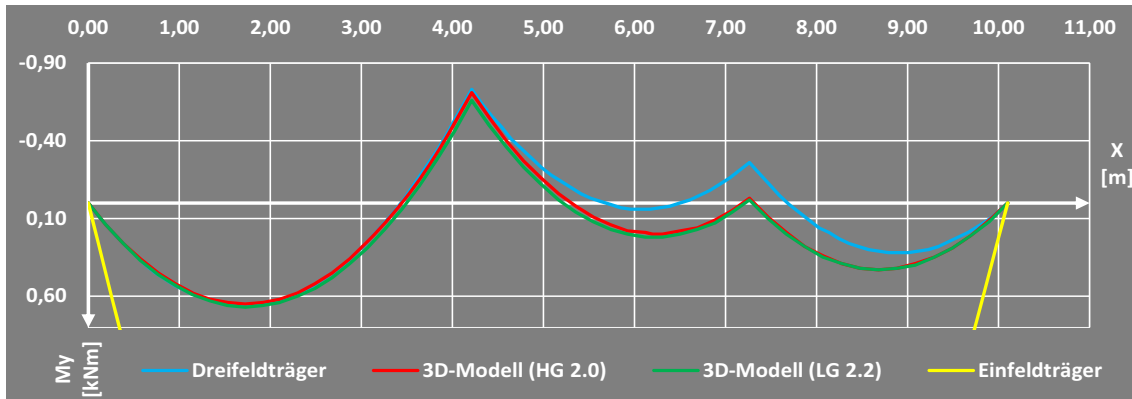


Abb. 15.2: Sparrenmomentenlinie (HG 2.0, LG 2.2)

Hier ist die Belastung im Gegensatz zur Lastgruppe 1 symmetrisch. Die Verschiebung des Hahnenbalkens ist mit der Asymmetrie des Gespärres zu erklären. Würde es sich um ein symmetrisches System handeln, wäre die Momentenschnittkraftlinie des Dreifeldträgers, und die Momentenschnittkraftlinien der 3D-Modelle ident. Auffallend ist, dass trotz relativ geringer Asymmetrie ($\alpha_1 = 56^\circ$, $\alpha_2 = 61^\circ$), ist die Momentenabweichung deutlich erkennbar ist.

16 Nachweise

In diesem Anhang werden die geführten Nachweise angegeben. Dies sind sowohl Querschnittsnachweise als auch Stabilitätsnachweise. Da die Knicklängen der Sparren mit der Zusatzfunktion RKnick berechnet wurde, werden für jeden Sparren drei Nachweise geführt. Der erste Nachweis bezieht sich auf den Sparrenabschnitt von Fußpunkt bis Kehlbalkenanschluss, der zweite von Kehlbalkenanschluss bis Hahnenbalkenanschluss und der dritte von Hahnenbalkenanschluss bis Firstpunkt.

Die Nachweise wurden jeweils mit den Schnittkräften aus der Lastfallkombination (LK1) durchgeführt.

Die maßgebenden Nachweise sind jeweils in blauer Schrift (Querschnittsnachweis und Stabilitätsnachweis sind getrennt voneinander markiert). Nachweise, welche nach EN 1995-1-1 [29] nicht eingehalten werden, sind rot hinterlegt.

Für die Modellierung und Nachweise verwendete Querschnitte:

Hauptgespärre und Leergespärre	b [cm]	h [cm]
Brustriegel	16	21
Bundtram	23	32
Druckriegel	19	23
Hahnenbalken	16	17
Kehlbalken	14	18
Kopfband	17	20
Mauerbank	30	23
Rähm	15	19
Sparren	18	15
Stuhlsäule	19	33
Stuhlsäulenknecht	18	21
Windrispe	18	14

16.1 Nachweise des Bundtrams unter Zugbeanspruchung

Maßgebende Schnittkräfte (Zugbeanspruchung)												
	$M_{y,max}$ [kNm]	$M_{z,zug}$ [kNm]	N_{zug} [kN]	$M_{y,zug}$ [kNm]	$M_{z,max}$ [kNm]	N_{zug} [kN]	$M_{y,zug}$ [kNm]	$M_{z,zug}$ [kNm]	N_{max} [kN]	$V_{y,max}$ [kN]	$V_{z,max}$ [kN]	M_t [kNm]
M0	21,97	0	29,99	0	0	0	0	0	0	0	35,65	0
M1	25,25	0	23,03	0	0	0	15,7	0	27,15	0	25,03	0
M2	20,63	0,65	25,96	0	0	0	0,39	20,61	31,11	1,45	46,53	0,45
M3	25,06	0	25,83	0	0	0	16,23	0	31,47	0	27,76	0
M4	16,17	0,27	21,69	11,13	0,51	25,76	0	0	0	1,02	34,53	0,27

Querschnittsnachweise								
QS- nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS - nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	Einzel- nachweis V_y	Einzel- nachweis V_z	Torsion
0,22	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	0,00
0,24	0,33	0,00	0,00	0,16	0,22	0,00	0,81	0,00
0,22	0,29	0,00	0,00	0,39	0,28	0,05	1,51	0,05
0,24	0,34	0,00	0,00	0,17	0,23	0,00	0,90	0,00
0,17	0,23	0,13	0,17	0,00	0,00	0,03	1,12	0,03

16.2 Nachweis des Kehl balkens auf Druck (hier C24)

Maßgebende Schnittkräfte (Druckbeanspruchung mit positiven Vorzeichen)												
	$M_{y,max}$ [KNm]	$M_{z,zug}$ [KNm]	N_{zug} [KN]	$M_{y,zug}$ [KNm]	$M_{z,max}$ [KNm]	N_{zug} [KN]	$M_{y,zug}$ [KNm]	$M_{z,zug}$ [KNm]	N_{max} [KN]	$V_{y,max}$ [KN]	$V_{z,max}$ [KN]	M_t [kNm]
M0	KB1	0,00	12,97	0,00	0,00	0,00	1,97	0,00	19,24	0,00	17,65	0,00
M1	KB2	0,94	4,82	0,59	0,40	5,33	0,09	0,00	8,44	0,00	3,85	0,00
M2	KB3	3,06	7,19	1,91	0,64	4,47	0,00	0,00	0,00	0,21	13,72	0,02
M3	KB4	0,92	5,88	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	7,75	0,00	5,63	0,00
M4	KB5	4,09	6,00	2,67	0,40	4,55	3,90	0,24	9,05	0,13	1,76	0,01

Querschnittsnachweise										
	QS- Nachweis (0,7*M _y)	QS- nachweis (0,7*M _z)	QS- Nachweis (0,7*M _z)	QS- Nachweis (0,7*M _y)	QS- Nachweis (0,7*M _z)	QS- Nachweis (0,7*M _y)	QS- Nachweis (0,7*M _z)	Einzel- nachweis V _y	Einzel- nachweis V _z	Torsion
	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,84	0,00
	0,07	0,09	0,08	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,18	0,00
	0,21	0,27	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,65	0,01
	0,05	0,07	0,00	0,05	0,00	0,05	0,07	0,00	0,27	0,00
	0,25	0,34	0,24	0,24	0,19	0,24	0,33	0,01	0,08	0,00

Stabilitätsnachweise															
l_{ky} [m]	l_{kz} [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{rel,y}$	$\lambda_{rel,z}$	k_y	k_z	$k_{c,y}$	$k_{c,z}$	BK (0,7*M _y)	BK (0,7*M _z)	BK (0,7*M _y)	BK (0,7*M _z)	BK (0,7*M _y)	BK (0,7*M _z)
6,0	0,0	115,47	0,00	1,97	0,00	2,60	0,47	0,23	1,06	0,38	0,19	0,00	0,38	0,00	0,16
6,0	0,0	115,47	0,00	1,97	0,00	2,60	0,47	0,23	1,06	0,15	0,09	0,14	0,09	0,11	0,03
6,0	0,0	115,47	0,00	1,97	0,00	2,60	0,47	0,23	1,06	0,35	0,23	0,25	0,18	0,00	0,00
6,0	0,0	115,47	0,00	1,97	0,00	2,60	0,47	0,23	1,06	0,14	0,07	0,00	0,00	0,16	0,07
6,0	0,0	115,47	0,00	1,97	0,00	2,60	0,47	0,23	1,06	0,41	0,27	0,29	0,20	0,43	0,27

16.3 Nachweis des Kehlbalkens auf Zug (hier C24)

Maßgebende Schnittkräfte (Zugbeanspruchung)												
	$M_{y,max}$ [KNm]	$M_{z,zug}$ [KNm]	N_{zug} [KN]	$M_{y,zug}$ [KNm]	$M_{z,max}$ [KNm]	N_{zug} [KN]	$M_{y,zug}$ [KNm]	$M_{z,zug}$ [KNm]	N_{max} [KN]	$V_{y,max}$ [KN]	$V_{z,max}$ [KN]	M_t [kNm]
M0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,82	0,00	10,05	0,00	0,00	0,00
M1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	42,96	0,00	0,00	0,00
M2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,88	0,08	2,51	0,00	0,00	0,00
M3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00	12,33	0,00	0,00	0,00
M4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,48	0,01	0,99	0,00	0,00	0,00

Querschnittsnachweise							
QS-nachweis ($0,7 * M_y$)	QS-nachweis ($0,7 * M_z$)	QS-nachweis ($0,7 * M_y$)	QS-nachweis ($0,7 * M_z$)	QS-nachweis ($0,7 * M_y$)	QS-nachweis ($0,7 * M_z$)	Einzel-nachweis V_z	Torsion
0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,27	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,18	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,17	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,28	0,00	0,00

16.4 Nachweis des Hahnenbalkens auf Druck

Maßgebende Schnittkräfte (Druckbeanspruchung mit positivem Vorzeichen)

	$M_{y,max}$ [kNm]	$M_{z,zug}$ [kNm]	N_{zug} [kN]	$M_{y,zug}$ [kNm]	$M_{z,max}$ [kNm]	N_{zug} [kN]	$M_{y,zug}$ [kNm]	$M_{z,zug}$ [kNm]	N_{max} [kN]	$V_{y,max}$ [kN]	$V_{z,max}$ [kN]	M_t [kNm]
M0	0,23	0,00	4,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00
M1	0,23	0,00	4,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00
M2	1,79	0,02	4,23	1,76	0,04	4,07	0,00	0,00	0,00	0,03	1,56	0,01
M3	0,23	0,00	4,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00
M4	1,93	0,02	4,29	1,91	0,04	4,16	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70	0,01

Querschnittsnachweise

	QS- Nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS- Nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS- Nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS- Nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS- Nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS- Nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS- Nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	Einzel- nachweis V_y	Einzel- nachweis V_z	Torsion
	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
	0,09	0,13	0,09	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
	0,10	0,14	0,10	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00

Stabilitätsnachweise

l_{ky} [m]	l_{kz} [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{rel,y}$	$\lambda_{rel,z}$	k_y	k_z	$k_{c,y}$	$k_{c,z}$	BK ($0,7 \cdot M_y$)	BK ($0,7 \cdot M_z$)	BK ($0,7 \cdot M_y$)	BK ($0,7 \cdot M_z$)	BK ($0,7 \cdot M_y$)	BK ($0,7 \cdot M_z$)
6,0	0,0	122,26	0,00	2,09	0,00	2,86	0,47	0,21	1,06	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
6,0	0,0	122,26	0,00	2,09	0,00	2,86	0,47	0,21	1,06	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
6,0	0,0	122,26	0,00	2,09	0,00	2,86	0,47	0,21	1,06	0,18	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
6,0	0,0	122,26	0,00	2,09	0,00	2,86	0,47	0,21	1,06	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
6,0	0,0	122,26	0,00	2,09	0,00	2,86	0,47	0,21	1,06	0,19	0,11	0,11	0,11	0,00	0,00

16.5 Nachweis des Sparrens auf Druck

Maßgebende Schnittkräfte (Druckbeanspruchung mit positivem Vorzeichen)															
	$M_{y,max}$ [kNm]	$M_{z,zug}$ [kNm]	N_{zug} [kN]	$M_{y,zug}$ [kNm]	$M_{z,max}$ [kNm]	N_{zug} [kN]	$M_{y,zug}$ [kNm]	$M_{z,zug}$ [kNm]	N_{zug} [kN]	$M_{y,zug}$ [kNm]	$M_{z,zug}$ [kNm]	N_{max} [kN]	$V_{y,max}$ [kN]	$V_{z,max}$ [kN]	M_t [kNm]
M0	SP1	2,76	0,01	19,80	2,47	0,04	15,20	0,00	0,00	0,00	0,00	33,53	0,01	4,27	0,00
	SP2	3,24	0,01	8,63	2,47	0,04	11,53	2,03	0,02	0,00	0,00	11,17	0,01	3,98	0,00
	SP3	3,24	0,01	6,35	3,15	0,02	6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,01	0,00
M1	SP1	5,45	0,01	15,18	3,84	0,05	15,01	0,00	0,00	0,00	0,00	19,48	0,00	4,01	0,00
	SP2	5,45	0,01	12,69	3,85	0,05	11,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,34	0,00
	SP3	5,20	0,00	7,46	3,60	0,03	6,26	0,00	5,20	0,01	0,00	7,46	0,01	3,67	0,00
M2	SP1	3,28	0,01	18,35	2,64	0,07	16,23	0,00	0,00	0,00	0,00	20,47	0,02	3,63	0,04
	SP2	3,00	0,04	10,97	2,71	0,05	8,35	1,76	0,03	1,76	0,03	11,40	0,00	3,99	0,05
	SP3	1,44	0,02	3,05	1,01	0,06	5,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,59	0,00
M3	SP1	3,72	0,01	16,60	2,58	0,05	-14,31	0,00	0,00	0,00	0,00	18,82	0,00	3,77	0,00
	SP2	4,27	0,01	9,22	2,58	0,05	-11,53	3,55	0,02	3,55	0,02	-12,17	0,00	3,64	0,00
	SP3	4,27	0,01	6,95	4,18	0,02	-6,90	4,27	0,01	4,27	0,01	-6,95	0,00	3,37	0,00
M4	SP1	4,93	0,02	14,98	4,69	0,06	-16,47	0,00	0,00	0,00	0,00	20,87	0,02	3,71	0,04
	SP2	3,27	0,00	8,69	3,26	0,03	8,69	1,35	0,02	1,35	0,02	11,60	0,00	3,88	0,03
	SP3	1,47	0,02	3,18	0,95	0,04	4,76	1,21	0,03	1,21	0,03	5,07	0,00	2,56	0,01

Querschnittsnachweise										
QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS-nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	Einzel-nachweis V_y	Einzel-nachweis V_z	Torsion
0,14	0,20	0,13	0,18	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,19	0,00
0,16	0,23	0,13	0,18	0,10	0,15	0,10	0,15	0,00	0,18	0,00
0,16	0,23	0,16	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00
0,27	0,39	0,20	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00
0,27	0,39	0,20	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
0,26	0,37	0,18	0,26	0,31	0,22	0,31	0,22	0,00	0,16	0,00
0,17	0,24	0,14	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,01
0,15	0,22	0,14	0,20	0,09	0,13	0,09	0,13	0,00	0,18	0,02
0,07	0,10	0,05	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
0,19	0,27	0,13	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00
0,21	0,31	0,13	0,19	0,18	0,25	0,18	0,25	0,00	0,16	0,00
0,21	0,31	0,21	0,30	0,21	0,31	0,21	0,31	0,00	0,15	0,00
0,25	0,35	0,24	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,01
0,16	0,23	0,16	0,23	0,07	0,10	0,07	0,10	0,00	0,17	0,01
0,07	0,11	0,05	0,07	0,06	0,09	0,06	0,09	0,00	0,11	0,00

Stabilitätsnachweise															
l_{ky} [m]	l_{kz} [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{rel,y}$	$\lambda_{rel,z}$	k_y	k_z	$k_{c,y}$	$k_{c,z}$	BK ($0,7 \cdot M_z$)	BK ($0,7 \cdot M_y$)	BK ($0,7 \cdot M_z$)	BK ($0,7 \cdot M_y$)		
3,7	0,0	85,59	0,00	1,46	0,00	1,68	0,47	0,40	1,06	0,31	0,18	0,27	0,16	0,20	0,07
5,2	0,0	120,41	0,00	2,06	0,00	2,79	0,47	0,21	1,06	0,33	0,18	0,30	0,15	0,27	0,13
10,0	0,0	230,25	0,00	3,93	0,00	8,58	0,47	0,06	1,06	0,47	0,18	0,46	0,17	0,00	0,00
3,7	0,0	85,59	0,00	1,46	0,00	1,68	0,47	0,40	1,06	0,48	0,31	0,36	0,23	0,11	0,04
5,2	0,0	120,41	0,00	2,06	0,00	2,79	0,47	0,21	1,06	0,53	0,30	0,41	0,22	0,00	0,00
10,0	0,0	230,25	0,00	3,93	0,00	8,58	0,47	0,06	1,06	0,65	0,28	0,49	0,20	0,50	0,33
3,7	0,0	85,59	0,00	1,46	0,00	1,68	0,47	0,40	1,06	0,34	0,20	0,29	0,17	0,12	0,04
5,2	0,0	120,41	0,00	2,06	0,00	2,79	0,47	0,21	1,06	0,33	0,18	0,29	0,16	0,25	0,11
10,0	0,0	230,25	0,00	3,93	0,00	8,58	0,47	0,06	1,06	0,22	0,08	0,26	0,06	0,00	0,00
3,7	0,0	85,59	0,00	1,46	0,00	1,68	0,47	0,40	1,06	0,36	0,22	0,10	0,10	0,11	0,04
5,2	0,0	120,41	0,00	2,06	0,00	2,79	0,47	0,21	1,06	0,41	0,23	0,06	0,11	0,12	0,15
10,0	0,0	230,25	0,00	3,93	0,00	8,58	0,47	0,06	1,06	0,57	0,23	0,04	0,19	0,04	0,20
3,7	0,0	85,59	0,00	1,46	0,00	1,68	0,47	0,40	1,06	0,44	0,28	0,24	0,20	0,12	0,05
5,2	0,0	120,41	0,00	2,06	0,00	2,79	0,47	0,21	1,06	0,33	0,18	0,33	0,18	0,22	0,09
10,0	0,0	230,25	0,00	3,93	0,00	8,58	0,47	0,06	1,06	0,23	0,08	0,25	0,06	0,28	0,07

16.6 Nachweis der Stuhlsäule auf Druck

Maßgebende Schnittkräfte (Druckbeanspruchung mit positivem Vorzeichen)

	$M_{y,max}$ [kNm]	$M_{z,zug}$ [kNm]	N_{zug} [kN]	$M_{y,zug}$ [kNm]	$M_{z,max}$ [kNm]	N_{zug} [kN]	$M_{y,zug}$ [kNm]	$M_{z,zug}$ [kNm]	N_{max} [kN]	$V_{y,max}$ [kN]	$V_{z,max}$ [kN]	M_t [kNm]
M0	10,92	0,00	76,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,08	0,00	16,95	0,00
M1	28,81	0,00	13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,03	0,00	20,57	0,00
M2	12,63	2,31	74,38	0,00	0,00	0,00	6,56	1,77	74,66	4,68	41,13	1,65
M3	13,21	0,00	37,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,21	0,00	15,37	0,00
M4	11,97	0,88	27,31	2,23	1,01	33,50	0,00	0,00	38,61	1,17	24,93	1,83

Querschnittsnachweise

	QS- Nachweis ($0,7 * M_y$)	QS- Nachweis ($0,7 * M_z$)	QS- Nachweis ($0,7 * M_y$)	QS- Nachweis ($0,7 * M_z$)	QS- Nachweis ($0,7 * M_y$)	QS- Nachweis ($0,7 * M_z$)	Einzel- nachweis V_y	Einzel- nachweis V_z	Torsion
0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,32	0,00
0,28	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00
0,19	0,22	0,00	0,11	0,13	0,09	0,09	0,09	0,79	0,17
0,13	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00
0,14	0,18	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,48	0,19

Stabilitätsnachweise

l_{ky} [m]	l_{kz} [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{rel,y}$	$\lambda_{rel,z}$	k_y	k_z	$k_{c,y}$	$k_{c,z}$	BK ($0,7 * M_z$)	BK ($0,7 * M_y$)	BK ($0,7 * M_z$)	BK ($0,7 * M_y$)	BK ($0,7 * M_z$)	BK ($0,7 * M_y$)
4,0	0,0	41,99	0,00	0,72	0,00	0,80	0,47	0,87	1,06	0,24	0,18	0,00	0,00	0,09	0,07
4,0	0,0	41,99	0,00	0,72	0,00	0,80	0,47	0,87	1,06	0,42	0,29	0,00	0,00	0,02	0,02
4,0	0,0	41,99	0,00	0,72	0,00	0,80	0,47	0,87	1,06	0,30	0,25	0,00	0,00	0,21	0,18
4,0	0,0	41,99	0,00	0,72	0,00	0,80	0,47	0,87	1,06	0,23	0,16	0,00	0,00	0,07	0,06
4,0	0,0	41,99	0,00	0,72	0,00	0,80	0,47	0,87	1,06	0,21	0,16	0,09	0,08	0,04	0,04

16.7 Nachweis des Druckriegels auf Druck

Maßgebende Schnittkräfte (Druckbeanspruchung mit positiven Vorzeichen)												
	$M_{y,max}$ [KNm]	$M_{z,zug}$ [KNm]	N_{zug} [KN]	$M_{y,zug}$ [KNm]	$M_{z,max}$ [KNm]	N_{zug} [KN]	$M_{y,zug}$ [KNm]	$M_{z,zug}$ [KNm]	N_{max} [KN]	$V_{y,max}$ [KN]	$V_{z,max}$ [KN]	M_t [kNm]
M0	DR1	19,75	0,00	41,04	0,00	0,00	0,00	13,40	68,98	0,00	30,13	0,00
M1	DR2	26,17	0,00	61,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	3,85	0,00
M2	DR3	16,05	0,38	37,30	1,09	11,82	47,39	10,04	58,79	3,66	0,00	2,40
M3	DR4	20,46	0,00	33,85	0,00	0,00	0,00	0,00	46,70	0,00	31,20	0,00
M4	DR5	14,31	1,55	35,92	6,27	1,84	23,59	14,31	35,92	0,30	41,37	2,99

Querschnittsnachweise						
QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_{y1}$)	QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_{z1}$)	QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_{y1}$)	QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_{z1}$)	QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_{y1}$)	QS-Nachweis ($0,7 \cdot M_{z1}$)	Einzel-nachweis V_y
0,00	0,57	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00
0,53	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
0,34	0,47	0,44	0,32	0,25	0,32	0,10
0,41	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,34	0,45	0,19	0,23	0,34	0,45	0,01

Stabilitätsnachweise											
l_{ky} [m]	l_{kz} [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{rel,y}$	$\lambda_{rel,z}$	k_y	k_z	k_{cy}	k_{cz}	BK ($0,7 \cdot M_{z1}$)	BK ($0,7 \cdot M_{y1}$)
5,4	0,0	80,97	0,00	1,38	0,00	1,56	0,47	0,44	1,06	0,70	0,00
5,4	0,0	80,97	0,00	1,38	0,00	1,56	0,47	0,44	1,06	0,96	0,00
5,4	0,0	80,97	0,00	1,38	0,00	1,56	0,47	0,44	1,06	0,59	0,48
5,4	0,0	80,97	0,00	1,38	0,00	1,56	0,47	0,44	1,06	0,70	0,00
5,4	0,0	80,97	0,00	1,38	0,00	1,56	0,47	0,44	1,06	0,57	0,30

16.8 Nachweis des Kopfbandes auf Druck

Maßgebende Schnittkräfte (Druckbeanspruchung mit positivem Vorzeichen)

	$M_{y,max}$ [KNm]	$M_{z,zug}$ [KNm]	N_{zug} [KN]	$M_{y,zug}$ [KNm]	$M_{z,max}$ [KNm]	N_{zug} [KN]	$M_{y,zug}$ [KNm]	$M_{z,zug}$ [KNm]	N_{max} [KN]	$V_{y,max}$ [KN]	$V_{z,max}$ [KN]	M_t [kNm]
M0	0,06	0,00	49,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	66,46	0,00	0,16	0,00
M1	0,06	0,00	54,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,43	0,00	0,16	0,00
M2	3,81	2,24	42,66	0,78	2,26	42,79	0,63	1,44	61,32	0,15	4,02	0,06
M3	0,06	0,00	44,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,75	0,00	0,16	0,00
M4	11,07	0,30	24,03	4,80	0,40	23,96	5,80	0,28	40,84	0,19	8,17	0,04

Querschnittsnachweise

QS- Nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS - nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS- Nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS- Nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS- Nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS- Nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS - Nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	Einzel- nachweis V_y	Einzel- nachweis V_z	Torsion
0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00
0,23	0,25	0,14	0,12	0,10	0,10	0,09	0,01	0,14	0,01
0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
0,35	0,48	0,16	0,22	0,19	0,19	0,26	0,01	0,29	0,01

Stabilitätsnachweise

l_{ky} [m]	l_{kz} [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{rel,y}$	$\lambda_{rel,z}$	k_y	k_z	$k_{c,y}$	$k_{c,z}$	BK ($0,7 \cdot M_z$)	BK ($0,7 \cdot M_y$)	BK ($0,7 \cdot M_z$)	BK ($0,7 \cdot M_y$)
1,4	0,0	24,08	0,00	0,41	0,00	0,60	0,47	0,97	1,06	0,10	0,09	0,00	0,13
1,4	0,0	24,08	0,00	0,41	0,00	0,60	0,47	0,97	1,06	0,11	0,10	0,00	0,15
1,4	0,0	24,08	0,00	0,41	0,00	0,60	0,47	0,97	1,06	0,31	0,31	0,22	0,21
1,4	0,0	24,08	0,00	0,41	0,00	0,60	0,47	0,97	1,06	0,09	0,08	0,00	0,12
1,4	0,0	24,08	0,00	0,41	0,00	0,60	0,47	0,97	1,06	0,39	0,52	0,21	0,33

16.9 Nachweis des Kopfbandes auf Zug

Maßgebende Schnittkräfte (Zugbeanspruchung)

	$M_{y,max}$ [kNm]	$M_{z,zug}$ [kNm]	N_{zug} [kN]	$M_{y,zug}$ [kNm]	$M_{z,max}$ [kNm]	N_{zug} [kN]	$M_{y,zug}$ [kNm]	$M_{z,zug}$ [kNm]	N_{max} [kN]	$V_{y,max}$ [kN]	$V_{z,max}$ [kN]	M_t [kNm]
M0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,96	0,00	0,00	0,00
M1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,81	2,24	42,47	0,00	0,00	0,00
M3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,26	0,00	0,00	0,00
M4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,07	0,30	4,50	0,00	0,00	0,00

Querschnittsnachweise

	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_y$)	QS- nachweis ($0,7 \cdot M_z$)	Einzel- nachweis V_y	Einzel- nachweis V_z	Torsion
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,27	0,20	0,27	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,18	0,18	0,18	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,17	0,12	0,17	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12	0,10	0,12	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,28	0,20	0,28	0,00	0,00	0,00

16.10 Stirnversatzzapfen (Sparren-Bundtram)

Berechnung Stirnversatzzapfen Sparren				Einwirkung - E _d				
Widerstand - R_d				N _{max} [kN]	V _{z,zug,neg} [kN]	V _{z,max,neg} [kN]	N _{zug} [kN]	
Bundtram	b _{BT} =	230	[mm]	M0	-33,53	-0,12	-0,27	-20,82
	h _{BT} =	320	[mm]	M1	-19,48	-0,49	-1,02	-19,25
Sparren	b _{SP} =	180	[mm]	M2	-20,47	-0,22	-0,55	-17,98
	h _{SP} =	150	[mm]	M3	-18,82	-0,18	-0,56	-18,28
Zapfen	t _z =	40	[mm]	M4	-20,87	-0,46	-0,95	-18,87
	b _z =	50	[mm]					
Anschlusswinkel	α =	56	°	V_{global1}	H _{global}	V_{global2}	H _{global}	
Anm.: kleineren Einschlusswinkel nehmen!				M0	27,73	-18,85	17,11	-11,87
Festigkeitsklasse		C30		M1	15,88	-11,30	15,39	-11,61
	k _{mod} =	0,9		M2	16,85	-11,63	14,60	-10,51
				M3	15,50	-10,67	14,84	-10,69
				M4	17,04	-12,05	15,11	-11,34
Festigkeitswerte	f _{m,d} =	20,77	[N/mm ²]	mit Reibung (μ = 0,35)				
	f _{t,0,d} =	12,46	[N/mm ²]	H _R	ΔH ₁	H _R	ΔH ₂	
	f _{t,90,d} =	0,28	[N/mm ²]	M0	9,71	9,14	5,99	5,88
	f _{c,0,d} =	15,92	[N/mm ²]	M1	5,56	5,74	5,39	6,22
	f _{c,90,d} =	1,87	[N/mm ²]	M2	5,90	5,73	5,11	5,40
	f _{v,d} =	1,87	[N/mm ²]	M3	5,43	5,25	5,19	5,49
	f _{r,d} =	0,69	[N/mm ²]	M4	5,97	6,09	5,29	6,05
				ΔH = H _{global} - H _R				
Kontaktdruck	A _{ef,KD} =	2000	[mm ²]	Ausnutzungsgrad				
	k _{c,90} =	1,5		η	V_{global1}	ΔH ₁	V_{global2}	ΔH ₂
	f _{c,α,d} =	3,78	[N/mm ²]	M0	0,42	1,21	0,26	0,78
Abscheren - Zapfen	L _z =	181	[mm]	M1	0,24	0,76	0,23	0,82
	k _{cr} =	0,67		M2	0,25	0,76	0,22	0,71
	k _s =	1,5		M3	0,23	0,69	0,22	0,73
	b _{ef} =	34	[mm]	M4	0,26	0,81	0,23	0,80
Querdruck	A _{ef} =	23700	[mm ²]					
	k _{c,90} =	1,5						
F_{h,d,Kontakt}	=	7,56	[kN]					
F_{h,d,Schub Zapfen}	=	17,25	[kN]					
F_{h,d,Schub -Vorholz}	=	38,90	[kN]					
F_{v,d,Querdruck}	=	66,45	[kN]					

16.11 Fersenversatzzapfen (Stuhlsäulen-Bundtram)

Berechnung Fersenversatzzapfen
Stuhlsäule

Bundtram	$b_{BT} =$	230	[mm]
	$h_{BT} =$	320	[mm]
Stuhlsäule	$b_{SS} =$	190	[mm]
	$h_{SS} =$	330	[mm]
Zapfen	$t_z =$	40	[mm]
	$b_z =$	40	[mm]

Anschlusswinkel	$\alpha =$	56	°
Anm.: kleineren Einschlusswinkel nehmen!			
Festigkeitsklasse		C30	
	$k_{mod} =$	0,9	

Festigkeitswerte	$f_{m,d} =$	20,77	[N/mm ²]
	$f_{t,0,d} =$	12,46	[N/mm ²]
	$f_{t,90,d} =$	0,28	[N/mm ²]
	$f_{c,0,d} =$	15,92	[N/mm ²]
	$f_{c,90,d} =$	1,87	[N/mm ²]
	$f_{v,d} =$	1,87	[N/mm ²]
	$f_{r,d} =$	0,69	[N/mm ²]

Kontaktdruck	$A_{ef,KD} =$	1600	[mm ²]
	$k_{c,90} =$	1,5	
	$f_{c,\alpha,d} =$	3,78	[N/mm ²]

Abscheren - Zapfen	$L_z =$	398	[mm]
	$k_{cr} =$	0,67	
	$k_s =$	1,5	
	$b_{ef} =$	27	[mm]

Querdruck	$A_{ef} =$	61000	[mm ²]
	$k_{c,90} =$	1,5	

$F_{h,d,Kontaktdruck} =$	6,04	[kN]
$F_{h,d,Schub Zapfen} =$	29,91	[kN]
$F_{h,d,Schub - Vorholz} =$	31,60	[kN]
$F_{v,d,Querdruck} =$	171,03	[kN]

	N_{max} [kN]	$V_{z,zug}$ [kN]	$V_{z,max}$ [kN]	N_{zug} [kN]
M0	-79,08	0,00	-2,26	-49,44
M1	-19,03	-9,52	-9,79	-16,17
M2	-50,67	0,00	0,00	0,00
M3	-60,21	-3,22	-7,77	-42,53
M4	-38,61	0,00	0,00	0,00

	$V_{global1}$	H_{global}	$V_{global2}$	H_{global}
M0	65,56	-44,22	39,72	-29,52
M1	10,45	-18,53	7,93	-17,16
M2	42,01	-28,33	0,00	0,00
M3	48,12	-36,34	30,91	-30,22
M4	32,01	-21,59	0,00	0,00

	mit Reibung			
	H_R	ΔH_1	H_R	ΔH_2
M0	22,95	21,27	13,90	15,62
M1	3,66	14,88	2,78	14,38
M2	14,70	13,63	0,00	0,00
M3	16,84	19,50	10,82	19,40
M4	11,20	10,39	0,00	0,00
$\Delta H = H - H_R$				

η	Ausnutzungsgrad			
	$V_{global1}$	ΔH_1	$V_{global2}$	ΔH_2
M0	0,38	3,52	0,23	2,58
M1	0,06	2,46	0,05	2,38
M2	0,25	2,26	0,00	0,00
M3	0,28	3,23	0,18	3,21
M4	0,19	1,72	0,00	0,00

16.12 Verbindungen unter Zug

Verbindung auf Zug	Art der Verbindung	R _d Zugtrag- fähigkeit [kN]	E _d					
			N _{zug} - M0 [kN]	N _{zug} - M1 [kN]	N _{zug} - M2 [kN]	N _{zug} - M3 [kN]	N _{zug} - M4 [kN]	
Sparren-Bundtram	Kontaktdruck	0,00	5,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stuhlsäule-Bundtram	Stirnversatzzapfen	0,00	21,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stuhlsäulenkecht-Bundtram	Schwalbenschwanzverbindung	29,29	44,68	0,00	33,82	35,30	35,30	22,61
Stuhlsäulenkecht-Stuhlsäule	Hakenblattverbindung	9,22	45,15	0,00	34,13	35,77	35,77	22,92
Brustriegel-Stuhlsäule	Einfacher Zapfen	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kopfband-Stuhlsäule	Hakenblattverbindung	14,50	62,76	0,00	42,36	15,06	15,06	4,39
Rähm-Stuhlsäule	Druckverbindung	0,00	14,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rähm-Kehlbalken	Druckverbindung	0,00	14,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kehlbalken-Sparren	Weißschwanzverbindung	6,73	10,05	0,00	2,51	1,12	1,12	1,81
Druckriegel-Stuhlsäule	Scherzapfen	9,16	37,47	0,00	29,13	16,33	16,33	15,68
Kopfband-Druckriegel	Weißschwanzverbindung	7,44	62,96	0,00	42,47	15,26	15,26	4,50
Hahnenbalken-Sparren	Weißschwanzverbindung	6,73	0,17	0,00	0,05	0,16	0,16	0,04
Sparren-Sparren	Scherzapfen	9,15	2,29	3,39	1,05	2,88	2,88	1,11
Windrispe-Rähm	Holznapel	4,58	2,00	0,00	0,57	0,08	0,08	0,23
Windrispe-Stuhlsäule	Stirnversatzzapfen	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

		Ausnutzungsgrad η					
Sparren-Bundtram	Kontaktdruck	/	/	/	/	/	/
Stuhlsäule-Bundtram	Stirnversatzzapfen	/	/	/	/	/	/
Stuhlsäulenknecht-Bundtram	Schwalbenschwanzverbindung	1,53	0,00	1,15	1,21	0,77	0,77
Stuhlsäulenknecht-Stuhlsäule	Hakenblattverbindung	4,90	0,00	3,70	3,88	2,49	2,49
Brustriegel-Stuhlsäule	Einfacher Zapfen	/	/	/	/	/	/
Kopfband-Stuhlsäule	Hakenblattverbindung	4,33	0,00	2,92	1,04	0,30	0,30
Rähm-Stuhlsäule	Druckverbindung	/	/	/	/	/	/
Rähm-Kehlbalken	Druckverbindung	/	/	/	/	/	/
Kehlbalken-Sparren	Weißschwanzverbindung	1,49	0,00	0,37	0,17	0,27	0,27
Druckriegel-Stuhlsäule	Scherzapfen	4,09	0,00	3,18	1,78	1,71	1,71
Kopfband-Druckriegel	Weißschwanzverbindung	8,46	0,00	5,71	2,05	0,60	0,60
Hahnenbalken-Sparren	Weißschwanzverbindung	0,03	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
Sparren-Sparren	Scherzapfen	0,25	0,37	0,11	0,31	0,12	0,12
Windrispe-Rähm	Holznaegel	0,44	0,00	0,12	0,02	0,05	0,05
Windrispe-Stuhlsäule	Stirnversatzzapfen	/	/	/	/	/	/

Literaturverzeichnis

Dieses Literaturverzeichnis wurde auf Basis der DIN 1505 Teil 2 erstellt. Zwecks leichter Handhabbarkeit wurde eine Anleitung von Klaus F. Lorenzen [15] verwendet.

- [1] BEER, Gernot: *Baustatik 1*. Graz, TU Graz, Institut für Baustatik, Skriptum, 2004
- [2] BINDING, Günther ; ROGGATZ, Annette (Hrsg.): *Fachterminologie für den historischen Holzbau : Fachwerk - Dachwerk*. Köln : Kleikamp Druck GmbH, 1990.
- [3] BOGENBERGER, Thomas: *Holzbau 2 - Studienblätter*. Graz, TU Graz, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Skriptum, SS 2009
- [4] DEINHARD, Martin: *Die Tragfähigkeit historischer Holzkonstruktionen* : Dissertation : Karlsruhe. In: *bauen mit holz* Bruderverlag (1963), Nr. 1–3, S. 1/13–1/27, 2/71–2/85, 3/113–3/129
- [5] *Der Große Brockhaus : In zwölf Bänden*. Achtzehnte, völlig neu bearbeitete Auflage : F.A. Brockhaus – Wiesbaden, 1977. - ISBN3-7653-0039-X
- [6] DLUBAL Georg ; DLUBAL Ingenieur-Software GmbH (Hrsg.): *RSTAB 6.03*. Tiefenbach, 2009. - Programm-Version 6.03.3331
- [7] ERLER, Klaus: *Alte HolzBauWerke : Beurteilen und Sanieren*. 3. Aufl. Neufassung. Berlin : Huss-Medien GmbH Verlag Bauwesen, 2004. - ISBN 3-345-00864-5
- [8] GÖRLACHER, Rainer ; WENZEL, Fritz (Hrsg.) ; KLEINMANN, Joachim (Hrsg.) ; FALK, Volker C. (Mitarb.) ; Eckert, Hannes (Mitarb.): *Historische Holztragwerke : Untersuchen, Berechnen und Instandsetzen*. Karlsruhe : Universität Karlsruhe, 1999. - Sonderforschungsbericht 315. - ISBN-3-934540-00-7
- [9] GREIMEL, Rudolf: *Festigkeitslehre (Elastostatik)*. Graz, TU Graz, Institut für Allgemeine Mechanik, Skriptum, 2003
- [10] HERZOG, Thomas ; NATTERER, Julius ; SCHWEITZER, Roland ; VOLZ, Michael ; WINTER, Wolfgang ; INSTITUT FÜR INTERNATIONALE ARCHITEKTUR-DOKUMENTATION GMBH & CO. KG, MÜNCHEN (Hrsg.) ; ZEITLER, Friedemann (Red.) ; CAMPENHAUSEN, Inga (Mitarb.) ; BENOIT, Jan (Mitarb.) ; NATTERER, JOHANNES (Mitarb.) ; PFLUG, Denis (Mitarb.) ; HERZOG-LOIBL Verena (Mitarb.) ; BENDER-GROTZECK, Susanne (Mitarb.) ; ZOLLER, Manuel (Mitarb.) ; BRECHT, Bettina (Mitarb.) ; GRAESER, Norbert (Mitarb.) ; GRIESE, Marion (Mitarb.) ; LINGENFELSER, Peter (Mitarb.) ; KÖSZEGI, Emese (Mitarb.) ; KOLLMANN, Nicola (Mitarb.) ; KRAMMER, Elisabeth (Mitarb.) ; SAIKO Andrea (Mitarb.): *Holzbau Atlas*. 4. Aufl. Basel : Birkhäuser, 2003. - ISBN 3-7643-6984-1
- [11] KIRCHLER Markus: *Modellierung eines historischen Dachstuhls – Vergleich von Stab- und FE-Berechnungen*. Graz, Erzherzog-Johann-Universität Graz, Fakultät für Bauingenieurwesen, Dipl.-Arb., 2009. – Institut für Holzbau und Holztechnologie
- [12] Klösterreich - Verein zur Förderung aller kulturellen und touristischen Aktivitäten der Klöster, Orden & Stifte Österreichs (Hrsg.) ; *Das Leben kennenlernen im Klösterreich: Zeit voll Sinn, Freude und Kultur*. URL http://www.kloesterreich.at/magazin/00/artikel/3075/doc/d/Zwettl_Kreuzgarten.jpg?ok=j. -mailto: info@kloesterreich.at
- [13] KRÄMER, Franz: *Grundwissen des Zimmerers : Fachstoff für Zimmerleute*. 9. Aufl. Karlsruhe : Bruderverlag, 2006. - ISBN 3-87104-155-6
- [14] LEHRMANN, Karl: *Holz im Hochbau : praktische Hochbaukunde*. Wien : Dipl.-Ing. Rudolf

Bohrmann Industrie und Fachverlag, 1960

- [15] LORENZEN, Klaus F.: *Das Literaturverzeichnis in wissenschaftlichen Arbeiten : Erstellung bibliographischer Belege nach DIN 1505 Teil 2*. URL <http://www.fh-hamburg.de/pers/Lorenzen/tum/litverz.ps>. - Aktualisierungsdatum: Jänner.1997. - mailto: lorenzen@rzbt.fh-hamburg.de. - FH Hamburg
- [16] MAJENOVIC, Herbert (Hrsg.) ; Institut für Kunstgeschichte KF Uni Graz (Veranst.): *Internationaler Kongress Erbschaft Altstadt : Der Dachstuhl*. Graz, 2003
- [17] MEISEL, Andreas: *Historische Dachstühle: Tragsysteme, Bestandserfassung, statische Analyse und Sanierung mit flächenhaften Holzwerkstoffen*. Graz, Erzherzog-Johann-Universität Graz, Fakultät für Bauingenieurwesen, Dipl.-Arb., 2009. - Institut für Holzbau und Holztechnologie
- [18] MÖNCK, Willi: *Schäden an Holzkonstruktionen*. 3. Aufl. Berlin : Huss-Medien GmbH Verlag Bauwesen, 1999. - ISBN 3-345-00668-5
- [19] NORM DIN V 20000- 3 *Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 3: Brettschichtholz, Vornorm*
- [20] NORM DIN 31051 *Grundlagen der Instandhaltung, 09.2001*
- [21] NORM ÖNORM DIN 4074-1 *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit: Teil 1: Nadel-schnittholz, 01. November 2004*
- [22] NORM ÖNORM EN 384 *Bauholz für tragende Zwecke - Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte, 01. Mai 2004*
- [23] NORM ÖNORM EN 1990 *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung, 01. März 2003*
- [24] NORM ÖNORM EN 1991-1-1 *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke: Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewichte, Nutzlasten im Hochbau, Nationale Festlegungen, 01. Jänner 2006*
- [25] NORM ÖNORM EN 1991-1-3 *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke: Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten, 01. August 2005*
- [26] NORM ÖNORM EN 1991-1-3 *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke: Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten, Nationale Festlegungen, 01. April 2006*
- [27] NORM ÖNORM EN 1991-1-4 *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke: Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, 01. November 2005*
- [28] NORM ÖNORM EN 1991-1-4 *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke: Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, Nationale Festlegungen, 01. Dezember 2006*
- [29] NORM ÖNORM EN 1995-1-1 *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten: Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, 01. Jänner 2009*
- [30] NORM ÖNORM EN 1995-2 *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten: Teil 2: Brücken, 01. Oktober 2006*
- [31] NORM ÖNORM EN 338: *Bauholz für tragende Zwecke: Festigkeitsklassen, 01. Juli 2003*
- [32] OPDERBECKE Adolf: *Der Zimmermann*. 1. Band, 1. Teil : *Das Handbuch des Bautechnikers*.

5. Aufl. Leipzig : Verlag von Bernh. Freidr. Voigt., 1913, 1997. - Reprint-Verlag-Leipzig. - ISBN-10: 3826215052,
- [33] PECH Anton ; HOLLINSKY Karlheinz: *Dachstühle : Einführendes Lehrbuch*. Band 7 : *Baukonstruktionen*, 1. Aufl. Wien : SpringerWienNewYork. - ISBN-10: 321123747X
- [34] RAUCH Peter: *Kleine Übersicht zu Dachkonstruktionen*. URL: <http://www.ib-rauch.de/holz/dachkons.html>. - Stand 10.01.2008
- [35] SCHARFE, Volker: *Schreiner-Seiten.de : Kirschbaum-KB*-. URL: <http://www.schreiner-seiten.de/holzarten/kirschbaum.php>. - Aktualisierungsdatum: 2010
- [36] SCHICKHOFER, Gerhard: *Holzbau : Der Roh- und Werkstoff Holz*. Graz, TU Graz, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Skriptum, WS 2006/2007.Version 1.2
- [37] SCHICKHOFER, Gerhard: *Holzbau : Nachweisführungen für Konstruktionen aus Holz*. Graz, TU Graz, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Skriptum, 2009
- [38] SUTTER, Hans-Peter: *Holzschädlinge an Kulturgütern erkennen und bekämpfen: Handbuch für Denkmalpfleger, Restauratoren, Konservatoren, Architekten und Holzfachleute*. 4. Auflage. 1. Dezember 2002. - ISBN-10: 3258064431
- [39] THEOBALD: *Führung im Stift Zwettl (Mitschrift)*, Zwettl, Jänner 2010
- [40] TOMASCHEK, Johann ; Klinger Loachim (Hrsg.): *Zisterzienserstift Zwettl* : Christian Brandstätterverlag, 1989. - ISBN-3-85447-323-0
- [41] WEDLER, Bernhard ; MÖHLER, Karl: *Hölzerne Hausdächer : Baustoffbedarf, Arbeitsaufwand und Standsicherheitsnachweis*. Düsseldorf : Werner-Verlag, 8. Aufl. 1968
- [42] WIKIPEDIA ; Die freie Enzyklopädie : *Stichwort wird im Text angegeben* URL <http://de.wikipedia.org>, Aktualisierungsdatum: 01.05.2010
- [43] ZEHETGRUBER, Johann (Ziviltechniker): *Informative Fachgespräche/ Buchhäusl Bertram*. Zwettl, Dezember 2009
- [44] ZISTERZIENSERSTIFT ZWETTL (Hrsg.) ; Ursula Pechloff (Mitarb.) ; Christina Pfeffer (Mitarb.) : *Zisterzienserstift Zwettl. (Broschüre)* : Kunstverlag Peda - Passau , 2005. - ISBN-3-89643-624-4

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 | D – Diplomarbeiten

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