



DIPLOMARBEIT Master Thesis

Charakterisierung der Wirkungsweise von stiftförmigen Verbindungsmiteln in Bezug auf ihr Verhalten bei Scheibentragwerken

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof.i.R.Projektass.Baurat.h.c. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. E. Bölskey

und

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. H. Bruckner

E206

Institut für Hochbau und Technologie

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Georg Stelzhammer

0826130

Brunndoppelhof 1
3123 Thallern

Vorwort

Diese Forschungsarbeit ist das Ergebnis zahlreicher Prüfungen zur Untersuchung von Klammern und Schrauben für den Einsatz bei Dachelementen der Firma *Rubner*.

Mein herzlicher Dank gilt dem Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz und allen beteiligten Personen für die tatkräftige Unterstützung bei dieser Arbeit.

Besonders bedanke ich mich bei

- Herrn Ao.Univ. Prof.i.R. Projektass.Baurat.h.c. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. E. Bölcskey für die Möglichkeit, meine Diplomarbeit an diesem Institut durchzuführen und die Laboreinrichtungen für die Versuche nutzen zu können.
- Herrn Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. H. Bruckner, der sehr viel Zeit und Mühe in das Gelingen dieser Diplomarbeit investierte und wesentlich zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen hat.
- Herrn Dipl.-Ing. Wolfgang Billensteiner, welcher als Ansprechpartner seitens der Firma Rubner jegliche Fragestellung in Bezug zur Scheibentragwirkung im Holzbau geduldig beantwortete.
- meinen Eltern, die mir das Studium ermöglichten und mir immer den nötigen Rückhalt geboten haben.

Kurzzusammenfassung

Entscheidend für den Einsatz von Scheibentragwerken im Holzbau sind Kenntnisse über die Wirkungsweise der eingesetzten stiftförmigen Verbindungsmittel, denn diese sind maßgebend für die Abtragung der Scheibenkräfte verantwortlich.

Um in Zukunft bestimmte Dachelementtypen der Firma *Rubner* als Dachscheibe modellieren zu können, benötigt man hierfür Tragfähigkeitskennwerte und Angaben über das Verformungsverhalten der Verbindungsmittel.

Die durchgeführten Versuche für diese Arbeit gliedern sich in folgende drei Hauptteile:

- Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von Klammern
- Reihenwirkung von Klammern und Modellbildungen
- Verformungsverhalten von Vollgewindeschrauben.

Hauptziel dieser Arbeit ist die Bestimmung von Verformungs- und Tragfähigkeitsparameter für Klammern im Dachelementbau. Zu diesem Zweck wurden Einzelklammerversuche durchgeführt und die gewonnenen Ergebnisse mit den Werten aus den technischen Zulassungen und Normen verglichen.

Der zweite Teil der Prüfungen beschäftigt sich mit der Reihenwirkung bei Einzelklammern. Zusätzlich wurden einfache Schubfelder mit Kleinversuchskörpern erzeugt und die gewonnenen Ergebnisse gegenübergestellt. Dieser Teil befasst sich auch mit der Bestimmung der Kraftaufteilung zwischen der oberen und unteren Elementbeplankung bei einer exzentrischen Krafteinleitung in das Dachelement.

Im dritten Teil dieser Arbeit wird das Verformungsverhalten von Vollgewindeschrauben für den Einsatz bei Scheibentragwerken analysiert. Dabei werden spezielle Anordnungen der Schrauben bei der Ein-, Weiter- oder Ausleitung der Lasten betrachtet. Ebenso werden die Steifigkeiten von verschraubten Elementfugen mithilfe von Versuchen ermittelt und mit den technischen Zulassungen verglichen.

Abstract

The knowledge of the mode of action for dowel type fasteners is important for slabs and plain stressed structures in timber construction, because these elements are used for the removal of the shear forces.

In order to model certain roof elements from the company *Rubner*, as roof panels, several data will be required; for instance, the load-bearing capacity and the deformation behavior of the fasteners.

The experiments performed for this work are divided into the following three parts:

- Load-bearing capacity and deformation behavior of staples,
- Series effects of staples and model design,
- Deformation properties of full-threaded screws.

The main objective of this work is the determination of deformation and load-bearing capacity properties for staples used for roof elements. For this purpose, experiments carried out for single staples and to compare the obtained results with values from technical approvals and standards.

The second part of the work deals with series causes by single staples. In addition, small test specimens are produced. The obtained results from these simple shear panels are compared with the results from the model. This part also deals with the determination of the force distribution between the upper and lower planking, by an eccentric application of force into the roof element.

In the third part of this work the deformation behavior of full-threaded screws is analyzed for the use in plate structures. A special arrangement of the screws is considered for the initiation, transfer or removal of the loads. The stiffness of screwed element joints are determined by experiments and compared with the technical approvals.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Kurzzusammenfassung.....	II
Abstract	III
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Problemstellung.....	1
1.2 Vorgangsweise und Ziele der Arbeit.....	2
2 Grundlagen.....	3
2.1 Grundlagen der Gebäudeaussteifung	3
2.1.1 Einteilung der horizontalen Einwirkungen.....	4
2.1.2 Beispiele für Hallenaussteifungskomponenten	4
2.1.3 Begriffsdefinition Scheibe	6
2.2 Scheibentragwerke im Holzbau.....	7
2.2.1 Scheibe als Verbundbauteil.....	7
2.2.2 Randausführung und Konstruktionsdetails von Scheiben	8
2.2.3 Verbund von Rippen und Beplankung	10
2.2.4 Tragverhalten von Scheiben- Schubfeldtheorie.....	14
2.2.5 Arten von Scheiben	19
2.2.6 Verbindung mehrerer Scheibenelemente	21
2.3 Stiff förmige Verbindungsmittel.....	23
2.3.1 Typen stiff förmiger Verbindungsmittel	23
2.3.2 Modell von <i>Johansen</i>	24
2.4 Tragfähigkeit von auf Abscheren beanspruchter stiff förmiger Verbindungsmittel - Klammern, Vollgewindeschrauben.....	27
2.4.1 Nachweis der Traglast und Nachgiebigkeit nach EC5	27
2.4.2 Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens durch Versuche	31

2.4.3	Anwendung der Bruchmechanik bei stiftförmigen Verbindungsmitteln.....	32
3	Versuchsplanung und Vorversuche	37
3.1	Umsetzung der Projektziele.....	37
3.2	Definition von Prüfscenarien	37
3.2.1	Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von Klammern und Schrauben.....	38
3.2.2	Reihenwirkung von Klammern und Modellbildungen	39
3.2.3	Verformungsverhalten von Vollgewindeschrauben	39
3.3	Verwendete Materialien	40
3.3.1	Klammern	40
3.3.2	Schrauben.....	40
3.3.3	Elementrippen.....	41
3.3.4	OSB Platten.....	41
3.4	Prüfgeräte und Messmittel.....	42
3.4.1	Zwick Universalprüfmaschine	42
3.4.2	Quantum X, externe KMD und Wegaufnehmer.....	42
3.4.3	Darrschrank, Sonstiges	43
3.5	Durchführung von Vorversuchen und Analyse.....	44
3.5.1	Vorversuche.....	44
3.5.2	Analyse der Vorversuchsergebnisse.....	46
3.5.3	Festlegungen für die Klammerhauptversuche.....	49
4	Hauptversuche und Interpretation	50
4.1	Planung der Hauptversuche	50
4.1.1	Versuchsaufstellung	50
4.2	Befestigungsmittel für die Elementbeplankung.....	51
4.2.1	Abscherversuche Einzelklammer	51
4.2.2	Ermittlung der charakteristischen Werte für Klammerversuche.....	69

4.2.3	Plastische Fließgelenkbildung	74
4.2.4	Interpretation der Einzelklammerversuche	75
4.2.5	Abscherversuche Trapezblech	80
4.2.6	Interpretation der Trapezblechversuche	87
4.3	Reihenwirkung von Klammern und Modellbildungen	88
4.3.1	Mehrfachklammerung.....	88
4.3.2	Fliegender Stoß	89
4.3.3	Konzentrierte Klammerung.....	90
4.3.4	Interpretation der Mehrfachklammerung, fliegender Stoß und konzentrierter Klammerung.....	92
4.3.5	Exzentrische Krafteinleitung	94
4.3.6	Interpretation der exzentrischen Krafteinleitung.....	96
4.4	Verformungsparameter für Vollgewindeschrauben	97
4.4.1	Bestimmung der Verschiebungsmodule bei Schrauben	97
4.4.2	Versuche Fugenverschraubung.....	110
4.4.3	Ergebniszusammenfassung Vollgewindeschrauben	113
4.4.4	Interpretation der Verformungsparameter für Vollgewindeschrauben.....	114
4.5	Interpretation Gesamtversuche	115
4.5.1	Prüfszenario I - Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von Klammern und Schrauben	115
4.5.2	Prüfszenario II - Reihenwirkung von Klammern und Modellbildungen.....	115
4.5.3	Prüfszenario III - Verformungsverhalten von Vollgewindeschrauben.....	115
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	116
6	Abbildungsverzeichnis	119
7	Tabellenverzeichnis.....	123
8	Literaturverzeichnis	125

1 Einleitung

Bei Hallenkonstruktionen werden als Dacheindeckung immer häufiger großformatig werksmäßig hergestellte Dachelemente verwendet. Durch eine spezielle scheibenmäßige Aktivierung können diese einen klassischen Windverband in der Dachebene ersetzen. Somit stellen Dachelemente bei der Verwendung als Scheibentragwerk eine Alternative zu herkömmlichen Aussteifungskonzepten dar.

1.1 Motivation und Problemstellung

Ein Großteil der derzeitigen Normenwerke und technischen Richtlinien (Eurocode 5¹, DIN 1052²) verlangen, dass bei der Anwendung von Dachscheiben in Verbundbauweise mit nicht hinterlegten Plattenstößen bestimmte geometrische Randbedingungen eingehalten werden. So darf zum Beispiel ein vereinfachter Nachweis bei nichthinterlegten Plattenstößen von Dach- und Deckenscheiben nur geführt werden, wenn diese die normmäßigen geometrischen Vorgaben erfüllen. Weiters muss die Krafteinleitung in die Scheibe als Gleichstreckenlast erfolgen.³

Um die Scheibentragwirkung von Dachelementen in Zukunft auch bei Dachelementtafeln ohne hinterlegten Plattenrändern bei größeren Abmessungen anwenden zu können (nicht mit geometrischen Vorgaben und Einschränkungen) soll durch spätere experimentelle Großversuche dazu ein Rechenmodell entwickelt werden.

Die Beschreibung von Dachelementen zur Bestimmung ihrer Tragfähigkeit und Steifigkeit hängt wesentlich von zu entwickelnden Vergleichsrechnungen mit Finite Elemente Modellen ab. Dazu müssen ganze Dachelemente mitsamt ihrer wirksamen stiftförmigen Verbindungsmittel in ein FE Statikprogramm eingeben und modelliert werden.

Bei diesen stiftförmigen Verbindungsmitteln handelt es sich hauptsächlich um Klammern und Schrauben welche die horizontalen Scheibenkräfte zwischen Beplankung und Holzrippen übertragen.

¹ (ÖNORM EN, 1995:2009-07-01)

² (DIN 1052, 2008-12-00)

³ (vgl. ¹)

Damit das zuvor erwähnte Rechenmodell aber mit den experimentellen Großversuchen übereinstimmt, müssen die Modellparameter wie Tragfähigkeit und Verformungsverhalten der Verbindungsmittel genau bekannt sein.

1.2 Vorgangsweise und Ziele der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, Verformungsparameter von verschiedenen stiftförmigen Verbindungsmittel (wie Klammern und Schrauben) in Abhängigkeit von verschiedenen äußeren Faktoren mittels experimenteller Untersuchung zu ermitteln und zu bewerten.

Zu den äußeren Faktoren zählen dabei die unterschiedlichen Bettungsmaterialien, in welche die Verbindungsmittel eingeschlagen, gedreht oder geschossen werden. Ebenso zählen dazu verschiedenste Belastungsrichtungen oder Belastungskombinationen.

Hand in Hand mit der Ermittlung der Verformungsparameter sollen auch wichtige Werkstoffeigenschaften analysiert werden um diese in die spätere Betrachtungsweise einbinden zu können. Die gewonnen Trag- und Verformungsparameter sollen ebenso mit den Werten der vorhandenen technischen Richtlinien und Normen verglichen, und Ursachen für ein eventuelles Abweichen beschrieben und interpretiert werden.

Das Ergebnis dieser Arbeit stellt somit eine Zusammenstellung von Verbindungsmittel-Parametern für zukünftige Computermodellrechnungen und Nachweisverfahren bei Scheibentragwerken im Holzbau dar.

Zu diesem Zweck werden Vorversuche definiert und eine Versuchsplanung ausgearbeitet. Im Anschluss daran wird eine größere Anzahl an Hauptversuchen festgelegt, Prüfkörper hergestellt und getestet. Die Zusammenfassung dieser Arbeit listet wesentliche Steifigkeits- und Tragfähigkeitsparameter für Verbindungsmittel auf, welche bei FE- Modellierungen von Dachscheiben als Gesamtsystem verwendet werden können. Die somit gewonnen Daten können nach einer Diskussion der Ergebnisse in Zukunft für neue Modelle von Dachtragwerken unter Scheibentragwirkung herangezogen werden und neue Erkenntnisse für die Aussteifung von Gebäuden mit Dach, Decken- und Wandscheiben liefern.

2 Grundlagen

Bei den Grundlagen wird auf die wichtigsten Punkte in Bezug auf die Funktion und Wirkungsweise von Scheibentragwerken eingegangen. Vor allem aber werden statische Grundlagen für die stiftförmige Verbindungsmittel und deren baustatische Modellbildung näher erläutert. Dabei wird auch kurz erklärt, wie das Funktionsprinzip einer Gebäudeaussteifung funktioniert, und wo Scheiben eingesetzt werden. Nicht eingegangen wird auf die Ermittlung von Scheibenkräften (welche aus Gesamtsystemen resultieren) oder die Bemessung einer Scheibe.

Dieses Kapitel gliedert sich deshalb in folgende Punkte:

- Grundlagen der Gebäudeaussteifung
- Scheibentragwerke im Holzbau
- Stiftförmige Verbindungsmittel
- Tragfähigkeit von auf Abscheren beanspruchter stiftförmiger Verbindungsmittel

2.1 Grundlagen der Gebäudeaussteifung

Gebäude ohne eine Aussteifung würden schlichtweg bei einer Belastung aus horizontaler Richtung (Imperfektionen, Wind, Erdbeben,...) „umfallen“. Darum ist der Nachweis der Gebäudeaussteifung ein wichtiger Bestandteil einer statischen Berechnung.

Die Berechnung und Bemessung von Aussteifungselementen wird im Zeitalter der Computertechnologie fast ausschließlich unter Zuhilfenahme von Computerprogrammen durchgeführt.

Die Ursachen von horizontalen Kräften können sein:

- Unvermeidliche Krümmungen und Schiefstellungen (Imperfektionen) von Druckgliedern
- Äußere Horizontallasten z.B. aus Wind, Erdbeben oder Massenkräften
- Kippkräfte welche bei schlanken Vollwandträgern unter Biegung entstehen
- Planmäßig geneigt stehende oder ausmittig belastete Stützen.

2.1.1 Einteilung der horizontalen Einwirkungen

Man unterscheidet:⁴

- veränderliche Einwirkungen
- außergewöhnliche Einwirkungen.

Dies bedeutet, dass Bauwerke gegen das Ausweichen in horizontaler Richtung stabilisiert beziehungsweise ausgesteift und gesichert werden müssen.

Dies kann durch folgende Komponenten erfolgen:

- Aussteifungsverbände (Fachwerke)
- Scheiben oder Schubfelder
- Rahmen
- Eingespannte Stützen
- Geschosdecken.

Bei den zuvor genannten Komponenten wird unterschieden, ob diese positionsbezogen in der Dach-, Decken- oder in der Wandebene liegen. So spricht man etwa von Dach-, Decken- oder Wandverbänden.

2.1.2 Beispiele für Hallenaussteifungskomponenten

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 2-1 bis Abbildung 2-3) zeigen Beispiele für Hallenaussteifungen.

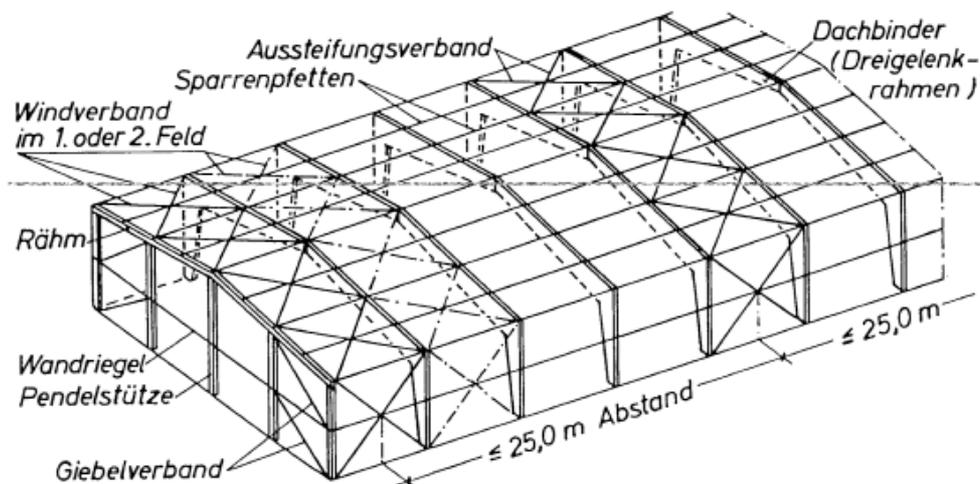


Abbildung 2-1: Dreigelenkrahmen als Hallenbinder mit Verbänden⁵

⁴ (Kolbitsch, 2009 S. 145)

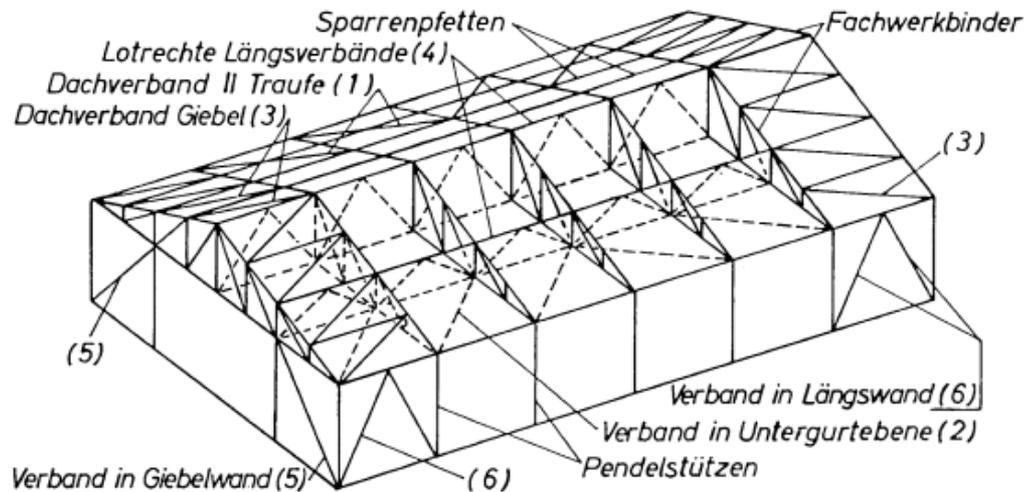


Abbildung 2-2: Fachwerkbinder mit Verbänden⁶

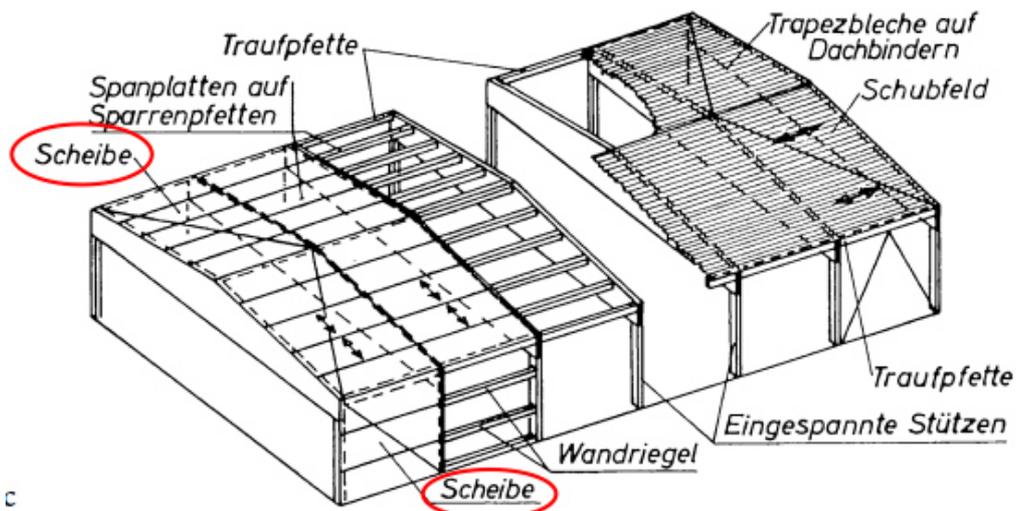


Abbildung 2-3: Satteldachbinder mit Dach- bzw. Wandscheiben⁷

In Abbildung 2-3 wird ersichtlich, dass Scheiben in der Dach und Wandebene eingesetzt werden können, was basierend nach *Werner (2010)* gezeigt wird.

Wie bereits zuvor erwähnt, befasst sich diese Arbeit hauptsächlich mit Verbindungsmitteln, welche bei Scheiben im Holzbau, vor allem aber bei Dachelementen, verwendet werden.

⁵ (Werner, et al., 2010 S. 173)

⁶ (vgl. ⁵, S. 173)

⁷ (vgl. ⁵, S. 173)

2.1.3 Begriffsdefinition Scheibe

Eine Scheibe ist ein ebenes Flächentragwerk dessen Grundrissdimensionen (Länge mal Breite) wesentlich größer sind als ihre Dicke. Die Hauptbeanspruchung der Scheibe erfolgt nur in seiner Ebene (eine gleichzeitige Beanspruchung auch aus der Ebene ist möglich – zum Beispiel durch das Eigengewicht bei einer Deckenscheibe). Scheiben können liegend als Dach- oder Deckenscheibe oder stehend als Wandscheibe eingebaut werden. Scheiben sind aus mehreren Bauteilen zusammengesetzt und stellen deshalb ein Verbundbauteil dar.

Im EC 1995-1-1 werden Scheiben als Decken, Dächer oder Wände bezeichnet, welche aus Platten aus Holzwerkstoffen bestehen, die über mechanische Verbindungsmittel mit einem Holzrippenwerk verbunden sind.⁸

Eine großflächige Scheibe kann auch aus mehreren kleineren Scheibenteilen, welche schubfest miteinander verbunden sind, bestehen. Dabei spielt der Verbund zwischen den Scheibenelementen (zum Beispiel die Fugenverschraubung) eine wichtige Rolle für die Eigenschaften und die Lastabtragung der Scheibe (Abbildung 2-4).

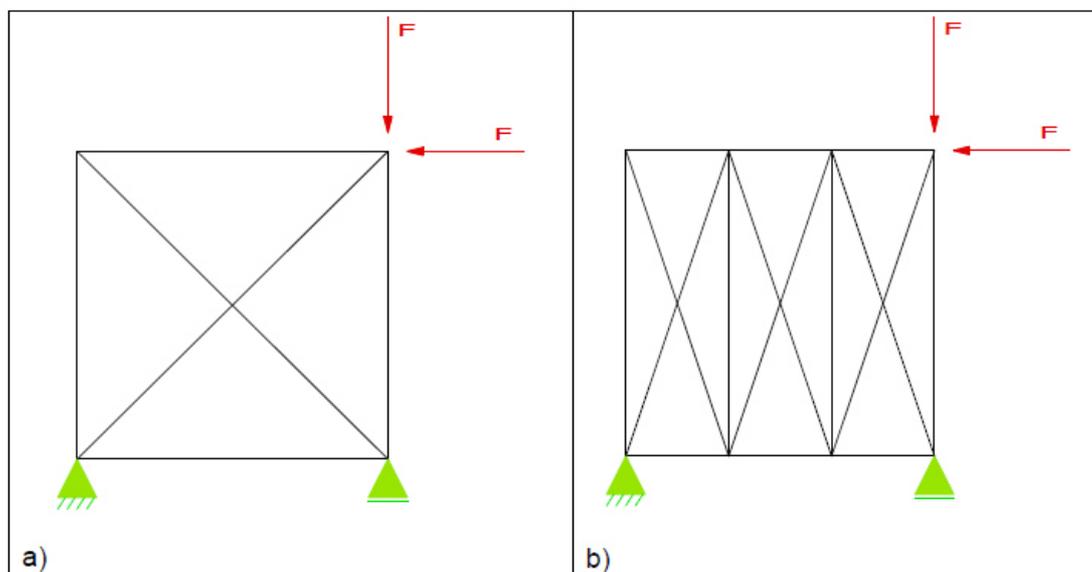


Abbildung 2-4 a/b: a) Stat. System einer Scheibe

b) Stat. System, Scheibe aus drei Elementen⁹

⁸ (ÖNORM EN 1995, S. 101)

⁹ (Thommen, 2009 S. 11)

2.2 Scheibentragwerke im Holzbau

2.2.1 Scheibe als Verbundbauteil

Scheiben im Holzbau bestehen aus den Rippen oder bei Dächern aus den Pfetten, einer Beplankung und ihren Verbindungsmitteln. Dabei handelt es sich zumeist um duktile Nägel, Klammern oder Schrauben. Die Beplankung aus Holzwerkstoffplatten kann einseitig oder beidseitig angeordnet sein und erfüllt auch statische Zwecke. Nur durch das Zusammenwirken der zuvor erwähnten Holzbauteile entsteht eine Scheibentragwirkung. Die Konstruktion kann in ihrer Ebene (als Scheibe) oder senkrecht zu ihrer Ebene (als Platte) Kräfte abtragen.

Heute beruht die Wirtschaftlichkeit von Dach-, Decken- oder Wandscheiben vor allem auf dem hohen Vorfertigungsgrad im Werk und den einfachen Verbindungen der Bauteile miteinander. Weiters kann der Platz zwischen den Rippen oder Pfetten als Dämmebene genutzt werden. Durch einen optimierten Materialeinsatz können dünne Beplankungswerkstoffe und schlanke Rippen eingesetzt werden, welche sich gegenseitig aussteifen und stabilisieren. Das Beulen der dünnen Holzwerkstoffplatten wird dabei durch die Befestigung auf den Rippen verhindert. Zusätzlich stellen die Platten die Knickhalterung der Rippen in der Ebene dar, da diese in Wandebene eine geringe Knicksteifigkeit aufweisen. Abbildung 2-5 zeigt ein vorgefertigtes Dachelement der *Fa. Rubner*.

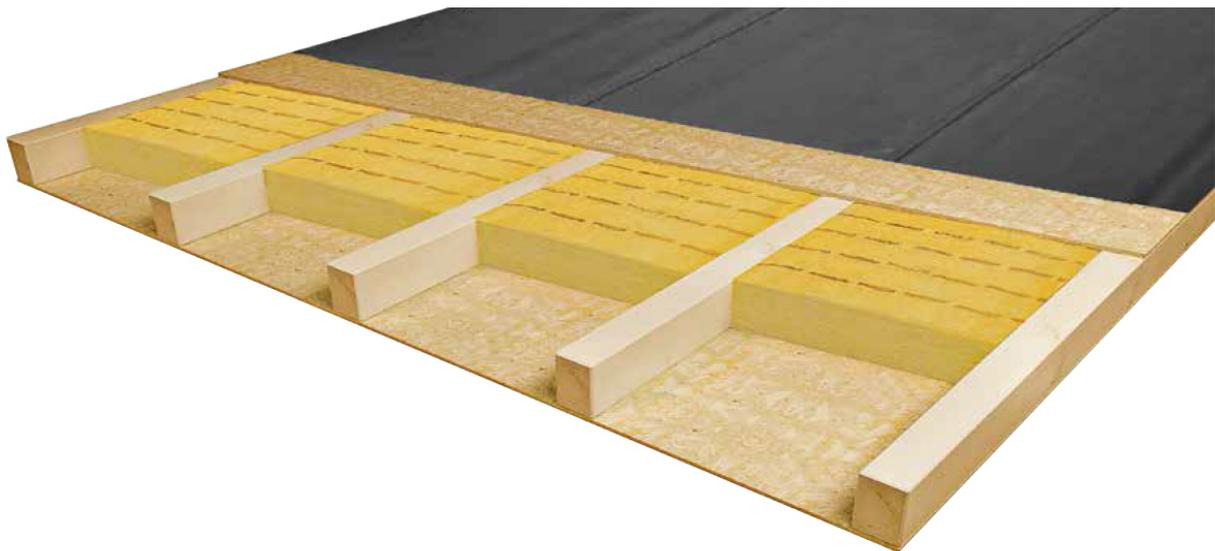


Abbildung 2-5: Schemazeichnung eines vorgefertigten Dachelements¹⁰

¹⁰ (Standardaufbau für Dachelemente *Fa. Rubner*, 2014)

Die Rippen sind stabförmige Bauteile, z.B. aus Konstruktionsvollholz, Brettschichtholz oder Furnierschichtholz. Ebenso können vorgefertigte Profilträger als Rippen zum Einsatz kommen. Die Beplankung ist ein flächiger Bauteil, dabei kann die Dicke je nach Beanspruchung und Anforderung an die Gebrauchstauglichkeit und das Material variieren. Die Breite der Rippen ist zumeist von den statischen Anforderungen oder der Mindestdämmstärke (Höhe der Dämmung zwischen den Rippen) abhängig. Die Anordnung der Rippen erfolgt meist in fix aufgeteilten Abständen, damit die Beplankungs- und Dämmungsbreite nicht variieren muss.

Eine Aussage über die Beplankungsränder und Beplankungsstöße findet sich in *M. H. Kessel*.¹¹

2.2.2 Randausführung und Konstruktionsdetails von Scheiben

Aus statischen, bauphysikalischen und verarbeitungstechnischen Gründen sind bis auf Ausnahmen alle Ränder der Beplankung einer Scheibe umlaufend mit Rippen, den Randrippen, verbunden (siehe Abbildung 2-6).¹²

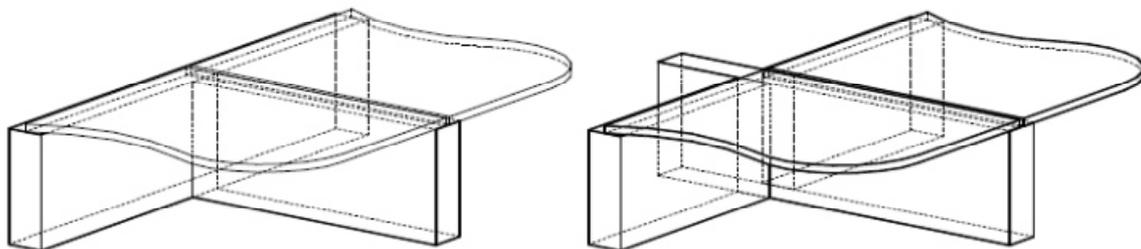


Abbildung 2-6: Mögliche Anordnung von Rand- und Innenrippe¹³

Die verbleibenden inneren Ränder der einzelnen Holzwerkstoffplatten können entweder mit Rippen verbunden oder frei von Rippen sein. Zur Beschreibung der Randausbildung der einzelnen Platten wird auch von schubsteifen, freien und schwebenden Beplankungsstößen gesprochen (siehe Abbildung 2-7 und Abbildung 2-8).

¹¹ (Kessel, SS 2010 S. 25-30)

¹² (vgl. ¹¹, S. 26)

¹³ (vgl. ¹¹, S. 26)

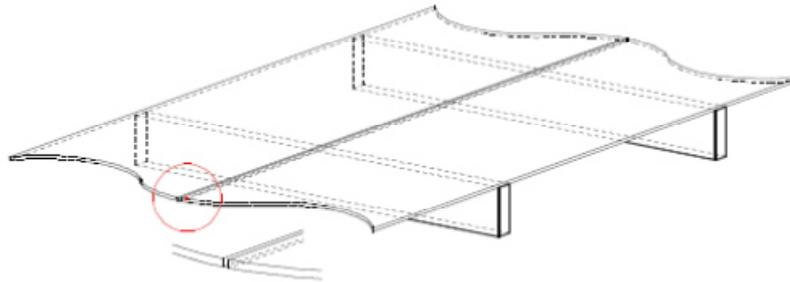


Abbildung 2-7: Beplankungsstoß mit freien Plattenrändern¹⁴

Durch die Vorfertigung von Scheibenelementen im Werk erreichen diese eine immer größere Bedeutung. Um mit den Holzwerkstoffplatten, welche als Beplankung dienen, wirtschaftlich und produktionstechnisch agieren zu können, werden häufig Elemente mit freien Plattenrändern gefertigt. Dabei werden Dach- oder Deckenelemente mit großen Spannweiten und fixen Rippenabständen hergestellt, die mit kleinformatigen Holzwerkstoffplatten beplankt sind. Der Vorteil bei kleinen Plattenformaten liegt in der wesentlich leichteren Handhabung durch die Produktionsmitarbeiter.

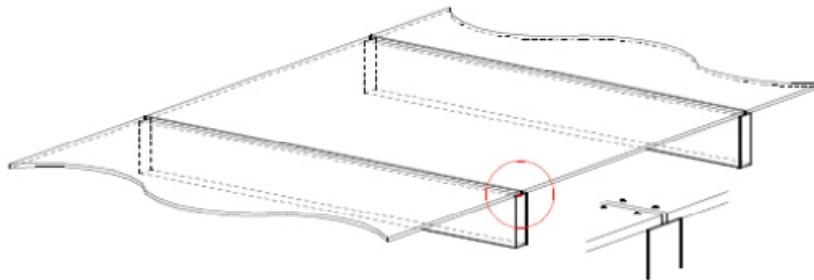


Abbildung 2-8: Beplankungsstoß mit schubsteifen Plattenrändern und durchl. Rippe¹⁵

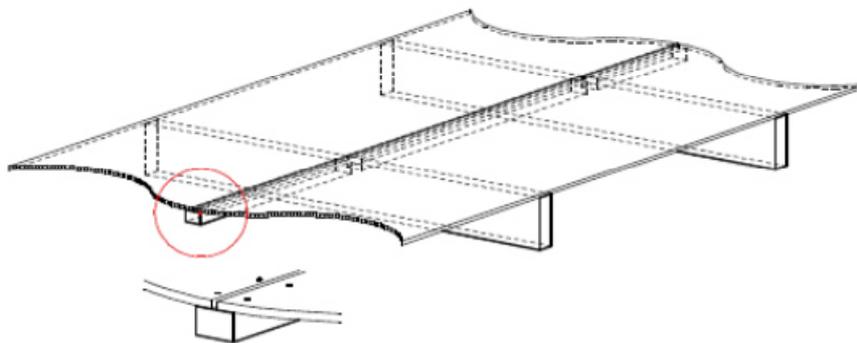


Abbildung 2-9: Beplankungsstoß mit schubsteifen Plattenrändern mit Stoßholz¹⁶

¹⁴ (vgl. Kessel, SS 2010 S. 26)

¹⁵ (vgl. ¹⁴)

¹⁶ (vgl. ¹⁴)

Der in Abbildung 2-9 gezeigte hinterlegte Plattenrand mit Stoßhölzern stellt eine Erweiterung des freien Plattenrandes dar und ist eine Zwischenform zum Beplankungsstoß mit durchlaufender Rippe welcher in Abbildung 2-8 gezeigt wird. Durch die Hinterlegung mit einem Stoßholz wird eine schubsteife Verbindung hergestellt, bei der eine große Menge an Holz im Vergleich zur durchlaufenden Rippe eingespart wird.

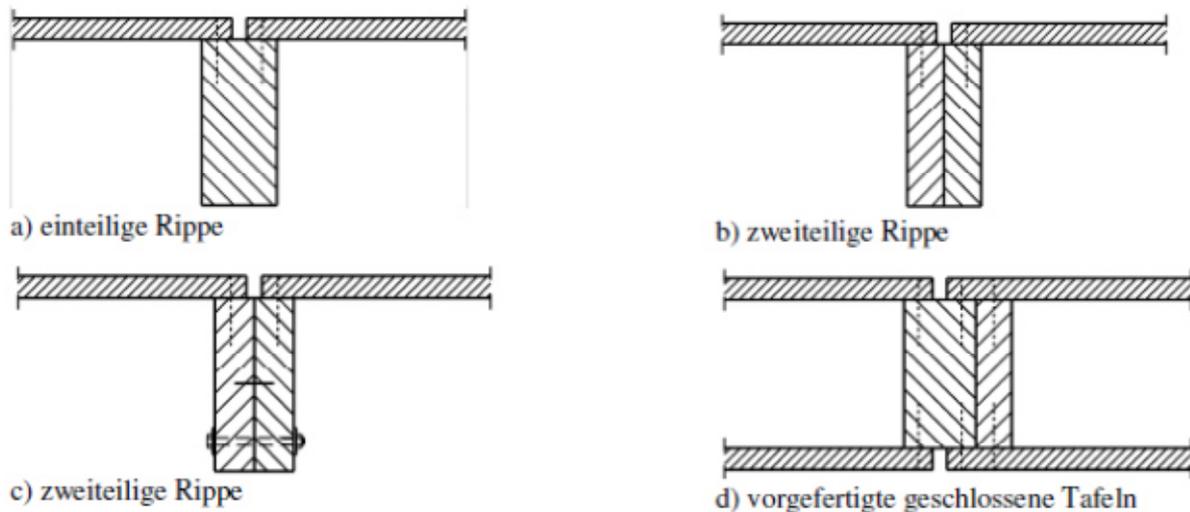


Abbildung 2-10: Ausführungsdetails von schubsteifen Beplankungsrändern¹⁷

In Abbildung 2-10 ist der Verbund zwischen mehreren Beplankungsrändern dargestellt. Eine weitere Möglichkeit um mehrere Einzelscheiben miteinander verbinden zu können, wird in Kapitel 2.2.6 erläutert.

2.2.3 Verbund von Rippen und Beplankung

Der Verbund von Rippen und Beplankung wird bei Scheiben durch stiftförmige Verbindungsmittel, das sind vor allem Klammern, Nägel oder Schrauben hergestellt.

Durch die schnelle automatische bzw. halbautomatische Einbringmöglichkeit von Klammern oder Nägel (Klammer- und Nagelpistolen) werden diese beiden Verbindungsmittel besonders häufig eingesetzt.

Die Gesamtsteifigkeit und das Tragverhalten einer Scheibe hängen auch wesentlich von der Anzahl der eingebrachten Verbindungsmittel ab. In den meisten Fällen wird eine kontinuierliche Verteilung der stiftförmigen Verbindungsmittel über die Rippenlänge angenommen (Abbildung 2-11).

¹⁷ (Kessel, SS 2010 S. 27)

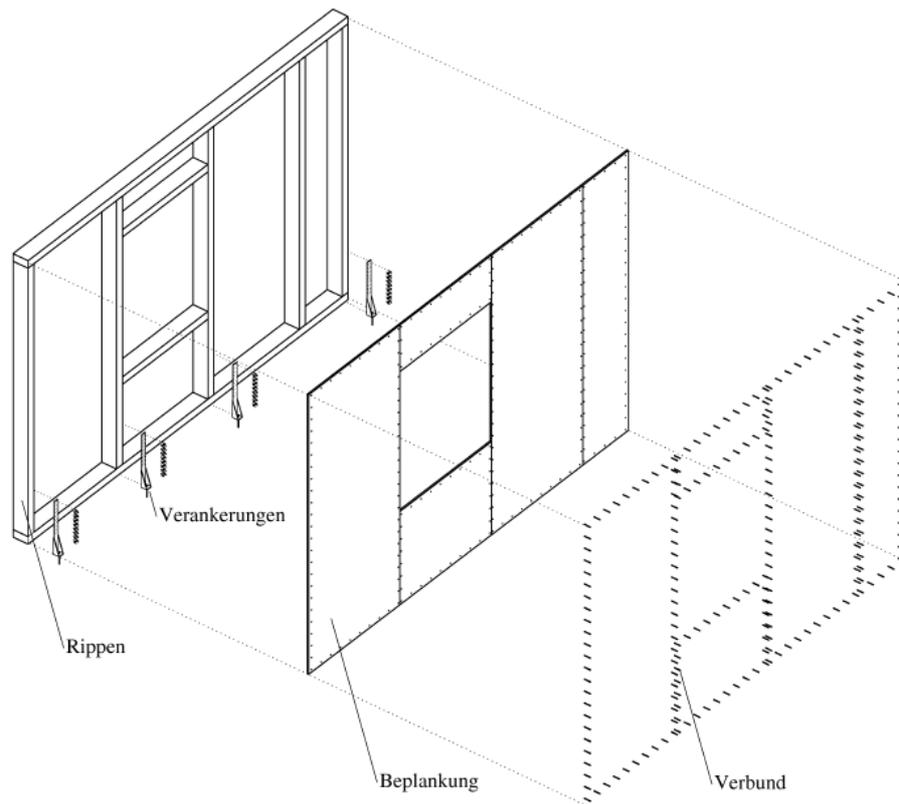


Abbildung 2-11: Explosionszeichnung einer Wandscheibe (Rippen, Beplankung, Verbindungsmittel)

Die Verbindungsmittel weisen zumeist eine hohe Duktilität auf. Die Eigenschaften dieser Verbindungen ergeben sich aus mehreren Material- und Geometrieparametern. Materialparameter sind das Fließmoment M_y und der Kopfdurchzieh Widerstand des Verbindungsmittels durch den Plattenwerkstoff f_{head} . Ein weiterer Materialparameter ist die Lochleibungsfestigkeit f_h von der Rippe und dem angrenzenden Beplankungswerkstoff.

Für bestimmte Werkstoffgruppen kann aus Tabellenwerken oder Lehrbüchern eine Kraft-Verschiebungskurve in Bezug auf die Lochleibungsprüfung nach EN383 entnommen werden.¹⁸

Für einfache Berechnungsmodelle können Kurven, wie in Abbildung 2-12 gezeigt, geglättet und für Simulationen verwendet werden.

¹⁸ (ÖNORM EN 383, 1993-10-01)

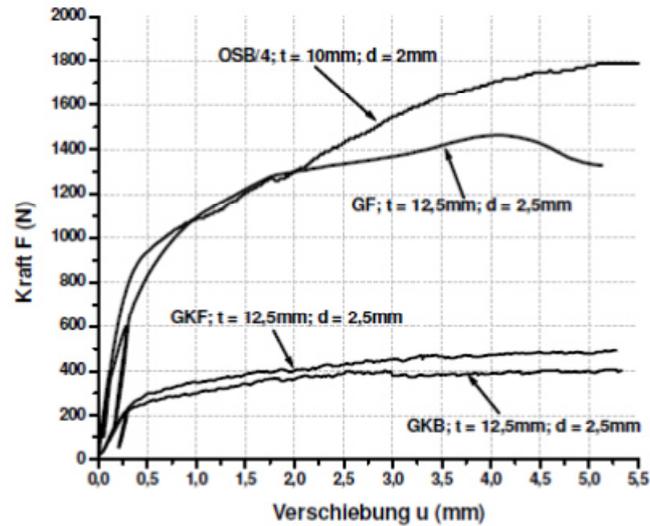
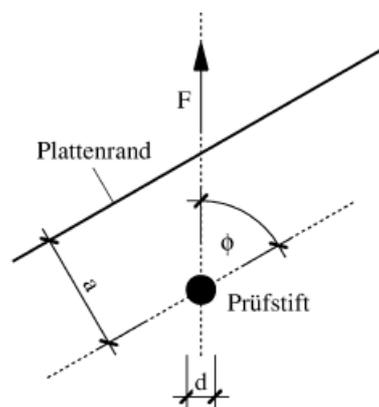


Abbildung 2-12: Lochleibungsprüfung nach EN 383

Wesentliche Geometrieparameter für die Beanspruchbarkeit des Verbundes sind neben der Plattendicke t und der Eindringtiefe des Verbindungsmittels in das Holz auch der in Abbildung 2-13 definierte Abstand a und der dort definierte Winkel φ . Dieser Winkel wird durch die vom Verbindungsmittel übertragene Kraft und dem Plattenrand eingeschlossen (Abbildung 2-13).¹⁹ Aus diesem Grund werden in Normen und Zulassungen für Verbindungsmittel in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser Mindestabstände angegeben.

Abbildung 2-13: Geometrieparameter bei Verbindungsmittel²⁰

Die beiden Geometrieparameter a und φ haben aber nicht nur einen Einfluss auf die Festigkeit sondern auch auf die Steifigkeit und das Tragverhalten des Verbundes. Dazu gibt

¹⁹ (Kessel, SS 2010 S. 29)

²⁰ (vgl. ¹⁹)

es in der Literatur meist nur Studien in Bezug auf die Anwendung bei Gipskartonplatten als Beplankungswerkstoff.

Es ist bekannt, dass die Eindringtiefe eines stiftförmigen Verbindungsmittels einen wesentlichen Einfluss auf seine Tragfähigkeit besitzt. Daher müssen für die Anwendung verschiedener Traglastmodelle (z.B. *Modell von Johansen*²¹) Mindesteindringtiefen oder Mindestwerkstoffdicken eingehalten werden. Bei Nägeln und Schrauben, welche einen Kopf besitzen, und bei Klammern mit einem Klammerrücken, hat zusätzlich die Einbringtiefe Bedeutung auf die Tragfähigkeit.²² Dies bedeutet, dass sich die Tragfähigkeit und Steifigkeit einer Verbindung mit dem Maß ändert, wenn der Kopf oder der Rücken in kraftschlüssigen Kontakt mit der Beplankung stehen oder nicht (siehe Abbildung 2-14).

In technischen Zulassungen wird ein bündig eingeschlagenes Verbindungsmittel vorausgesetzt.

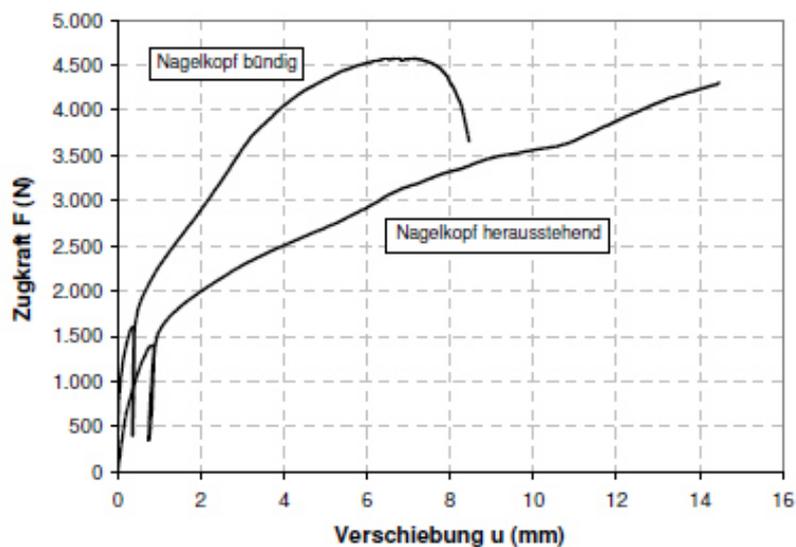


Abbildung 2-14: Kraft-Weg Diagramm in Abhängigkeit der Einbringtiefe²³

Während das Tragverhalten von Verbindungen mit herausstehendem Kopf sehr gut mit dem *Modell von Johansen* beschrieben werden kann, liefert dieses für die Verbindung mit bündigem Nagelkopf nur 60% der Steifigkeit und Tragfähigkeit. Der Grund hierfür liegt darin, dass das *Johansen Modell* nur die Beanspruchung des Verbindungsmittels auf Abscheren und

²¹ (Johansen, 1949)

²² (Kessel, SS 2010 S. 31)

²³ (vgl. ²²)

Biegung berücksichtigt, nicht aber die Beanspruchung auf Zug. Zur Berechnung der aus der Zugbeanspruchung resultierenden höheren Tragfähigkeit wird neben dem Fließmoment und der Lochleibungsfestigkeit die Durchziehfestigkeit des Nagelkopfes oder des Klammerrückens durch das Beplankungsmaterial und die Ausziehfestigkeit des Verbindungsmittels aus dem Holz benötigt.²⁴

Der Verbund der Rippen untereinander erfolgt meist nur konstruktiv für den Zusammenbau. Diese Verbindungen stellen oft nur eine Lagesicherung dar und werden mit Hilfe von Wellennägeln (siehe Abbildung 2-15) oder Zugschrauben mit Teilgewinde ausgeführt und haben daher keine Auswirkung auf die Tragfähigkeit einer Scheibe.



Abbildung 2-15: Verbindung der Rippen durch Wellennägel

2.2.4 Tragverhalten von Scheiben- Schubfeldtheorie

Scheiben sind im Holzbau immer ebene flächige Teile eines Tragwerks die in ihrer Fläche belastet sind. Der Verbund der einzelnen Bauteile erfolgt mit duktilen Verbindungsmitteln über die Randrippen. Scheiben können auch senkrecht zu ihrer Ebene durch Eigengewicht, Schnee, Wind oder Verkehr beansprucht sein. Als statisches System kann eine Scheibe somit auch gleichzeitig als Platte wirken.

²⁴ (Kessel, SS 2010 S. 31)

Früher wurde der Scheibennachweis mit Zug- und Druckdiagonalen geführt. Diese Annahmen sind aber aus einigen Gründen nicht zutreffend. So kann sich eine Zugdiagonale nur einstellen, wenn die Beplankung ausbeult. Dies wurde aber durch definierte Mindestdicken bei der Beplankung ausgeschlossen.²⁵

Das Tragverhalten von Scheiben und die Scheibennachweise werden daher nun auf der Grundlage der Schubfeldtheorie ermittelt und geführt.

Für die Bemessung von Trapeztragschalen im Hallenbau wird diese Methode bereits seit den 1970er Jahren angewandt. Erst durch Versuche wurde die Schubfeldtheorie relativ spät für den Holzbau anwendbar.

Für den Fall eines Scheibenelements kann eine ideelle Scheibe unter folgenden Bedingungen angenommen werden:²⁶

- alle Ränder sind durch Rippen (Randrippen) unterstützt,
- die Kräfte, die in der Ebene der Scheibe wirken werden entlang von Verteilern (Rand- oder Innenrippen) kontinuierlich in die Beplankung eingeleitet,
- Beplankung und Rippen sind über Verbindungsmittel kontinuierlich verbunden,
- damit wird der Verbund Rippe- Beplankung durch einen kontinuierlichen Schubfluss entlang der Rippen beansprucht
- die Beplankung beult nicht aus.

Weiters gelten folgende Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Schubfeldtheorie

- Rippen und Beplankung sind im Verhältnis zu den Verbindungsmitteln sehr steif, wobei eine Plastifizierung der Verbindungsmittel vorausgesetzt wird (darum duktile stiftförmige Verbindungsmittel)
- die Traglast wird durch die Tragfähigkeit der Verbindungen bestimmt, wobei Randrippen und Beplankung intakt bleiben.

Abweichungen von diesen Randbedingungen für eine ideelle Scheibe sind nur unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen erlaubt.

²⁵ (Colling, 2011 S. 5)

²⁶ (Colling, 2011 S. 6-7)

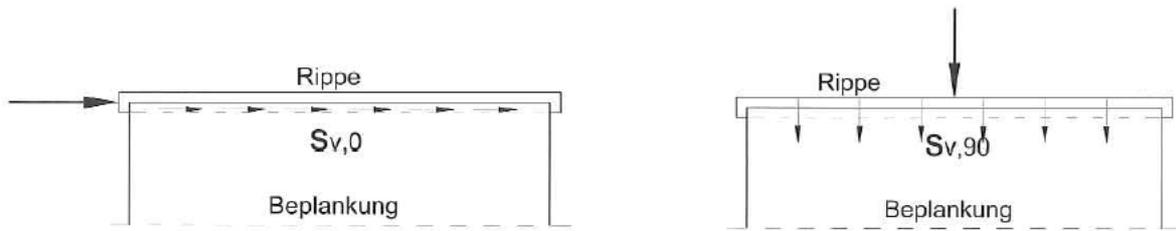


Abbildung 2-16: Schubfluss $s_{v,0}$ und $s_{v,90}$ ²⁷

Abbildung 2-16 zeigt die zwei möglichen Beanspruchungen einer Scheibe:

- $s_{v,0}$: Schubfluss parallel zu den Rippen (ideelle Scheibenbeanspruchung)
- $s_{v,90}$: Schubfluss rechtwinklig zu den Rippen (Zusatzbeanspruchung).

In einem Schubfeld treten Schubspannungen immer paarweise auf. Dies ist in Abbildung 2-17 zu erkennen. Der Schubfluss $s_{v,0}$, welcher in der Beplankung über der oberen Randrippe der Scheibe auftritt, verursacht ebenso in der Beplankung über der unteren Randrippe (Gurt) einen Schubfluss $s_{v,0}$.

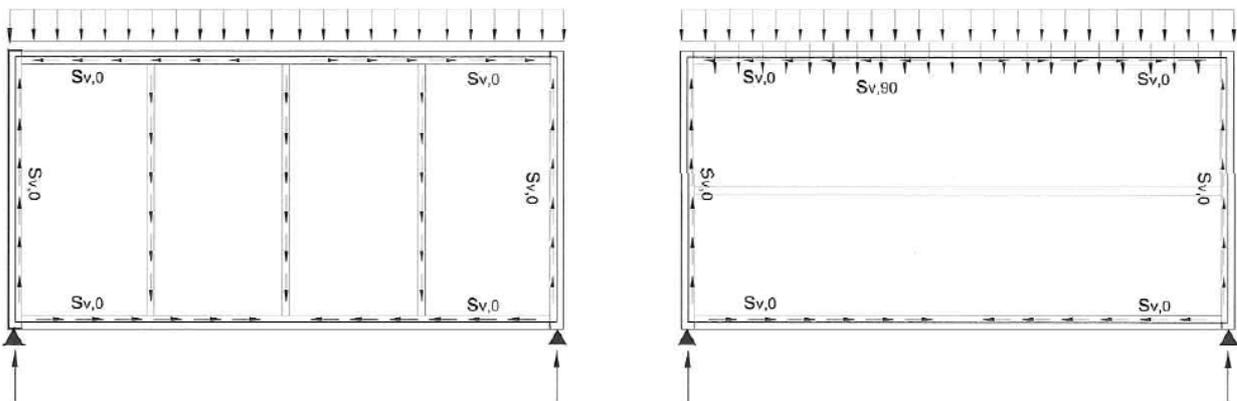


Abbildung 2-17: Schubfluss zwischen Beplankung und Pfetten (Rippen)²⁸

Die Ergebnisse dieser Schubfeldtheorie lassen sich aber ohne Einschränkung nicht auf beliebige Vielecke übertragen.

In Abbildung 2-17 ist ersichtlich, dass bei einer Lasteinleitung rechtwinklig zu den Randrippen der Obergurt der Scheibe mit einer zusätzlichen Kraft ($s_{v,90}$) beansprucht wird. Bei einer Scheibenbemessung ist dies bei der Verbindungsmitteldimensionierung zu berücksichtigen.²⁹

²⁷ (Colling, 2011 S. 7)

²⁸ (Colling, 2011 S. 9)

²⁹ (Colling, 2011 S. 5)

Ideelles Schubfeld

Bei einem ideellen Schubfeld findet unter reiner Scheibenbeanspruchung nur eine Kraftübertragung parallel zu den Randrippen statt. Dabei müssen aber die zuvor genannten Randbedingungen eingehalten werden. Zur Veranschaulichung der Wirkungsweise von Scheiben in Holzbauweise ist es hilfreich, Rippen und Beplankung getrennt voneinander darzustellen (siehe Abbildung 2-18).

An einem so in Einzelteile zerlegtem System ist es möglich, die Kraftübertragung von der Rippe auf die Beplankung anschaulich darzustellen.³⁰ Für das Tragverhalten eines Schubfeldes ist es dabei nicht erforderlich, dass die Rippen untereinander verbunden sind. Eine Möglichkeit, diese konstruktiv mit Wellennägeln zu verbinden ist daher bereits in Abbildung 2-15 gezeigt worden.

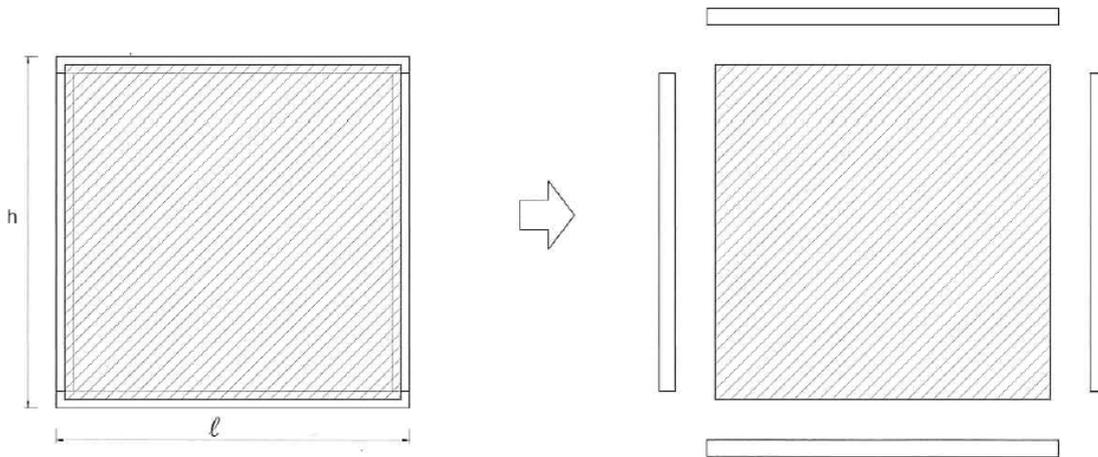


Abbildung 2-18: Zerlegtes Scheibenelement - Rippen + Beplankung³¹

Bei einer computerbasierten Modellierung mit FE-Methoden erfolgt meist ebenso eine Zerlegung der Scheibe in Rippen und Beplankung. Dabei wird die Beplankung als Fläche modelliert und die Rippen und Verteilerpfetten als Stäbe, welche in ihren Kreuzungspunkten miteinander gelenkig verbunden sind.

Die wesentlichen Grundlagen eines ideellen Schubfeldes sind:

- im Schubfeld sind die Schubflüsse in allen Rändern umlaufend gleich groß
- es treten nur Schubflüsse parallel zu den Randrippen auf – $s_{v,0}$
- die Krafteinleitung in die Beplankung erfolgt über Rippen.

³⁰ (Colling, 2011 S. 10)

³¹ (vgl. ³⁰)

Sollte kein ideales, sondern ein praxisübliches "reales Schubfeld" vorliegen, so sind die zusätzlich auftretenden Beanspruchungen zu berücksichtigen. Dies kann durch zum Beispiel eine Windeinwirkung an der Giebelseite eines Gebäudes hervorgerufen werden, wenn diese Einwirkung rechtwinkelig zu den Randrippen erfolgt (Spannrichtung der Rippen/Pfetten in Richtung Traufe-First). Diese Einwirkungen verursachen einen Schubfluss $s_{v,90}$, welcher beachtet werden muss. In Abbildung 2-19 ist eine Detailansicht von Rippe und Beplankung unter den verschiedenen Schubflusseinwirkungen ersichtlich.

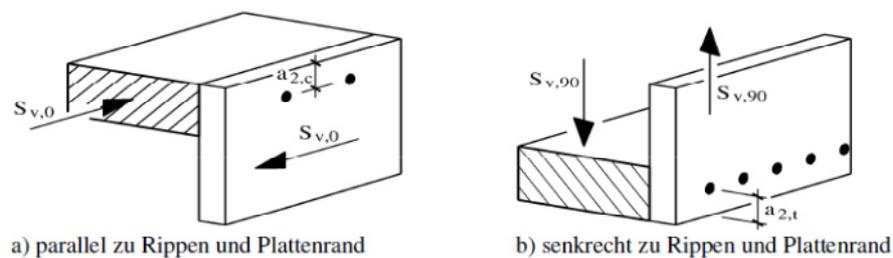


Abbildung 2-19: Beanspruchung einer Verbindung von Beplankung mit Rippe³²

Der Spannungszustand bei Scheiben mit dicken, nicht beulenden Beplankungen kann auch mit Hilfe der Schubfeldtheorie nach zum Beispiel *Czerwenka und Schnell* (1967) bestimmt werden.³³ Dieser ist in gewisser Weise analog dem Membranspannungszustand von Schalen.³⁴ Dieses statische Modell wird als Übersicht in Abbildung 2-20 erläutert.

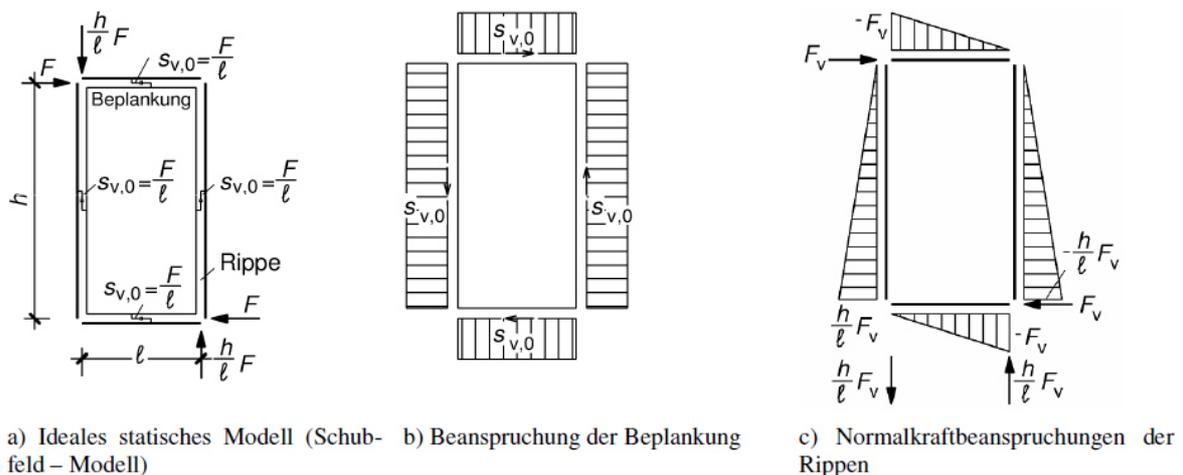


Abbildung 2-20: Ideales statisches Modell für Schubfelder³⁵

³² (Kessel, SS 2010 S. 38)

³³ (Schnell, et al., 1967)

³⁴ (vgl. ³²)

³⁵ (vgl. ³²)

Auch wenn nur die Beplankung als Scheibe mit einem Schubfluss beansprucht wird, versteht man den gesamten Verbundbauteil (Rippen und Beplankung) als Scheibe.

Die Verformung einer Scheibe unter Beanspruchung ist sehr vom nachgiebigen Verbund zwischen Rippen und Beplankung abhängig. Die wichtigste Aussage über das Verformungsverhalten der Verbindungsmittel liefert daher der Verschiebungsmodul K_{ser} eines einzelnen Verbindungsmittels.³⁶

2.2.5 Arten von Scheiben

Grundsätzlich kann man Scheibentragwerke im Holzbau in folgenden Teilbereichen finden:

- Dachscheiben
- Deckenscheiben
- Wandscheiben.

Da für Dach- und Deckenscheiben die gleichen Regelungen gelten, werden sie in der Literatur zumeist gemeinsam behandelt.

Dach- und Deckenscheiben

Dach- und Deckentafeln sind rechteckige Tafeln mit einer Länge l (= Stützweite) und einer Höhe h (= in Richtung der Belastung - auch Scheibenhöhe genannt).

Bei diesen Scheiben ist es möglich, freie Plattenstöße (quer zu den Innenrippen) anzuordnen. Diese Scheiben stellen somit keine ideellen Schubfelder dar. Werden aber die nachfolgend erwähnten Bedingungen als Kompensation für die freien Plattenränder eingehalten, so dürfen die statischen Nachweise dennoch mithilfe der Modelle für ein ideelles Schubfeld geführt werden:³⁷

- die Platten sind um mindestens einen Rippenabstand versetzt
- der Rippenabstand a_R beträgt höchstens das 0,75-fache der Seitenlänge der Beplankungsplatten
- die Platten sind mit allen Rippen kontinuierlich verbunden
- maximal zwei freie Stöße je Scheibenelement bzw. $l < 12,5\text{m}$
- Einhaltung einer Mindestplattenstärke als Beplankung.

³⁶ (ÖNORM EN, 1995: 2009-07-01)

³⁷ (Colling, 2011 S. 114)

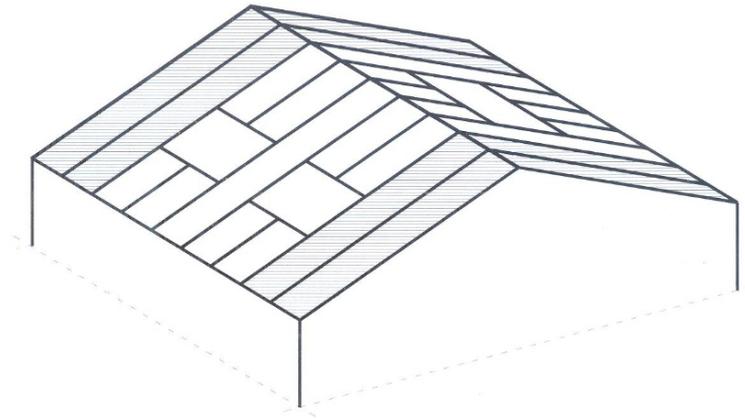


Abbildung 2-21: Teilaktivierte Dachscheibenfläche³⁸

Üblicherweise werden Dachelemente nur in Teilbereichen als Scheibe ausgebildet (Abbildung 2-21). Dies bedeutet, dass zum Beispiel Felder mit großen Öffnungen, welche idealerweise in der Mitte der Dachfläche liegen, nicht zur Abtragung der Scheibenkräfte verwendet werden.

Wie bereits im Kapitel 2.1.1 erwähnt, steifen Deckenscheiben Gebäude gegen Wind oder Erdbebeneinwirkungen aus. Bei Deckenscheiben gibt es ebenso die Möglichkeit, diese als gesamte Scheibe oder nur in Teilbereichen als Scheibe auszubilden. Wird die gesamte Fläche einer Decke als Scheibe ausgebildet, so müssen die vorhandenen Öffnungen speziell betrachtet werden. Dies führt unter Umständen dazu, dass Verteilerrippen (siehe Abbildung 2-22) eingebaut werden müssen, welche die Störkräfte aus den Öffnungen in die Beplankung einleiten sollen.³⁹

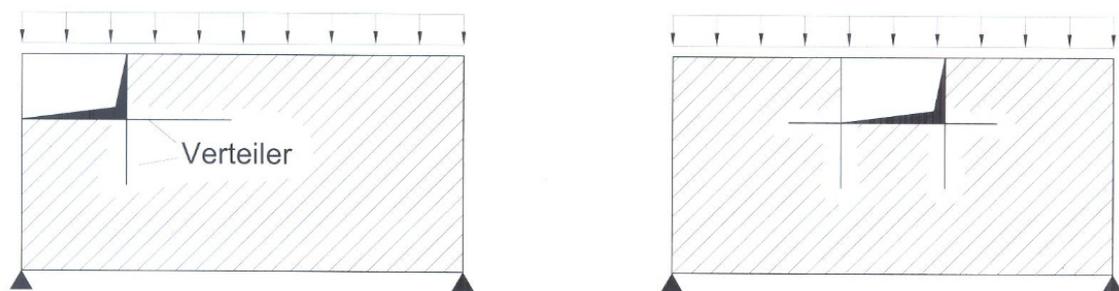


Abbildung 2-22: Verteilerrippen bei Deckenscheiben⁴⁰

³⁸ (Colling, 2011 S. 116)

³⁹ (Colling, 2011 S. 117)

⁴⁰ (Colling, 2011 S. 125)

Wandscheiben

Eine Wandscheibe ist eine Scheibe der Länge L und der Höhe H, mit in regelmäßigen Abständen angeordneten, vertikalen Rippen und horizontalen Kopf- und Fußfetten. Dieser Rahmen wird mit einer Beplankung kontinuierlich verbunden und die Lastenleitung erfolgt in den meisten Fällen über die Kopfrippe. Wie bereits erwähnt, kann eine Wandtafel in ihrer Ebene sowohl vertikal als auch horizontal beansprucht werden.⁴¹

Die Scheibenbeplankung kann ein- oder beidseitig ausgeführt werden, wobei nicht hinterlegte, beziehungsweise nicht schubsteif ausgeführte Plattenränder wie in Kapitel 2.2.2 erläutert, nicht zulässig sind.

Wie bei Decken- oder Dachscheiben werden zumeist nicht alle Wände eines Geschoßes als aussteifende Elemente heran gezogen. Wandelemente mit großen Öffnungen gelten als nicht aussteifend. Bei kleineren Bauwerken kann es sinnvoll sein, nur die Außenwände zur Aussteifung heranzuziehen, um eine möglichst variable Innenaufteilung der Räume zu ermöglichen.⁴²

Bezüglich der Anordnung der Wandscheiben gelten folgende Mindestanforderungen:⁴³

- funktionierende Deckenscheiben oder äquivalentes Tragsystem in der Decke/ Dach
- mind. drei Wandscheiben in zwei verschiedene Richtungen
- die Wandscheiben müssen sich in mind. zwei Punkten schneiden.

2.2.6 Verbindung mehrerer Scheibenelemente

Bei der Vorfertigung von Scheibenelementen im Werk werden diese anschließend auf der Baustelle als Dach- oder Deckenelemente mit einer Fuge (Toleranzausgleich) verlegt. Die Verbindung zwischen den beiden Elementrandrippen kann, wie bereits in Abbildung 2-10 gezeigt, vorgenommen werden. Eine weitere Möglichkeit wäre, ein Stoßbrett (siehe Abbildung 2-23), welches in der Ebene der Beplankung liegt, einzulegen und mit den Randrippen kontinuierlich zu Verbinden.

Um aber die Arbeitszeiten auf der Baustelle so gering wie möglich zu halten und kein zusätzliches Material vor Ort lagern zu müssen (z.B. Streifen des Beplankungsmaterials)

⁴¹ (Colling, 2011 S. 63)

⁴² (Colling, 2011 S. 64)

⁴³ (vgl. ⁴²)

können die Randrippen untereinander auch verschraubt werden. Dabei werden Vollgewindeschrauben als Verbindungsmittel gewählt.

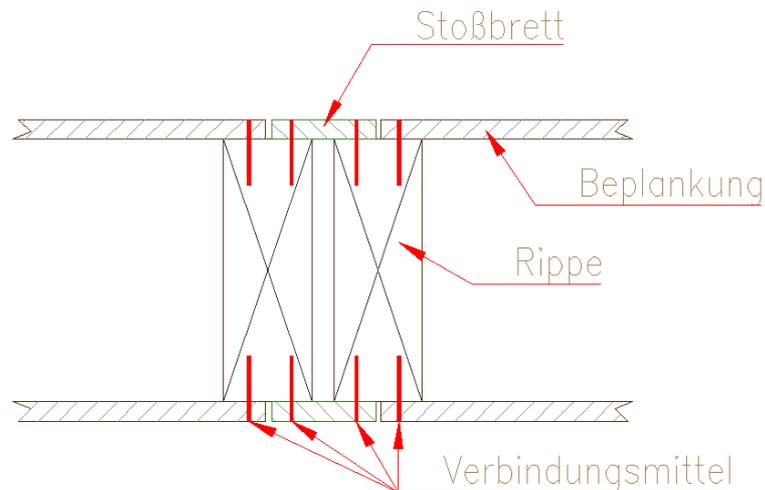


Abbildung 2-23: Elementverbindung mit Stoßbrett

Die Schrauben werden dabei unter einem Winkel von $2 \times 45^\circ$ in die Randrippen (siehe Abbildung 2-24 ersichtlich) eingedreht. Die Bemessung der Schraubenverbindung erfolgt nach dem jeweiligen berechneten Schubfluss in der Stoßachse. Dabei kann der Abstand der Vollgewindekreuze variieren.

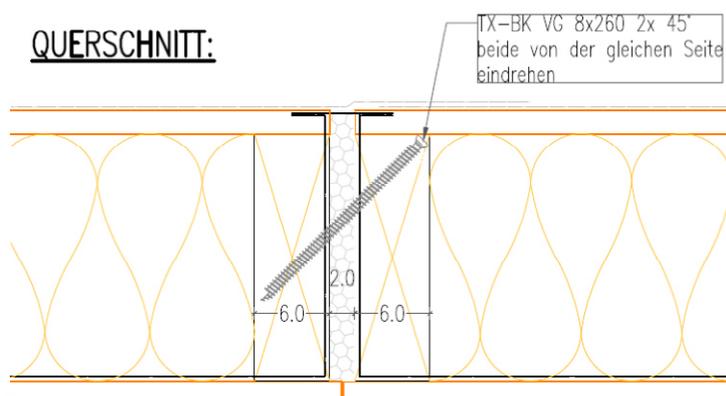


Abbildung 2-24 a) und b): Fugenverschraubung mit Vollgewindekreuzen⁴⁴

Die entstehende Montagefuge zwischen den Randrippen wird im Anschluss mit einem Bauschaum luftdicht verfüllt.

⁴⁴ (Standarddetail Fa. Rubner, 2014)

2.3 *Stiftförmige Verbindungsmittel*

Stiftförmige Verbindungsmittel werden für die Übertragung von Scherkräften zwischen Holz- und Stahlbauteilen schon lange eingesetzt.

2.3.1 Typen stiftförmiger Verbindungsmittel

Nach ihrer Bauart unterscheidet man meist drei Gruppen:⁴⁵

- Klammern und Nägel aus hochwertigem Stahl mit Drahtdurchmessern von zirka 1,5 mm bis 6,0 mm
- Selbstbohrende Schrauben aus vergütetem Stahl mit Nenndurchmessern (=Außengewinde Durchmesser) von 6 mm bis 13 mm und
- Stabdübel bzw. Bolzen aus Baustahl mit Durchmessern von zirka 7 mm bis 30 mm.

Allgemein werden an Verbindungen im Holzbau - unterschieden nach Stößen und Anschlüssen - die nachfolgend genannten Anforderungen gestellt:⁴⁶

- technische Anforderungen
 - hohe Tragfähigkeit bzw. hoher Wirkungsgrad
 - hohe Steifigkeit
 - hohe Duktilität bzw. duktiles Verhalten
 - günstiges Verhalten bei Brandeinwirkung
- wirtschaftliche Anforderungen
 - kostengünstige Verbindungsmittel und Verbindungsteile
 - rationelle Fertigung
 - einfacher Entwurf und Bemessung.

Ebenso lassen sich stiftförmige Verbindungsmittel nach dem auftretenden Kraftfluss unterscheiden:

- vorwiegend auf Abscheren
- vorwiegend auf Herausziehen

⁴⁵ (G. Hochreiner, 2013 S. 275)

⁴⁶ (G. Schickhofer, 2007 S. A-2)

- kombiniert, auf Abscheren und Herausziehen.

Da bei Scheibentragwerken die Verbindungsmittel zumeist auf Abscheren beansprucht werden, wird hier nicht explizit auf die Eigenschaften für stiftförmige Verbindungsmittel auf Herausziehen eingegangen.

Bei Klammern und Nägel sind neben Kreisquerschnitten auch Rechteckquerschnitte zu finden. Mit Bezug auf die Faserrichtung der Holzanschlussbauteile können stiftförmige Verbindungsmittel unter beliebigem Winkel von 0° bis 90° zwischen Stiftachse und Faserrichtung eingebaut werden.

Mit Bezug zur Scherfläche können stiftförmige Verbindungsmittel entweder senkrecht oder unter einem beliebigen Winkel zwischen Scherfläche und Achse des Verbindungsmittels angeordnet sein. Im letzteren Fall ändert sich das System der Lastabtragung von Biegung, Schub und Bettung senkrecht zur Achse des stiftförmigen Verbindungsmittels zu Gunsten von Zug- und Druckkräften analog zu geneigten Fachwerksdiagonalen.⁴⁷

Die äußere Belastung von stiftförmigen Verbindungsmitteln kann entweder parallel zur Achse oder in beliebiger Richtung in der Ebene senkrecht zur Achse aufgebracht werden.

2.3.2 Modell von Johansen

Für die Berechnung der Tragfähigkeit von vorwiegend auf Abscheren beanspruchten Verbindungen hat sich das bereits 1949 von *Johansen*⁴⁸ veröffentlichte Modell (Duktilität der Verbindung, siehe Abbildung 2-25) international durchgesetzt. In diesem (experimentell bestätigten) Tragmodell von *Johansen* wird vorausgesetzt, dass keine spröden Holz-Versagensformen (z.B. Aufspalten oder Scherversagen im Verbindungsmittelbereich) auftreten und sowohl der biegebeanspruchte Stahlbolzen als auch das Holz unter Lochleibungsdruck ein ideal (starr)-plastisches Materialverhalten aufweisen.

Im Rahmen dieses Modells lässt sich die Tragfähigkeit pro Verbindungsmittel und Scherfuge unter Heranziehung eines ideal- plastischen Materialverhaltens für die an der Verbindung beteiligten Komponenten Holz bzw. Holzwerkstoffe (Materialparameter "Lochleibung") und Stift (Materialparameter "Fließmoment") unter Berücksichtigung verschiedener

⁴⁷ (G. Hochreiner, 2013 S. 276)

⁴⁸ (Johansen, 1949)

Versagensmodi ermitteln. Die Tragfähigkeit berechnet sich anschließend unter Berücksichtigung einer effektiven Verbindungsmittelanzahl n_{ef} .⁴⁹

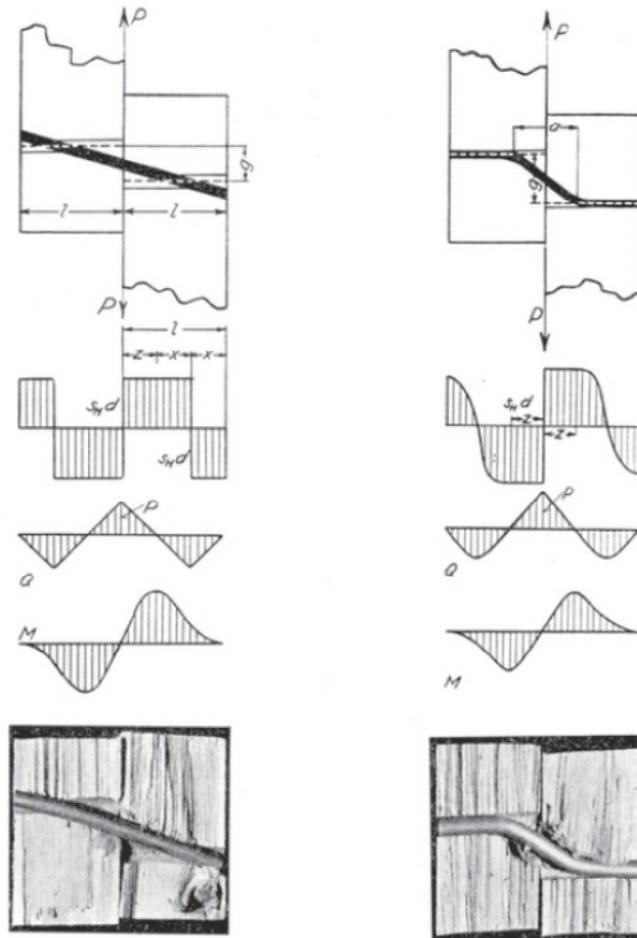


Abbildung 2-25: Einschnittige Holz-Holz Verbindungen⁵⁰

Durch die Versuche auf Abscheren von stiftförmigen Verbindungsmittel wurden durch *Johansen* folgende Erkenntnisse gewonnen:⁵¹

- Mit dem Überschreiten der elastischen Lochleibungsfestigkeit beginnt Holz sich bei Beanspruchung parallel zur Faser in der Kontaktfuge plastisch zu verformen. Dies führt zu einer beachtlichen Hohraumbildung. Außerhalb des unmittelbaren Bereichs der Kraftübertragung zeigt die Umgebungsmatrix Holz keine erkennbaren elastischen Verformungen.

⁴⁹ (G. Schickhofer, 2007 S. A-3)

⁵⁰ (Johansen, 1949)

⁵¹ (G. Hochreiner, 2013 S. 276)

Das Last- Verformungsverhalten des stiftförmigen Verbindungsmittels ist damit mit einem elastisch, ideal plastischen Materialverhalten vergleichbar.

- Beim Erreichen von größeren Biegeverformungen kommt es zu einer deutlichen Ausbildung von plastischen Gelenksrotationen an charakteristischen Stellen. Die Größe dieses Biegemoments wurde von *Johansen* mit dem elastischen Grenzmoment limitiert. Die wesentliche Änderung dieses Konzepts bis heute, war die Erhöhung des elastischen Grenzwertes auf die Größe des plastischen Grenzmomentes.

- In Abhängigkeit von geometrischen Abmessungen der Anschlussbauteile und unterschiedlichen Materialfestigkeiten der Verbindungsmittel können sich unterschiedliche Tragmechanismen einstellen. Diese Mechanismen werden durch ihre Anzahl an Fließgelenken charakterisiert.

Damit diese "höhere plastische Tragfähigkeit" erreicht werden kann, muss die oben angeführte Verbindung eine ausgeprägt duktile Versagensart (d.h. plastische Deformation der Stahlstifte oder Stahlbolzen) aufweisen.

- Bei der Verwendung von Bolzen mit Beilagscheiben an den Enden und erheblichen Relativverformungen benachbarter Scherfugen wird das Tragvermögen von den stiftförmigen Verbindungsmitteln auf Lochleibung zusätzlich durch Reibungskräfte zwischen den Scherflächen überlagert. Die dafür nötige Druckkraft entspricht annähernd der Zugkraft im Bolzen. Die resultierende Last- Verschiebungskurve zeigt eine deutliche Verfestigung jenseits der elastischen Grenzlast (siehe auch Abbildung 2-14).
- Durch das Bewusstsein des Aufspaltens der Verbindung unter Last (Querzugversagen) wurde bei der Verwendung von Stabdübeln ein Mindestreihenabstand in Faserrichtung von $10d$ (d =Dübeldurchmesser) angegeben.
- Weiters war man sich bewusst, dass durch die Bemessungsformeln keine Werte für die elastische Grenzlast unter Gebrauchstauglichkeit und keine Last-Verschiebungskurve für alle Laststufen abgeleitet werden können. Die von *Johansen* angegebenen Formeln zur Berechnung einer Nachgiebigkeit für stiftförmige Verbindungsmittel beschränken sich lediglich auf den elastischen Bereich.

In dieser Arbeit werden speziell Klammern als Verbindungsmittel für Scheibenelemente untersucht. Eine gezielte Weiterverfolgung der Tragfähigkeit von Bolzen und Stabdübeln als

Verbindungsmittel erfolgt daher nicht. Ebenso werden Nagelverbindungen, welche auf Abscheren beansprucht werden nicht näher erläutert. Die speziell betrachteten stiftförmigen Verbindungsmittel wurden somit auf

- Klammern (zur Übertragung der Schubkräfte zwischen Holz und Holzwerkstoffplatten)
- und Schrauben (zur Übertragung der Schubkräfte in der Elementfuge) eingegrenzt.

2.4 Tragfähigkeit von auf Abscheren beanspruchter stiftförmiger Verbindungsmittel - Klammern, Vollgewindeschrauben

Das nachfolgende Abschnitt befasst sich umfassend mit Klammern als stiftförmiges Verbindungsmittel zur Übertragung der Schubkräfte bei Scheibentragwerken. In einem kurzen Unterpunkt (siehe Abschnitt 2.4.1) wird auch die Wirkungsweise von Vollgewindeschrauben zur Übertragung der Schubkräfte in den Elementfugen eines Teilscheibenelementes (wie in Abschnitt 2.2.6 gezeigt) beschrieben.

2.4.1 Nachweis der Traglast und Nachgiebigkeit nach EC5

Für den Traglastnachweis von entkoppelten Teilsystemen wie bei ein- oder zweischnittigen Holz-Holz beziehungsweise Holz-Holzwerkstoff Verbindungen sind bereits in der Norm verankerte analytische Traglastformeln zu finden. Als Eingangsparameter stehen pauschale Beziehungen für das plastische Grenzmoment, sowie Lochleibungsspannungen für unterschiedliche Holzwerkstoffe bei beliebiger Belastungsrichtung, bezogen auf die Faserrichtung des Holzes, zur Verfügung. Die Angabe des plastischen Grenzmoments ist allerdings ohne Bezug auf die Größe der zugehörigen plastischen Gelenksrotation. Dabei ergeben sich jedoch auch Einschränkungen hinsichtlich der Anwendbarkeit der genannten Traglastformeln für beliebige Konfigurationen.⁵²

Für den Nachweis der Verformung unter Gebrauchslast stehen, weitgehend unabhängig von der jeweiligen Konfiguration der Verbindung, einfach gestaltete Regressionsformeln ohne

⁵² (G. Hochreiner, 2013 S. 277)

transparenten mechanischen Hintergrund zur Verfügung. Im EC5 scheinen bei den Werten für die elastische Nachgiebigkeit K_{ser} bereits Annahmen für zu groß hergestellte Bohrlöcher oder Ungleichmäßigkeiten bei der Kontaktübertragung enthalten zu sein.⁵³

Andererseits bedeutet die Reduktion der Sekantensteifigkeit für die Berechnung unter Traglast nur eine Vergrößerung der elastischen Gesamtverformung um 50%. Diese Zusatzverformungen von Gebrauchslast auf Traglast sind teilweise schwer nachvollziehbar. So treten im Traglastfall wesentlich höhere Relativverschiebungen auf als in der aktuellen Modellierung für stiftförmige Verbindungsmittel vorgesehen. Bei Strukturberechnungen unter Traglast kann jedoch der Ansatz von realistisch bewerteter Duktilität von Verbindungen zu erheblichen Schnittgrößenumlagerungen bezüglich der Reduktionen von Verzweigungslasten führen.⁵⁴

Tragfähigkeit von Klammern auf Abscheren lt. EC5

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,2,k} t_2 d \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad (2.1)$$

Die oben gezeigte Gleichung (2.1) gilt für einschnittige Holzwerkstoff- Holzverbindungen. Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ wird als Kleinstwert davon angenommen. Für Holzrippen mit einer dünnen Beplankung (>10mm Dicke) ist die rot markierte Formel zumeist die ausschlaggebende.

β steht in der Gleichung (2.1) für das Verhältnis der beiden Lochleibungsfestigkeiten der zu verbindenden Bauteile.

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (2.2)$$

⁵³ (G. Hochreiner, 2013 S. 278)

⁵⁴ (vgl. ⁵³)

$f_{h,i,k}$ charakteristische Wert der Lochleibungsfestigkeit im Holzteil i

In der Gleichung (2.1) bedeutet der erste Summand auf der rechten Seite die Tragfähigkeit nach *Johansens Fließtheorie*, während der zweite Summand $F_{ax,Rk}/4$ den Anteil aus der Seilwirkung enthält. Der Anteil an der Seilwirkung an der Gesamttragfähigkeit, ist laut Norm bei bestimmten Verbindungsmitteln, auf einen Prozentanteil der Tragfähigkeit nach *Johansen* zu begrenzen. Ist aber $F_{ax,Rk}/4$ nicht bekannt, sollte der Anteil der Seilwirkung mit Null angenommen werden.⁵⁵

Dies ist bei Verbindungen mit Klammern der Fall und die Berechnung lt. EC5 liegt damit auf der sicheren Seite.

$$M_{y,Rk} = 240 d^{2,6} \quad (2.3)$$

$M_{y,Rk}$ charakteristisches Fließmoment

Die Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ berechnet sich je nach verwendeter Beplankung aus:

- für Sperrholz $f_{h,k} = 0,11 \rho_k d^{-0,3} \quad (2.4)$

- für harte Holzfaserplatten $f_{h,k} = 30 d^{-0,3} \rho_k^{0,6} \quad (2.5)$

- für Spanplatten und OSB $f_{h,k} = 65 d^{-0,7} \rho_k^{0,1} \quad (2.6)$

Mit der charakteristischen Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ kann nun mithilfe von Gleichung (2.1) charakteristische Tragfähigkeit einer Klammerverbindung berechnet und der Nachweis auf Traglastniveau geführt werden.

Axiale Tragfähigkeit einer Vollgewindeschrauben auf Herausziehen - Ermittlung mit einer Zulassung

Die in der Norm angegebenen Werte für die Tragfähigkeit einer Schraubenverbindung können durch Zulassungen spezieller Schraubenhersteller erweitert oder zur Gänze ersetzt werden.

Bei der Verbindung von vorgefertigten Dachelementscheiben (Fugenverschraubung *Fa. Rubner Holzbau Obergrafendorf*) werden Vollgewindeschrauben der Herstellerfirma *Würth* verwendet. Deshalb wird hier auf die Berechnung der Schraubentragfähigkeit laut Zulassung

⁵⁵ (ÖNORM EN 1995-1-1, S. 65)

eingegangen. Die Berechnung der axialen Tragfähigkeit wird der Europäisch Technischen Zulassung ETA-11/0190 entnommen.⁵⁶

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0.8} \quad (2.7)$$

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

Durch das Eindrehen der Schrauben unter $2 \times 45^\circ$ ergibt sich ein Winkel α kleiner 45° und somit muss k_{ax} mittels Gleichung (2.8) berechnet werden

$$k_{ax} = 0.3 + \frac{0.7 \cdot \alpha}{45^\circ} \quad \text{bei } 0^\circ \leq \alpha < 45^\circ \quad (2.8)$$

Der charakteristische Ausziehparameter $f_{ax,k}$ ist von der charakteristischen Rohdichte und dem verwendeten Schraubendurchmesser abhängig und steht als Wert zum Einsetzen zur Verfügung.

Nach dem Einsetzen der Werte kann nun ebenso die Tragfähigkeit der Schraubenverbindung (Schraubenkreuz) ermittelt werden und die Nachweise geführt werden.

Gebrauchstauglichkeit bei stif. Verbindungsmitteln - Nachgiebigkeit der Verbindung lt. EC5

Für stiftförmige Verbindungsmittel und Dübel besonderer Bauart wird der Verschiebungsmodul K_{ser} pro Scherfuge und Verbindungsmittel unter Gebrauchslast dem EC5⁵⁷ entnommen.

In Tabelle 2-1 sind die unterschiedlichen Verbindungsmittel mit deren zugehörigen Verschiebungsmodule K_{ser} pro Scherfuge und Verbindungsmittel unter Gebrauchslast aufgelistet.

Bei unterschiedlichen mittleren Rohdichten zwischen Rippe und Beplankungswerkstoff ist in der Regel ρ_m zu bilden.

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} \rho_{m,2}} \quad (2.9)$$

⁵⁶ (ETA-11/0190, 2013-2018)

⁵⁷ (ÖNORM EN 1995-1-1, S. 57-58)

Die angegebenen Arbeitslinien für Verbindungsmittel gelten für eine elastische Verformung bei unbekannter elastischer Grenzlast.

Tabelle 2-1: Verschiebungsmodule stiftförmiger Verbindungsmittel⁵⁸

Verbindungsmittel	K_{ser}
Stabdübel Bolzen mit oder ohne Lochspiel ^a Schrauben Nägel (vorgebohrt)	$\rho_m^{1,5} d / 23$
Nägel (nicht vorgebohrt)	$\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 30$
Klammern	$\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 80$
Ringdübel Typ A nach EN 912 Scheibendübel Typ B nach EN 912	$\rho_m d_c / 2$
Scheibendübel mit Zähnen: – Dübeltyp C1 bis C9 nach EN 912 – Dübeltyp C10 und C11 nach EN 912	$1,5 \rho_m d_c / 4$ $\rho_m d_c / 2$
^a Das Lochspiel ist zusätzlich zu der Verschiebung hinzuzurechnen.	

2.4.2 Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens durch Versuche

Da bei der Traglastermittlung nach den einschlägigen Normen nur einige Parameter einfließen und diese Formeln analytischer Herkunft sind, kann der genaue Wert der Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten von stiftförmigen Verbindungsmitteln auch durch Versuche ermittelt werden. Die Schwierigkeit dabei ist aber, dass Versuche meist nur für eine bestimmte Anordnung der Verbindungsmittel oder nur für einige verwendete Materialien gelten. Nichtsdestotrotz kann die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten von verschiedenen Verbindungsmitteln durch Versuche bestimmt werden.

Für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens von **Klammern** stehen folgende Normenwerke zur Verfügung:

- **DIN EN 26891** Holzbauwerke - Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln, Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens⁵⁹

⁵⁸ (ÖNORM EN 1995:2009-07-01, S. 57-58)

⁵⁹ (ÖNORM EN 26891)

- **ÖNORM EN 1381** Holzbauwerke - Prüfverfahren - Tragende Klammerverbindungen.⁶⁰

Vor allem in der **ÖNORM EN 1381** werden allgemeine Bedingungen für die Prüfung von Klammerverbindungen auf Abscheren angegeben. In Abbildung 2-26 wird der Prüfungsaufbau eines einschnittigen Prüfkörpers unter Zug- oder Druckbelastung rechtwinklig zur Faserrichtung gezeigt.

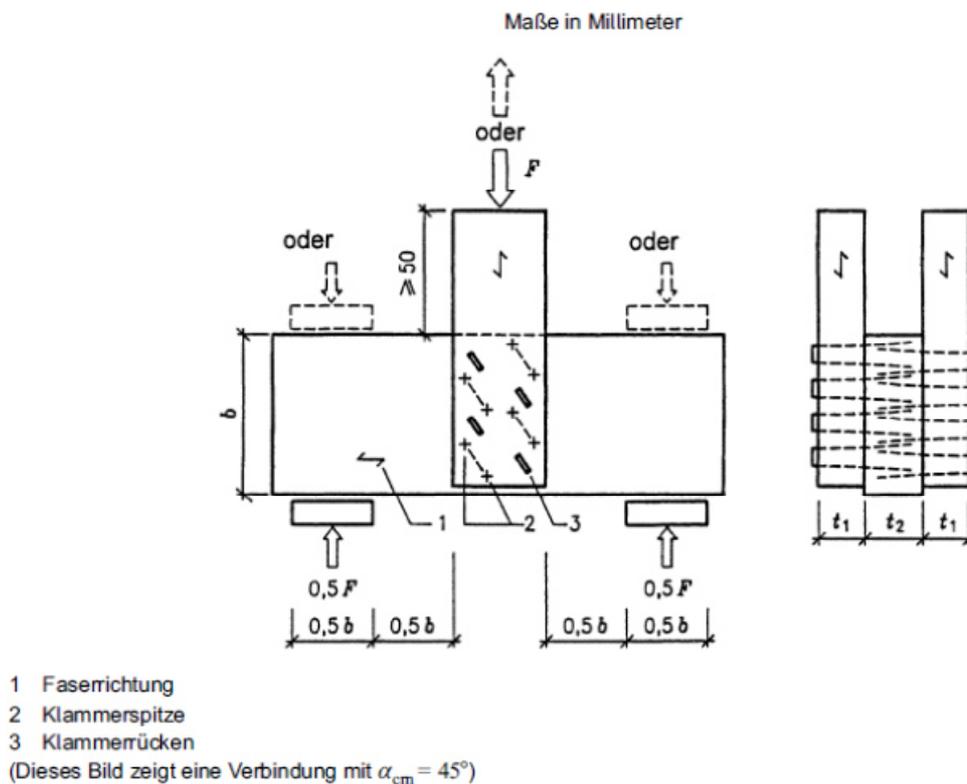


Abbildung 2-26: Prüfaufbau lt. ÖNORM EN 1381⁶¹

2.4.3 Anwendung der Bruchmechanik bei stiftförmigen Verbindungsmitteln

Beim plastischen (Trag-) Modell von *Johansen* wird die Lochleibungsfestigkeit des Holzes und der Biege- und Biegezugwiderstand des Verbindungsmittels berücksichtigt und für verschiedene Verformungsfiguren des belasteten Verbindungsmittels die Tragfähigkeit, unter der Annahme eines ideal elastisch-plastischen Verhaltens beider Eigenschaften berechnet.

⁶⁰ (ÖNORM EN 1381)

⁶¹ (vgl. ⁶⁰ S.4)

Da das *Modell von Johansen* keine spröden Versagensmechanismen berücksichtigt, führte dieser Mindestabstände für die Verbindungsmittel von mindestens $10d$ (d =Dübeldurchmesser) ein, um ein sprödes Querkzugversagen des Holzes ausschließen bzw. die Duktilität der Verbindung gewähren zu können (siehe auch Kapitel 2.3.2).⁶²

Bereits beim Entwurf des EC 5 (04/1992) wurde für unten ausgeklinkte Träger ein neuartiges Bemessungskonzept auf der Grundlage der Bruchmechanik nach Untersuchungen von *Gustafsson 1985 und 1988* vorgeschlagen. Anhand der Untersuchungen von *Mistler 1979* und *Henrici 1984* wird das bisherige Bemessungsverfahren dargestellt und die besondere Spannungssituation der Ausklinkung erläutert.⁶³

Vor allem bei freien Plattenrändern bei Dach- und Deckenscheiben kommt es zu einer konzentrierten Kraftübertragung durch die stiftförmigen Verbindungsmittel.

Diese Störkräfte, welche aus dem freien Beplankungsrand hervorgehen, können laut *Kessel*⁶⁴ (2010) mit Hilfe einer konzentrierten Nagelung, welche in Abbildung 2-27 ersichtlich ist, übertragen werden.

Hierbei kann es zu einer großen Querkzugkraft in der Rippe kommen, durch welche sich ein spröder Rippenbruch einstellen kann.⁶⁵

Vor dem Auftreten des Sprödbrechens kann häufig ein stabiles Risswachstum beobachtet werden. Aufgrund dieser makroskopischen Beobachtungen wurde durch *Schmid*⁶⁶ (2002)



Abbildung 2-27: Konzentrierte Klammerung am freiem

⁶² (Mischler, 1998 S. 9)

⁶³ (Ehlbeck, 1993)

⁶⁴ (Kessel, SS 2010 S. 99)

⁶⁵ (vgl. ⁶⁴)

⁶⁶ (Schmid, 2002-11-08 S. I)

Plattenrand

ein bruchmechanisches Modell entwickelt, mit dessen Hilfe die Bedingungen für das Auftreten eines Sprödbruches in Abhängigkeit von den Materialeigenschaften, der Geometrie der Verbindung und der Beanspruchung abgeschätzt werden können.

In der Bruchmechanik wird die Untersuchung, ob ein Riss wächst oder nicht, mit Hilfe neuer Widerstandsgrößen geführt, die bei den klassischen Versagenshypthesen nicht verwendet werden. In der linear elastischen Bruchmechanik sind zwei Widerstandsgrößen bekannt: beim Konzept der Spannungsintensitätsfaktoren ist die Widerstandsgröße die Bruchzähigkeit des Werkstoffes, beim Konzept der Energiebilanzen die kritische Energiefreisetzungsrate. Diese wird anschaulicher als Risswiderstandskraft bezeichnet.⁶⁷ Die genannten Widerstandsgrößen beziehen sich auf unterschiedliche Rissöffnungsarten welche in Abbildung 2-28 dargestellt sind.

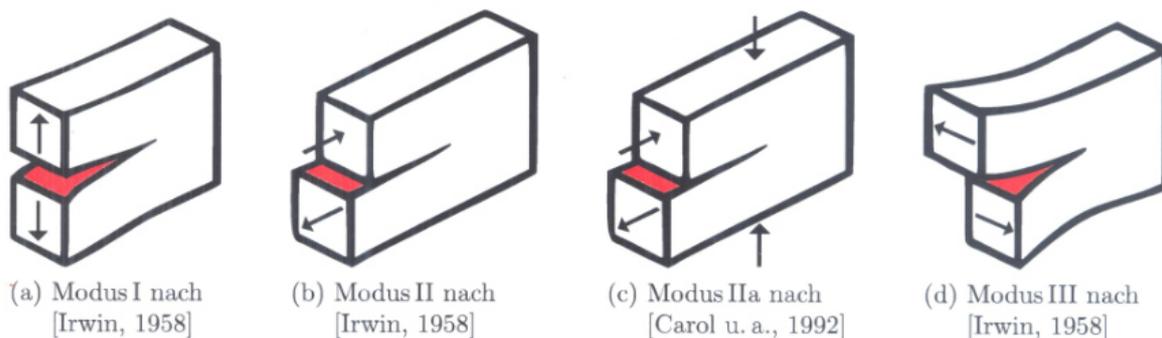


Abbildung 2-28: Rissöffnungsarten⁶⁸

In den Normenwerken wird über die zu wählenden Mindestholz- und Beplankungsdicken und die geforderten Verbindungsmittelabstände, der spröde Versagensfall ausgeschlossen.

Für die Betrachtungen in der Bruchmechanik, beziehungsweise bei den in die bruchmechanische Bemessung eingehenden Materialkennwerten (z.B. die Bruchenergie und Spannungsintensitätsfaktoren), wird beim Werkstoff Holz von einem Kontinuum ausgegangen, welches makroskopisch rissbehaftet ist. Für Strukturen aus Voll- oder Brettschichtholz ist die Annahme von Rissen, noch dazu im Bereich von mit mechanischen Verbindungsmitteln hergestellten Anschlüssen, durchaus realistisch.⁶⁹

⁶⁷ (Schmid, 2002-11-08 S. 8)

⁶⁸ (Cordes, 2013 S. 24)

⁶⁹ (Borth, 2002 S. 38)

Für den Baustoff Holz ist bislang nicht eindeutig geklärt, für welche Konzepte der Bruchmechanik eine uneingeschränkte Anwendbarkeit möglich ist, bzw. unter welchen Bedingungen bestimmte Konzepte anwendbar sind.⁷⁰

Grundlagen der Berechnung in der Bruchmechanik

Zu den numerischen Verfahren, welche in der Bruchmechanik am häufigsten zur Ermittlung von Spannungs- und Verschiebungsfeldern in der Umgebung von Rissen herangezogen werden, gehören:⁷¹

- Kollokation
- Differenzenverfahren
- Methode der Randintegralgleichung
- Methode der Finiten Elemente.

Unter den numerischen Methoden innerhalb der Bruchmechanik hat die FE-Modellierung eine ganz herausragende Bedeutung erlangt. Sie stellt das bedeutendste Verfahren zur Bestimmung der Spannungs- und Dehnungsfelder in der Rissumgebung unregelmäßig berandeter Bauteile dar.

Das Prinzip der FE-Modellierung besteht in der Diskretisierung eines Kontinuums in endliche Elemente, welche in sogenannten Elementknoten gekoppelt sind. Für diese Elemente werden einfache Spannungs- Dehnungsbeziehungen und Approximationen für den Verlauf der Feldgrößen im Element festgelegt und abgeleitet. Schließlich werden die Elementformulierungen unter Berücksichtigung von Gleichgewichts- und Kompatibilitätsbedingungen zu einem globalen Gleichungssystem zusammengefasst. Aus den Lösungen dieses Gleichungssystems werden die benötigten Feldgrößen ermittelt.⁷²

⁷⁰ (Borth, 2002 S. 49)

⁷¹ (Borth, 2002 S. 57)

⁷² (Borth, 2002 S. 58)

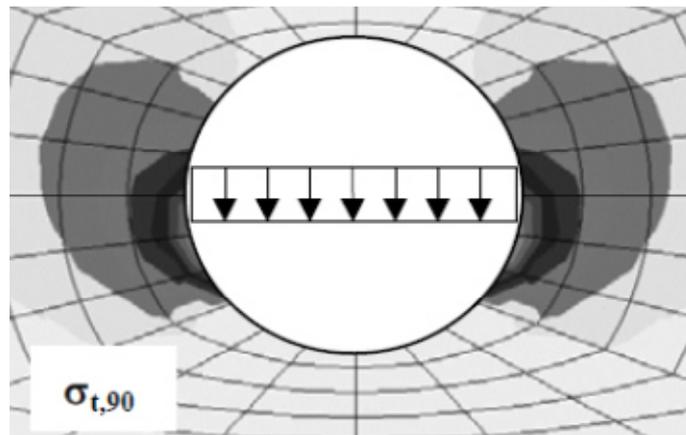


Abbildung 2-29: Querzugspannungen mittels FEM berechnet⁷³

In Abbildung 2-29 sind mittels FE-Modellierung Querzugspannungen an einem Stabdübelloch berechnet worden, welche Querzugrisse in den dunklen Bereich verursachen können.

⁷³ (Borth, 2002 S. 95)

3 Versuchsplanung und Vorversuche

Im folgenden Kapitel wird die Umsetzung der Projektziele mittels Versuchen näher erläutert. Dazu werden die Ziele näher konkretisiert und Vorversuche definiert.

Kapitel 3 gliedert sich deshalb in folgende Punkte:

- Umsetzung der Projektziele
- Definition von Prüfszenarien
- Verwendete Materialien
- Prüfgeräte und Messmittel
- Durchführung von Vorversuchen und Analyse.

3.1 Umsetzung der Projektziele

Da die verwendeten Dachelemente der Firma *Rubner* in Zukunft vermehrt als Dachscheibe eingesetzt werden, sollen die Verbindungsmittelparameter, welche bei der Scheibentragwirkung eine Rolle spielen, mittels Versuchen ermittelt werden. Bei den Bauteilen handelt es sich um stiftförmige Verbindungsmittel wie Klammern oder auch teilweise Schrauben, welche vorwiegend auf Abscheren beansprucht werden.

Die somit ermittelten Parameter sollen bei späteren Scheibenmodellierungen, welche mit Hilfe eines kommerziellen Statikprogrammes der Firma *Rubner* durchgeführt werden, Verwendung finden. Diese Computermodellierung ist nicht Teil dieser Arbeit.

Die verwendeten Elementaufbauten entsprechen den eingesetzten Dachelementen die standardisiert im Werk Obergrafendorf produziert werden. Als Verbindungsmittel wie Klammern und Schrauben stehen somit nur Komponenten zur Verfügung, welche am Produktionsstandort der Firma *Rubner* zum Einsatz kommen. Dies führt bei der Versuchsplanung und Durchführung natürlich zu einer Erleichterung, da zum Beispiel für die Verbindung zwischen OSB Platte und Rippe nur Klammern eines Herstellers und Typs verwendet werden und auch nur diese geprüft werden müssen.

3.2 Definition von Prüfszenarien

In den folgenden Unterpunkten sollen die drei wichtigsten Versuchsaspekte dieser Arbeit erläutert werden.

3.2.1 Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von Klammern und Schrauben

Bei den oben genannten Dachelementen der *Firma Rubner* werden die obere und untere Beplankung, welche zumeist in OSB ausgeführt sind, mittels Klammern befestigt. Diese Klammern werden mit automatischen Druckluftnaglern eingeschossen.

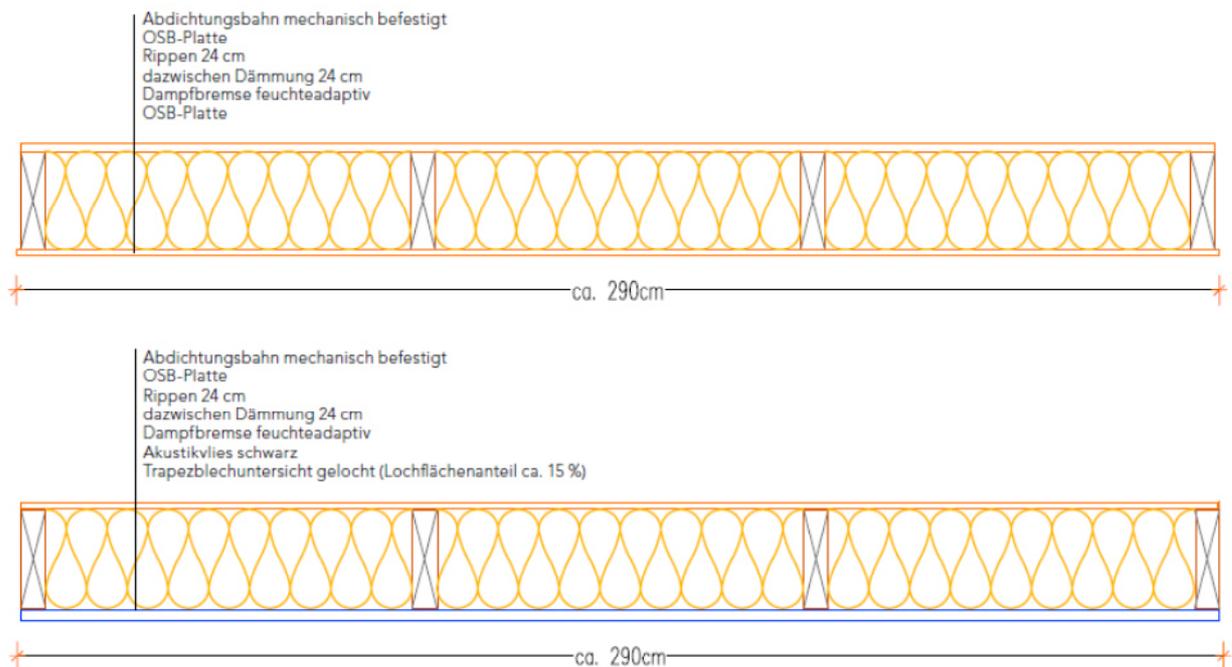


Abbildung 3-1: Standardschnitt Dachelement Fa. Rubner, OSB-OSB und OSB-Trapezblech

In Abbildung 3-1 sind zwei unterschiedliche Varianten eines vorgefertigten Dachelementes der *Firma Rubner* zu sehen. Bei der ersten Variante handelt es sich um ein Element, welches beidseitig mit einer OSB Platte beplankt ist. Als Verbindungsmittel werden hier nur Klammern eingesetzt.

Der untere Systemschnitt in Abbildung 3-1 zeigt ein Dachelement, welches auf der Außenseite mit einer OSB Platte beplankt ist und auf der Innenseite (dem Raum zugewandte Seite) ein Trapezprofil als Untersicht aufweist. Die Verbindung der OSB Platte mit den Rippen erfolgt wiederum mittels Klammern. Die Befestigung der Blechtrapezprofile erfolgt mittels selbstschneidenden Stahlschrauben welche für Holzunterkonstruktionen zugelassen sind.

Ziel dieses Versuchsabschnittes ist es, das Verformungsverhalten und die Tragfähigkeit einer Einzelklammer auf Abscheren für die Beplankungsverbindung zu ermitteln. Weiters soll die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten einer Bohrschraube für dünne Bleche für die Trapezblechbefestigung als Untersicht geprüft werden.

3.2.2 Reihenwirkung von Klammern und Modellbildungen

Werden im Holzbau mehrere Verbindungsmittel hintereinander eingebracht und müssen diese gemeinsam wirken, wird meist eine effektiv wirkende Anzahl (n_{ef}) der Verbindungsmittel angesetzt. Dies würde zum Beispiel bei Scheibentragwerken der Fall sein, wo auf einer Elementrippe Klammern hintereinander einen Schubfluss in die Beplankung übertragen.

Um festzustellen, ob diese Reihenwirkung auch bei Klammern auftritt, sollen Mehrfachklammerungen getestet werden. Zusätzlich sollen über verschiedene Modellbildungen weitere Aussagen über das Klammertragverhalten bestimmt werden.

Folgende Versuchsanordnungen sollen mit Klammern durch Kleinversuche betrachtet werden:

- Reihenwirkung
- Kraftübertragung beim fliegenden Stoß
- Kraftübertragung bei der konzentrierten Klammerung
- Lastaufteilung bei der exzentrischen Krafteinleitung.

In dieser Arbeit wird die Definition der Kleinversuche dahingehend verwendet, dass diese Versuche ohne größere Aufwendungen mit einer Universalprüfmaschine geprüft werden können.

3.2.3 Verformungsverhalten von Vollgewindeschrauben

Als drittes Prüfscenario wird das Verformungsverhalten von Vollgewindeschrauben für den Einsatz bei Scheibentragwerkelementen der *Firma Rubner* untersucht werden. Die Vollgewindeschrauben übernehmen dabei die Ein-, Weiter- oder Ausleitung der Kräfte in der Dachscheibe. Um bei zukünftigen Modellierungen die Gesamtsteifigkeit der Dachelemente modellieren zu können, spielen somit diese Nachgiebigkeiten eine große Rolle.

Dabei kommen bei der Firma *Rubner* durch interne Prozessabläufe mehrere Schraubentypen zum Einsatz. Somit sollten bei diesen Prüfungen auch mehrere Typen unter verschiedenen Belastungsvarianten untersucht und mit deren Verformungswerten aus den technischen Zulassungen verglichen werden.

Ein wichtiges Thema dieses Teils der Untersuchungen ist das Verformungsverhalten von schubsteif verbundenen Elementfugen mit Vollgewindeschrauben zu prüfen und mit den Werten aus den Zulassungen zu vergleichen. Diese Versuchsanordnung wurde bereits in Abbildung 2-24 gezeigt. Hierbei muss auch auf den Einfluss der Fugenausbildung zwischen den Elementrippen geachtet werden, da darüber die technischen Zulassungen der Hersteller beim Verformungsverhalten von Schrauben keine Aussage treffen.

3.3 *Verwendete Materialien*

3.3.1 Klammern

Ein Hauptpunkt dieser Arbeit ist die Bestimmung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens von Klammern. Da die Abläufe im Werk stark auf die Verwendung von Klammern abgestimmt sind, wird bei der Firma *Rubner* standardmäßig nur ein Klammertyp eines Herstellers für die Befestigung von Beplankungsplatten aus Holzwerkstoffen verwendet.

Dies sind Klammern der Firma Baussmann, welche folgende Eigenschaften aufweisen:

- Verzinkte Holzbauklammer zur Verwendung in tragenden Holzkonstruktionen
- Stahldraht C20
- Durchmesser d 1,54mm
- Länge l_n 50mm
- Rückenbreite b 10,6mm
- Überzug Beharzung mind. $0,5 l_n$
- Stahldrahtzugfestigkeit $\geq 850\text{N/mm}^2$.

3.3.2 Schrauben

Bohrschraube für Trapezblechuntersicht

Für die Befestigung der Trapezbleche welche als Dachelementuntersicht auf den Rippen befestigt werden, verwendet die Firma *Rubner* Bohrschrauben des Herstellers *AURO*. Die Schrauben bestehen aus gehärtetem Kohlenstoffstahl mit einer galvanischen Verzinkung und einer Bohrspitze und sind für die Befestigung von Trapezblech mit einer maximalen Stärke von 0,63mm ausgelegt. Verwendet wird die Bohrschraube E-VS BOHR RS 4.8x28.

Das gewählte Trapezblech für die Abscherversuche hat eine Stärke von 0,63mm und wurde jeweils als einfache oder doppelte Beplankungsschicht getestet (Beplankungsstöße werden überlappend ausgeführt).

Vollgewindeschrauben für die Bestimmung des Verformungsverhaltens

Vollgewindeschrauben folgender Hersteller wurden für diese Versuche verwendet:

- *Würth*
- *Schmid*
- *Eurotec*.

Durch die größere Lagerhaltung und den vermehrten Einsatz von Vollgewindeschrauben, werden diese Produkte von mehreren Lieferanten zugekauft. Deshalb wurden auch unterschiedliche Schrauben getestet, wobei für die Hauptprüfungen des Verformungsverhaltens Schrauben der Firma *Eurotec* herangezogen wurden.

3.3.3 Elementrippen

Als Elementrippen für die Dachelementproduktion werden ausschließlich Vollhölzer von Fichte und Kiefer verwendet. Da in den letzten Jahren die Verfügbarkeit von Kiefernvollhölzern ausreichend gegeben war, wurden für die nachfolgenden Versuche Kiefernrippen aus keilgezinktem Vollholz verwendet. Um Vergleichswerte für Fichtenvollholz zu erhalten, wurden zusätzlich einzelne Versuche mit Fichte durchgeführt.

3.3.4 OSB Platten

Da die OSB Platten von verschiedenen Herstellern bezogen werden und eine Nachverfolgbarkeit zum Herstellerwerk im verarbeiteten Zustand schwierig ist, wurden die Anforderungen und Klassifikationen für OSB Platten aus der ÖNORM EN 300 vorausgesetzt.⁷⁴ Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken wurden der ÖNORM EN 12369-1 entnommen.⁷⁵ Um eine Zuordnung zu diesen Normenwerken herstellen zu können werden Vergleichsproben entnommen. Damit soll die Holzfeuchte und Rohdichte bestimmt werden.

⁷⁴ (ÖNORM EN, 300)

⁷⁵ (ÖNORM EN, 12369)

Für die Versuche werden OSB Platten mit einer Stärke von 15mm verwendet. Mithilfe von Vergleichsproben bei den Klammerversuchen sollen die Auswirkungen auf 18mm starke Platten analysiert werden.

3.4 Prüfgeräte und Messmittel

3.4.1 Zwick Universalprüfmaschine

Alle durchgeführten Versuche wurden als Druckprüfungen mit einer Universalprüfmaschine (Z250) der Firma Zwick durchgeführt (siehe Abbildung 3-2). Die Anordnung der zu testenden Verbindungsmittel erfolgte dabei auf Abscheren.



Abbildung 3-2: Zwick Z250

3.4.2 Quantum X, externe KMD und Wegaufnehmer

Standardmäßig werden mit der Universalprüfmaschine nur die Kraft und die Verschiebung gemessen. Da bei den geplanten Versuchen aber immer Holz- oder Holzwerkstoffe verwendet werden, sollten auftretende Einpressungen bei den Auflagern ebenso gemessen werden. Aus diesem Grund hat man sich für eine zusätzliche digitale Aufzeichnung der

Messdaten entschieden, was auch große Vorteile für die spätere Datenauswertung und Bearbeitung hat.

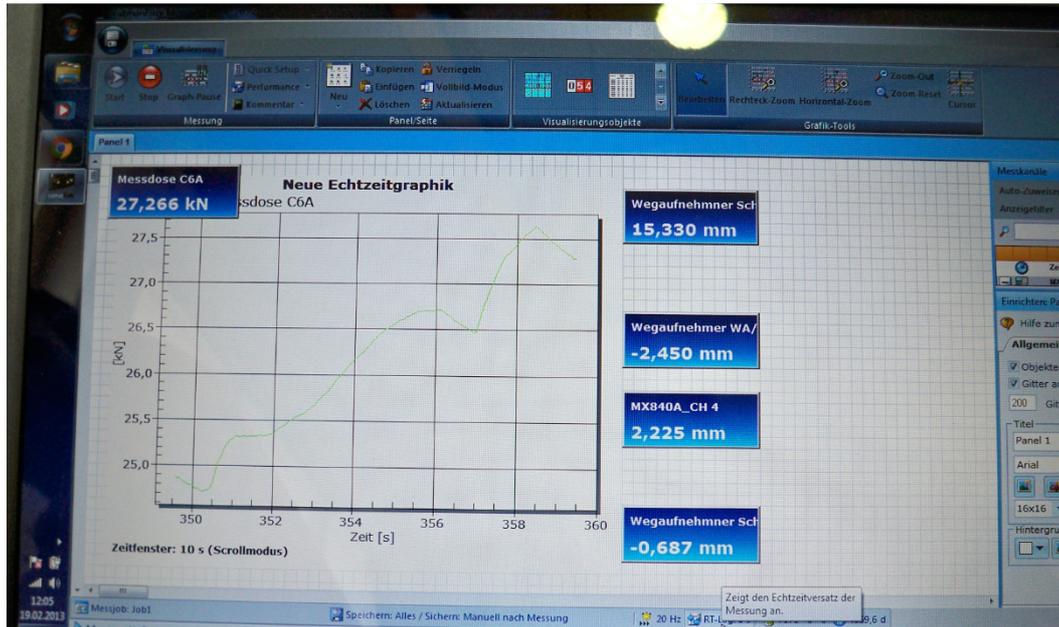


Abbildung 3-3: Programmsoftware Catman

Die Aufzeichnung der Kraft und Verschiebungen erfolgt mit einem Quantum X840A der Firma HBM und der dazugehörigen Programmsoftware Catman (siehe Abbildung 3-3). Zusätzlich werden Wegaufnehmer und Kraftmessdosen verwendet, welche die auftretenden Kräfte und Verschiebungen wiedergeben. Die Universalprüfmaschine wird somit nur für die Einstellung der grundlegenden Versuchsparameter (Geschwindigkeiten, max. auftretende Kräfte, usw.) verwendet. Alle dabei auftretenden Kräfte und Verformungen werden parallel durch das QuantumX aufgezeichnet und können nach den Versuchen in ein Datenverarbeitungsprogramm überspielt und ausgewertet werden.

3.4.3 Darrschrank, Sonstiges

Zusätzlich zu den Versuchen mit der Universalprüfmaschine wird anhand der Probekörper die Rohdichte und die Holzfeuchtigkeit der verwendeten Hölzer oder Holzwerkstoffe bestimmt.

3.5 Durchführung von Vorversuchen und Analyse

3.5.1 Vorversuche

Nach der Literaturrecherche werden die Steifigkeitskennwerte der Einzelklammern und deren Tragfähigkeit abgeschätzt. Diese Versuche liefern Vergleichswerte zur Literatur und dienen zur Findung für neue Prüfansätze bei den geplanten Hauptversuchen. Dabei geht es bei den Vorversuchen um keine hundertprozentig korrekte Durchführung der Versuche nach Norm. Viel wichtiger ist die Abschätzung der verschiedenen Einflussparameter auf die Einzelklammer wie der Überstand des Klammerrückens und somit der Ausschluss des Zugseileffektes nach *Johansen* oder der Einfluss des Winkels zwischen Klammer und Holzfaser, welcher in Abbildung 2-13 ersichtlich ist.

Vorversuch 1 - Einzelklammer 90°

Dieser Vorversuch wurde ausschließlich mit der Universalprüfmaschine durchgeführt (Abbildung 3-4). Die Messung der Versuchsdaten erfolgte ebenso über die Prüfmaschine. Dabei kam man zur Erkenntnis, dass eine genauere Prüfung nur mit zusätzlichen Kraftmessdosen, Wegaufnehmern und einer externen Datenaufzeichnungsstation (Quantum X) funktionieren würde.



Abbildung 3-4: Vorversuch 1 - Einzelklammer

Als Prüfkörper wurden Fichtenholzquader mit Abmessungen von 10x10x10 cm verwendet. Als Beplankungswerkstoff kam eine OSB Platte mit 15mm Stärke zur Verwendung.

Vorversuch 2 - Einzelklammer 90°

Bei diesen Vorversuchen erfolgte die Messung der Kraft- Verschiebungskurve bereits mit Hilfe des QuantumX, wobei jedoch wiederum nur eine einzelne Klammer auf Abscheren getestet wurde. Dies sollte die Vergleichbarkeit zum ersten Vorversuch herstellen. Die verwendeten Klammern entsprechen dem Standardprodukt der Firma Rubner wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben.

Vorversuche 3 - Einzelklammer 60°

Um den Einfluss des Klammerneigungswinkels auf die Tragfähigkeit bei den Vorversuchen abschätzen zu können wurden ebenso Versuchskörper hergestellt, bei welchen der Winkel ϕ zwischen Faserrichtung und Klammerrücken 60° betrug. Hier müsste laut Literatur ein Abfall der Tragfähigkeit zu bemerken sein.

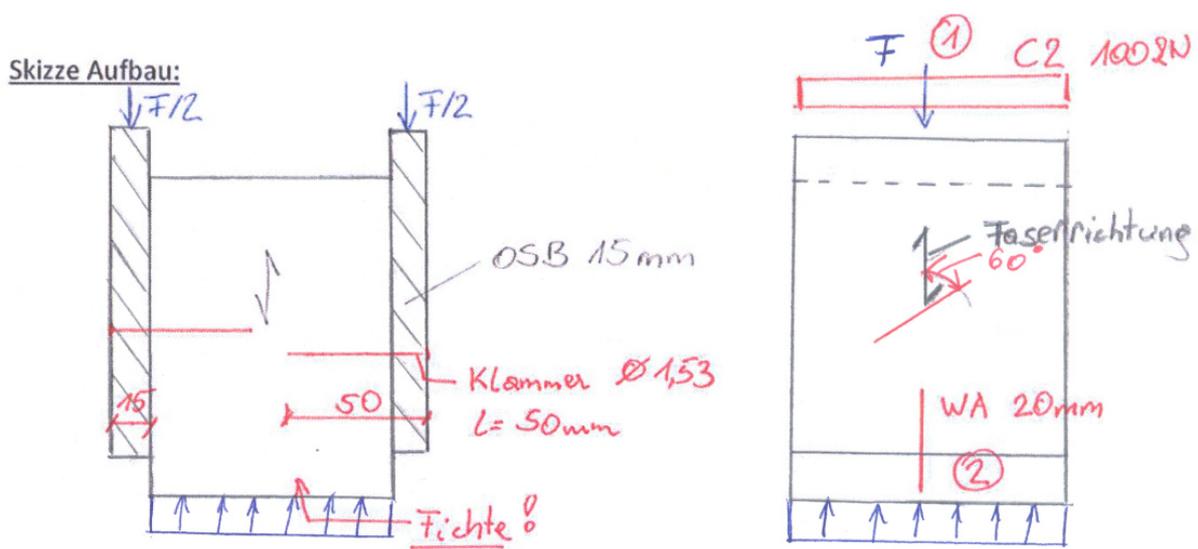


Abbildung 3-5: Skizze Vorversuche Einzelklammer 60°

Die Abbildung 3-5 zeigt eine Skizze über den Vorversuch mit Einzelklammern, welche unter einem Kraft- Faserwinkel von 60° in Fichtenholz eingebracht und auf Abscheren getestet wurde. Im rechten Teil der Abbildung ist die Anordnung der Kraftmessdose und die der Wegaufnehmer ersichtlich.

Vorversuch 4 - Einzelklammer mit Rückenüberstand 90°

Bei dieser Versuchsanordnung wurde bewusst darauf geachtet, dass beim Einbringen der Klammer, der Rücken mindestens vier Millimeter über die OSB Platte übersteht. Somit soll die Tragfähigkeit der Einzelklammer inklusive dem Zugseileffekt, welcher laut den

Normenwerken nicht angesetzt werden darf, größtmäßig mit den restlichen Vorversuchen verglichen werden.

In Abbildung 3-6 wird der durchgeführte Abscherversuch mittels einer Skizze dargestellt.

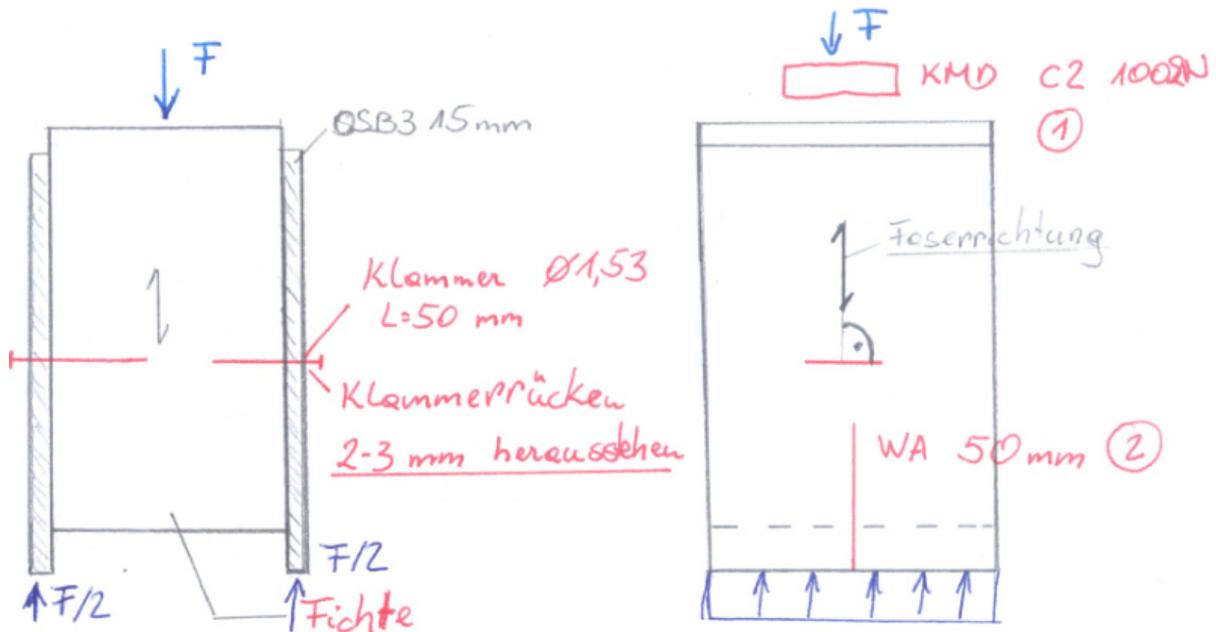


Abbildung 3-6: Skizze Vorversuch Klammerrückenüberstand

3.5.2 Analyse der Vorversuchsergebnisse

Alle angegebenen Kräfte der Versuche beziehen sich auf den Bruch und sind daher maximal auftretende Kräfte (Bruchkraft). Diese Werte müssen noch standardisiert und auf ein charakteristisches Niveau gebracht werden. Die Berechnung der 5%- Fraktilwerte wurde für die Vorversuche nicht durchgeführt.

Bei den Vorversuchen 1 mit einer Einzelklammer wurden alle Versuchsdaten mit der Prüfmaschine aufgenommen (Abbildung 3-7). Dies führt dazu, dass diese Daten im Anschluss an die Versuche nicht mehr bearbeitet werden können und Steifigkeiten dieser Verbindungsprüfung schwer berechnet werden können. Auch eventuell fälschlicherweise auftretende Anfangsverschiebungen können nicht mehr korrigiert werden.

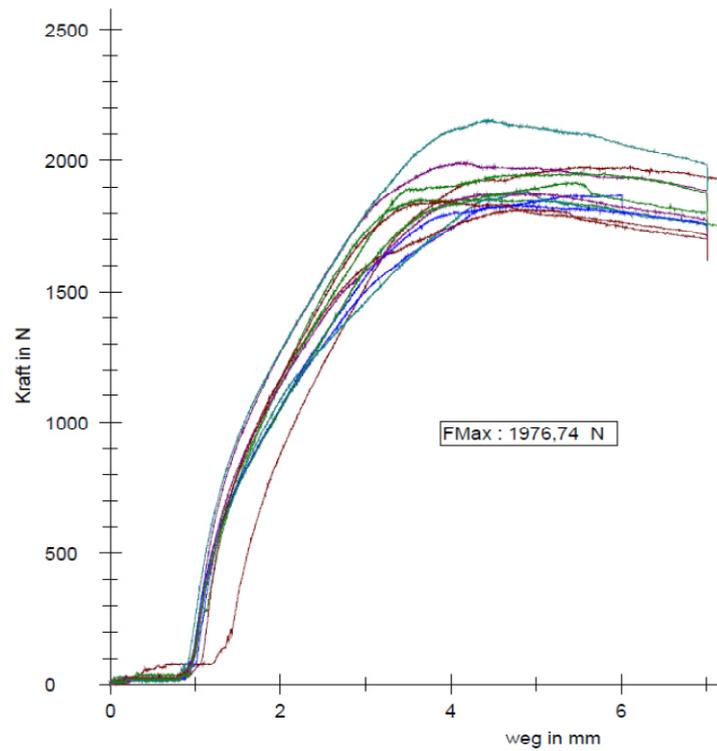


Abbildung 3-7: Kraft-Verschiebungskurve Vorversuch 1

Bei den Vorversuchen 2+3 wurde wie in der Übersichtsskizze gezeigt, die Kraft und die auftretende Verschiebung extern aufgezeichnet. Dies geschah ebenso bei den Vorversuchen mit den überstehende Klammerrücken.

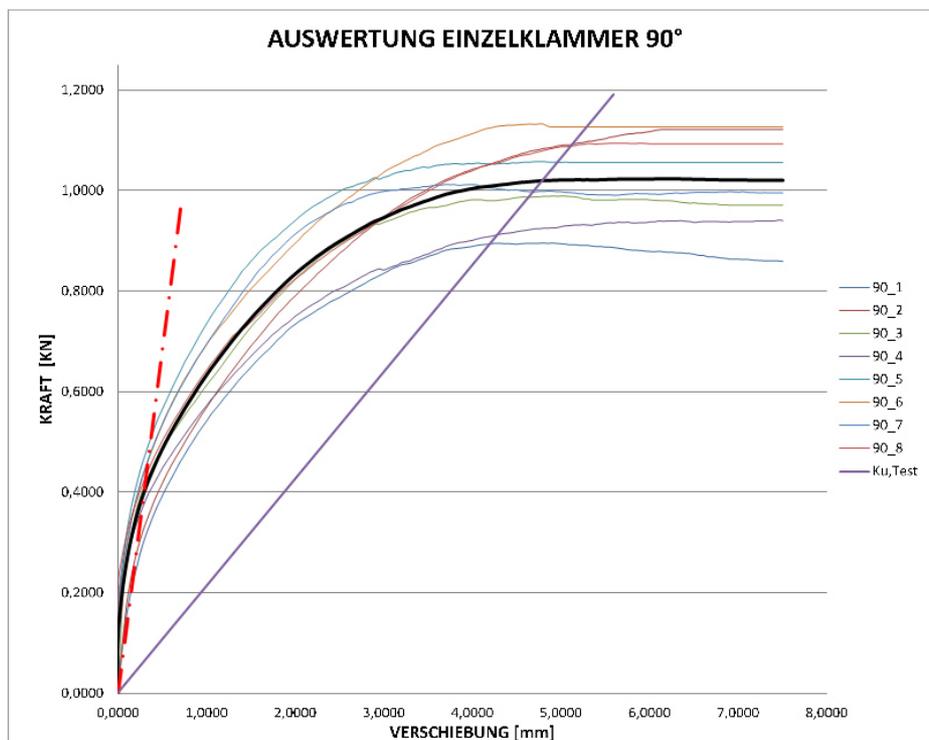


Abbildung 3-8: Kraft-Verschiebungskurven Vorversuch 2

Die Auswertung der Daten erfolgte im Anschluss mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel. Die einzelnen Versuchskurven wurden dabei in einem Diagramm (siehe Abbildung 3-8) dargestellt und zur besseren Übersichtlichkeit eine Mittelwertkurve gebildet.

Die durchgeführten Prüfungen der Einzelklammern entsprechen zwar keinen Normversuchen, es wurde jedoch mithilfe der Prüfnorm ÖNORM EN 26891⁷⁶ ein Verschiebungsmodul für die Versuche ermittelt.

Bei den Einzelklammervorversuchen mit unterschiedlichen Einbringwinkeln konnten folgende Ergebnisse ermittelt werden:

Tabelle 3-1: Versuchsergebnisse Vorversuche

Fichte 90°/60°	Vorversuch 1, 90°	Anliegender Rücken, Vorvers. 2, 90°	Anliegender Rücken, Vorvers. 3, 60°	Rückenüberstand 4mm, 90°
F_{max} [N]	957,4	1020,0	876,9	688,9
K_{ser} [N/mm]	-	1364,0	1261,7	378,8
K_u [N/mm]	-	212,6	226,7	113,8

Die angegebenen Werte in Tabelle 3-1 beziehen sich auf eine Klammer. Die maximalen Tragfähigkeiten zwischen den beiden ersten Vorversuchen sind dabei sehr gut vergleichbar. Wird jedoch das Verbindungsmittel mit einem Winkel von 60° in das Holz eingebracht, ist eine Verringerung der maximalen Tragfähigkeit der Klammerverbindung zu erkennen. Diese Auswirkung ist auch beim Verschiebungsmodul K_{ser} ersichtlich.

Der Einfluss des Zugseileffektes wird bei den Vorversuch Nr. 3 mit dem überstehenden Klammerrücken deutlich. Dabei verringert sich die Tragfähigkeit um 30%. Ebenso verringern sich die Werte für die elastische Nachgiebigkeit K_{ser} um mehr als 70% und die Nachgiebigkeit K_u um 50%.

Somit ist bereits aus den Vorversuchen ersichtlich, dass die Geometrieparameter in unterschiedlichster Weise Auswirkungen auf die Klammertragfähigkeit und die dazugehörigen Steifigkeitsparameter haben. Ebenso ist zu erkennen, dass der Zugseileffekt, welcher in Gleichung (2.1) als zweiter Summand bei den *Johansen Gleichungen* angeführt ist, einen wesentlichen Anteil an der Gesamttragfähigkeit der Klammerverbindung hat.

⁷⁶ (ÖNORM EN 26891)

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es daher, mit eindeutig definierten Material- und Versuchsaufbauten Tragfähigkeitswerte und Verschiebungsparameter für die zuvor genannten Prüfscenarien zu bestimmen, welche bei Computerrechenmodellen bei der Berechnung von Scheibentragwerken verwendet werden können.

3.5.3 Festlegungen für die Klammerhauptversuche

- Für die Versuche soll nur ein Klammertyp, welcher im Unternehmen am häufigsten eingesetzt wird, verwendet werden.
- Die Tragfähigkeiten der Klammern werden mithilfe von OSB Platten mit einer Stärke von 15mm ermittelt.
- Um Rückschlüsse auf dickere Platten zu ermöglichen, wird ein Vergleichstest mit den selben Klammern und einer stärkeren Beplankungsplatte durchgeführt.
- Als Elementrippen werden bei der Firma *Rubner* Großteils Kiefernvollhölzer verwendet. Diese sollen auch bei den Versuchen zum Einsatz kommen. Um ebenso Vergleiche zu Fichtenholz herstellen zu können, wird eine Versuchsreihe (ausgenommen Vorversuche) mit Fichte getestet.
- Die Herstellung der Probekörper und die Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgt in Anlehnung an die Normen ÖNORM EN 1381 und ÖNORM EN 26891.
- Die Versuche mit den Klammern als Verbindungsmittel werden nur mit bündig eingeschlagenem Klammerrücken durchgeführt. Dies ist vor allem auf den fertigungstechnischen Ablauf zurückzuführen, bei welchem kein Rückenüberstand über die Beplankung toleriert werden kann.
- Die Klammerprüfungen sollen unter verschiedenen Winkeln ϕ und Belastungsrichtungen (parallel oder rechtwinkelig zur Faser) durchgeführt werden.

Für die definierten Prüfscenarien unter Kapitel 3.2.2 und 3.2.3 sollen keine Vorversuche durchgeführt werden, da bereits mit den Klammervorversuchen etwaige Probleme aufgezeigt und Lösungsmöglichkeiten erarbeitet wurden.

4 Hauptversuche und Interpretation

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Durchführung der zuvor in Prüfscenarien eingeteilten Versuche mit stiftförmigen Verbindungsmitteln (siehe Tabelle 4-1 bis Tabelle 4-3). Nach jedem Hauptkapitel werden die gewonnenen Ergebnisse interpretiert. Eine Gesamtanalyse der gewonnenen Daten erfolgt am Ende von Kapitel 4.

Dieser Teil der Arbeit besteht daher aus folgenden Punkten:

- Planung der Hauptversuche
- Befestigungsmittel für die Elementbeplankung
- Reihenwirkung von Klammern und Modellbildungen
- Verformungsparameter für Vollgewindeschrauben
- Interpretation der Gesamtversuche.

4.1 Planung der Hauptversuche

4.1.1 Versuchsauflistung

Die Auflistung der Versuche der jeweiligen Prüfscenarien wird in den Tabelle 4-1 bis Tabelle 4-3 dargestellt.

Tabelle 4-1: Versuche Prüfscenario 1

Nr.	Kurzbezeichnung	Anzahl der Versuche
1.1	E_0_90_26891	5
1.2	E_0_90	5
1.3	E_0_90_Fichte	5
1.4	E_0_90_18mm_OSB	5
1.5	E_0_45	5
1.6	E_0_0	5
1.7	E_90_90	5
1.8	E_90_45	5
1.9	E_90_0	5
1.10	Trap_1x_Schr	5
1.11	Trap_2x_Schr	5
1.12	Trap_1x_Klammer	5

Tabelle 4-2: Versuche Prüfzenario 2

Nr.	Kurzbezeichnung	Anzahl der Versuche
2.1	Mehrfachklammerung	11
2.2	Fliegender Stoß	11
2.3	Konzentrierte Klammerung	4
2.4	exzentrische Krafteinleitung	11

Tabelle 4-3: Versuche Prüfzenario 3

Nr.	Kurzbezeichnung	Anzahl der Versuche
3.1	Nr. 1 Würth 45°	5
3.2	Nr. 2 Schmid 45° 8x400	5
3.3	Nr. 3 Eurotec 45° 8x260	5
3.4	Nr. 4 Eurotec 30° 8x220	5
3.5	Nr. 5 Eurotec 45° 8x260 mit OSB	5
3.6	Nr. 6 Eurotec 30° 8x220 mit OSB	5
3.7	Nr. 7 Eurotec 45° 8x400 mit OSB	3
3.8	Nr. 8 Eurotec 45° 8x400 ohne OSB	3
3.9	Nr. 9 Eurotec 45° 8x400 mit OSB Zug-Druck	3
3.10	Nr. 10 Eurotec 45° 8x400 mit OSB Kreuz	3
3.11	Nr. 11_a Eurotec 2x45° 8x260 Fugenversuch - ohne Fuge	5
3.12	Nr. 11_b Eurotec 2x45° 8x260 Fugenversuch - mit Fuge Luft	5
3.13	Nr. 11_b Eurotec 2x45° 8x260 Fugenversuch - mit Fuge Schaum	6

4.2 Befestigungsmittel für die Elementbeplankung

4.2.1 Abscherversuche Einzelklammer

In diesem Abschnitt werden die in Tabelle 4-1 aufgelisteten Versuche (1.1 bis 1.9) erläutert und deren Auswertung inklusive den Ergebnissen der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens aufgezeigt. Der erste Einzelklammerversuch, welcher nach der Prüfnorm ÖNROM EN 26891 durchgeführt wurde, wird dabei genauer erklärt.

Einzelklammerversuch E_0_90_26891

Die Probekörper für diesen Versuch wurden in Anlehnung an die ÖNORM EN 1381 hergestellt. Dabei sollten die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten einer Einzelklammer bestimmt werden.

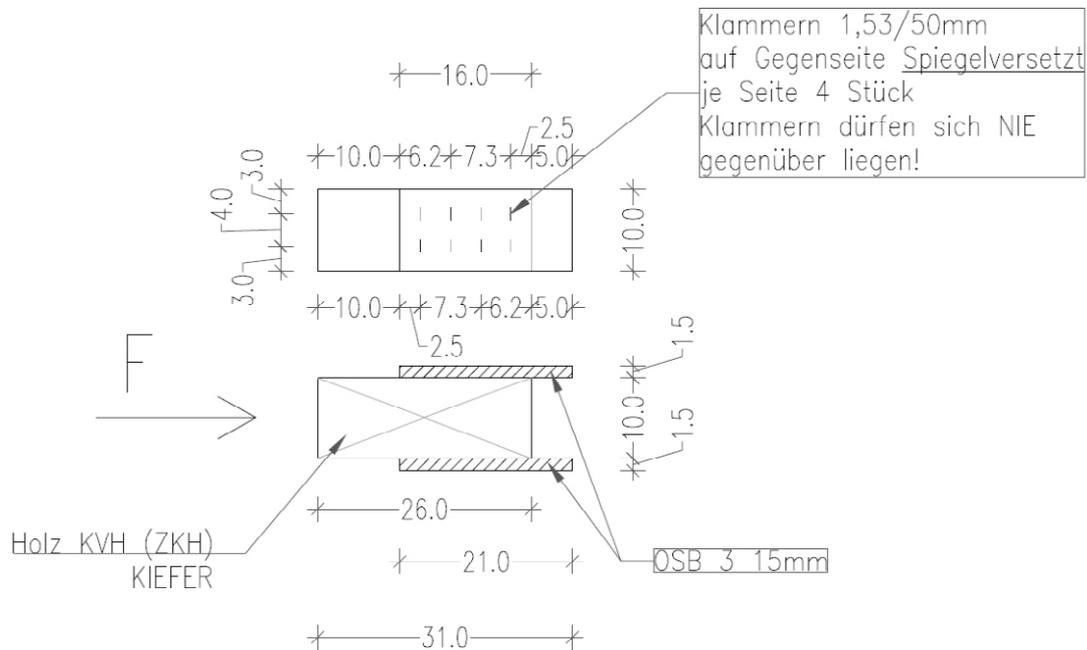


Abbildung 4-1: Skizze Prüfkörper E_0_90_26891

In Abbildung 4-1 ist der Prüfkörper als Detailzeichnung dargestellt. Als Ausgangswerkstoff für die zu simulierende Elementrippe wurde Kiefernvollholz verwendet. Als Beplankungsplatte des Versuchskörpers dient eine 15mm dicke OSB3 Platte welche, wie in Abbildung 4-1 gezeigt, mit Klammern befestigt wurde. Die Klammern entsprechen den stiftförmigen Verbindungsmitteln wie unter Punkt 3.3.1 beschrieben.

Der Versuchskörper besteht aus einer dreiteiligen Verbindung mit jeweils vier Klammern pro Seite. Die Druckbelastung erfolgt durch eine Universalprüfmaschine. Das Abscheren tritt über die einschnittige Fuge auf.

Die Klammern wurden mithilfe eines Druckluftnagelgerätes eingeschlagen. Der Beplankungswerkstoff wurde ohne Fuge auf der Elementrippe befestigt.

Die Abkürzung der Versuchsbezeichnung hat dabei folgende Bedeutung:

- E Steht für die Prüfung von Einzelklammern, die Anzahl von insgesamt acht Einzelklammern soll zu einer Vereinheitlichung der Versuchsergebnisse

beitragen, da der Rippenwerkstoff Holz ein inhomogenes Material darstellt (Äste, Druckzonen, usw.).

- 0 Die Ziffer 0 bezieht sich auf den Winkel der eingeleiteten Kraft in Bezug zur Holzfaserrichtung.
- 90 Gibt den Winkel zwischen der Holzfaserrichtung und dem Rücken des Verbindungsmittels (Klammer) wieder.

Da das einschlagen der Klammern lt. Norm praxisgerecht erfolgen soll, wurden die Klammerrücken bündig in der Oberfläche der OSB Platten versenkt. Die Eindringtiefe der Klammerspitze in das Vollholz beträgt somit bei einer 15mm starken OSB Platte 35mm.

Um eine größere Aussagewahrscheinlichkeit bezüglich der Tragfähigkeit und dem Verformungsverhalten zu bekommen, wurden für die nachfolgenden Prüfungen (1.1 bis 1.9 lt. Tabelle 4-1) jeweils fünf Probekörper getestet.

Die Versuchssteuerung erfolgte wie bei den Vorversuchen über die Universalprüfmaschine Zwick. Zusätzlich wurde die Kraft und die Verschiebung mit einer Kraftmessdose und zwei Wegaufnehmern, welche den Normvorgaben entsprechen, Mitthilfe des QuantumX aufgezeichnet.



Abbildung 4-2: Prüfaufbau Versuch E_0_90_26891

Um die Belastungsgeschwindigkeit richtig wählen zu können, muss für diesen Versuch die maximal erwartete Höchstlast F_{est} abgeschätzt werden. Dazu wurden die Tragfähigkeitswerte der Vorversuche herangezogen.

Die Lastaufbringung ist dabei in der ÖNORM EN 26891⁷⁷ geregelt (siehe Abbildung 4-3). So ist die Last bis $0,4 F_{est}$ aufzubringen und dort 30 Sekunden konstant zu halten. Die Last ist anschließend auf $0,1 F_{est}$ zu verringern und erneut 30 s konstant zu halten. Danach ist die Last zu steigern, bis die Bruchlast oder eine Verschiebung von 15mm erreicht ist.

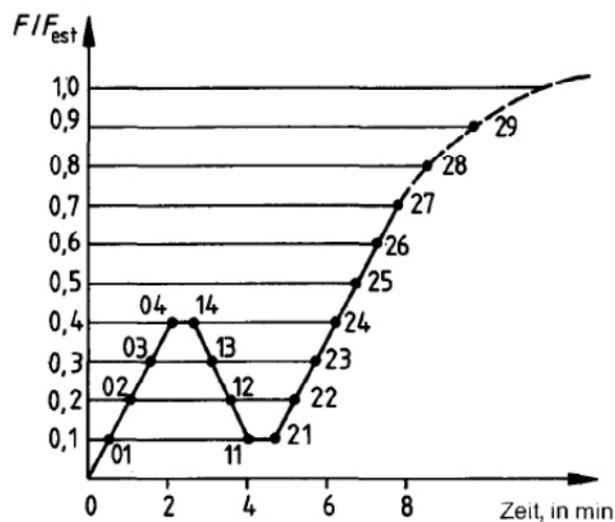


Abbildung 4-3: Belastungsverfahren nach ÖNORM EN 26891⁷⁸

Die Prüfgeschwindigkeit wurde entsprechend in Anlehnung an die Norm an der Universalprüfmaschine, welche den Versuch steuert, eingestellt.

Abbildung 4-4 zeigt die idealisierte Last- Verschiebungskurve des zweiten Prüfkörpers, der Prüfreihe E_0_90_26891, welche mithilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Excel erstellt wurde.

Bei dieser Kurve wird ersichtlich, dass die angenommene Höchstkraft als zu gering geschätzt wurde, da es auf der y-Achse zu einer Überschreitung von $F/F_{est} > 1,0$ gekommen ist. Die angegebene Kurve bezieht sich bereits auf die Last- Verschiebung einer Einzelklammer und wurde aus dem Gesamtversuch zurückgerechnet.

Der dargestellte Versuch wurde bei einer maximalen Verschiebung von 14mm abgebrochen, da keine weitere Kraft mehr aufgenommen werden konnte und alle Klammern plastifiziert sind.

⁷⁷ (ÖNORM EN 26891, S. 3)

⁷⁸ (vgl. ⁷⁷)

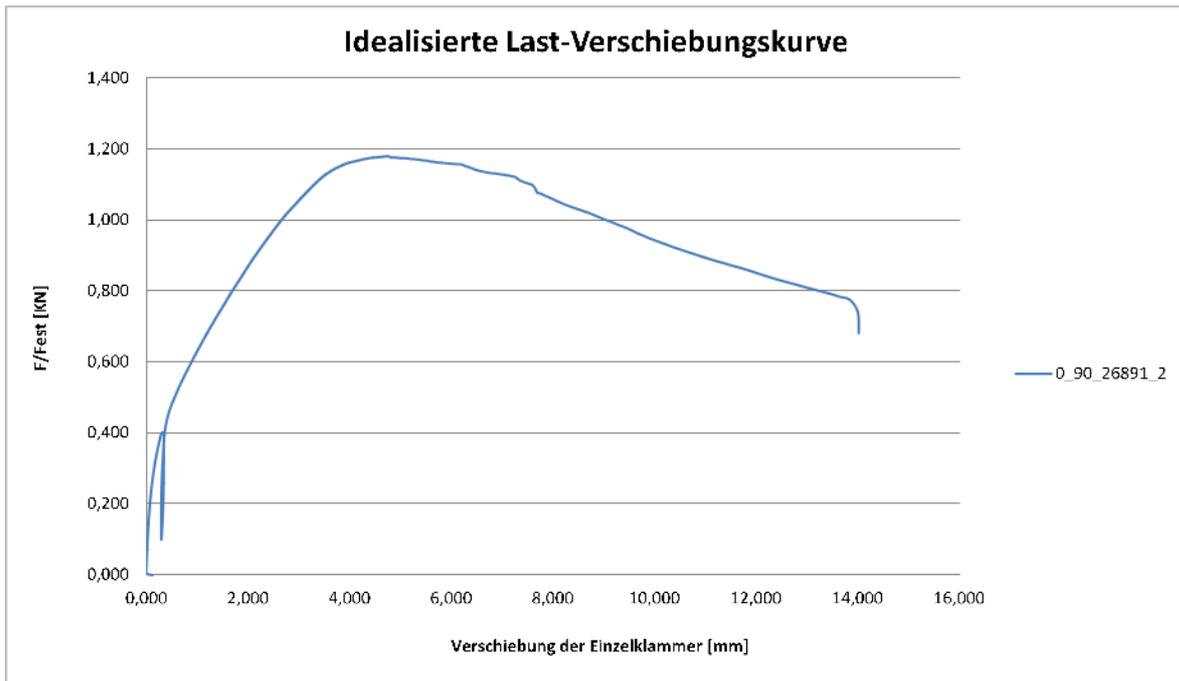


Abbildung 4-4: Last- Verschiebungskurve E_0_90_26891_2

Mit der Last- Verschiebungskurve (Abbildung 4-4) kann auch das Belastungsverfahren, welches bereits mit Abbildung 4-3 beschrieben wurde, nochmals veranschaulicht werden. Dabei wurde die Last bei $0,4 F_{est}$ gehalten und im Anschluss bis $0,1 F_{est}$ verringert und wiederum gehalten. Im Anschluss daran erfolgte die Weiterbelastung bis zum Bruch.

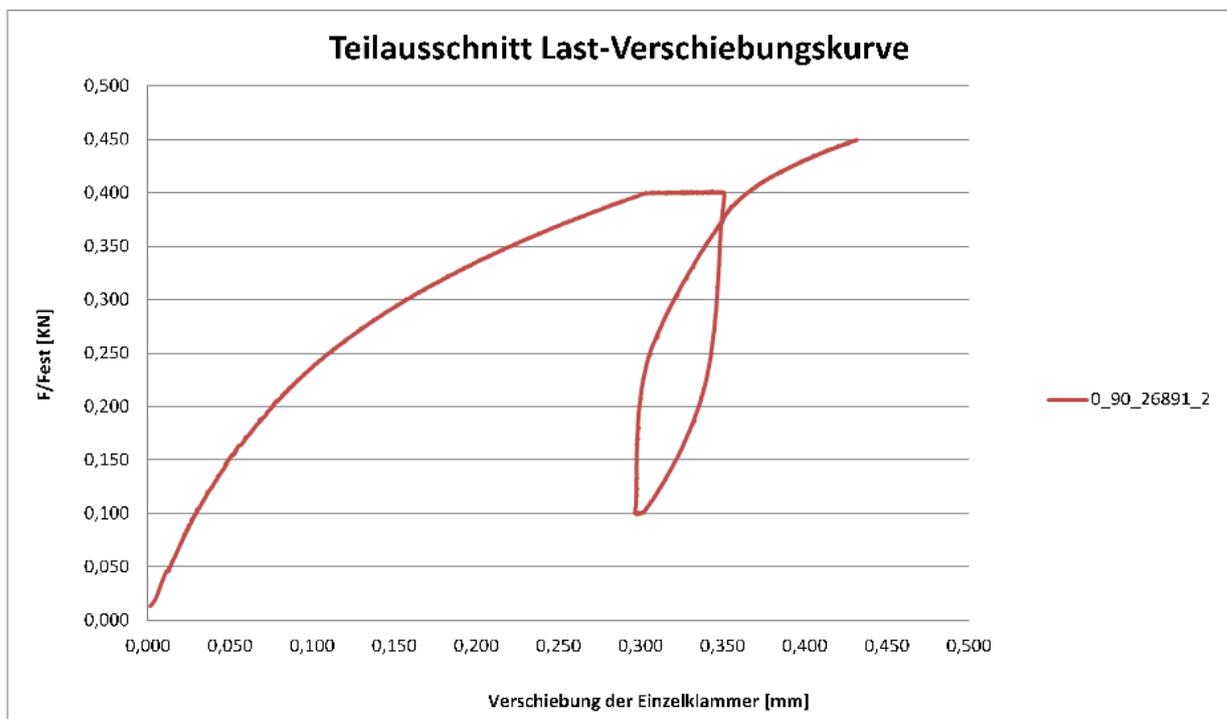


Abbildung 4-5: Teilausschnitt Last- Verschiebungskurve E_0_90_26891_2

Ein Teilausschnitt aus der Last- Verschiebungskurve dieses Versuchs, welcher in Abbildung 4-5 dargestellt wird, verdeutlicht das Belastungsschema. So kann man das obere Plateau oder die Haltezeit erkennen. Während der Haltezeit kommt es zwar zu keiner Kraftsteigerung mehr, jedoch nimmt die Verschiebung durch interne Kraftumlagerungen noch weiter zu. Dies ist beim unteren Umkehrpunkt nicht so stark erkennbar.

Die Auswertung für die Tragfähigkeit einer Klammerverbindung und die Berechnung des Verschiebungsmoduls erfolgt nach ÖNORM EN 26891.⁷⁹

Folgende Werte waren dabei von besonderem Interesse:

- k_i Anfangsverschiebungsmodul
- k_s Verschiebungsmodul (wird im EC auch als K_{ser} bezeichnet)
- F_{max} Höchstlast.

Vor allem mit dem Verschiebungsmodul und der Höchstlast können die charakteristischen Werte der Einzelklammer bestimmt werden. Danach kann erst ein Vergleich mit den Werten aus der Zulassung und der Norm durchgeführt werden.

Die Höchstlast lässt sich durch die maximal auftretende Last, oder jene Last bei einer Verschiebung von 15mm bestimmen.

Der Anfangsverschiebungsmodul k_i bezieht sich auf die bleibende Anfangsverschiebung. Dabei ergibt sich bei der Berechnung von k_i (Anfangsverschiebungsmodul) ein zu hoher Wert. Dies wird beim Verschiebungsmodul k_s dadurch berücksichtigt, dass die Verschiebung erst ab $0,1 F_{est}$ herangezogen wird. Dieser Verschiebungspunkt wird auch als modifizierte Anfangsverschiebung bezeichnet. Dadurch ist der Verschiebungsmodul k_s geringfügig kleiner als k_i .

Die Auswertung der durchgeführten Prüfungen erfolgte mit dem Programm Excel, wobei nur die wichtigsten Verschiebungsparameter und die Höchstlast ermittelt wurden.

Eine Zusammenfassung dieser Daten, welche sich jeweils auf einen Prüfkörper beziehen, werden in Tabelle 4-4 gezeigt.

⁷⁹ (ÖNORM EN 26891, S. 4)

Tabelle 4-4: Ergebnisse Versuch E_0_90_26891_2

0_90_26891_2						
		Vorgabe	F/Fest			
1	Höchstlast Fmax			1,178	KN	
2	Fest			1	KN	
3	Anfangsverschiebung vi=v04	0,4	0,3987	0,3009	mm	
	v01	0,1	0,1003	0,0292	mm	
	V14	0,4	0,3997	0,3511	mm	
	v11	0,1	0,1009	0,3020	mm	
	v21	0,1	0,1008	0,2968	mm	
	v24	0,4	0,3996	0,3648	mm	
4	mod. Anfangsverschiebung vi,mod			0,3623	mm	
5	bleibende Anfangsverschiebung vs			-0,0614	mm	
6	elastische Verschiebung ve			0,0781	mm	
7	Anfangsverschiebungsmodul ki			1325,19	N/mm	Ki
8	Verschiebungsmodul ks			1104,03	N/mm	Ks
	vFmax			4,781	mm	
	Ku			244,699	N/mm	Ku

Bei den durchgeführten Versuchen wurden jeweils fünf Prüfkörper getestet. Die Versuchsergebnisse der fünf Einzelklammerversuche E_0_90_26891 sind in Tabelle 4-5 dargestellt und zusammengefasst.

Tabelle 4-5: Ergebnisse E_0_90_26891

	Fmax [KN]	Kser [N/mm] ki	Kser [N/mm] ks	Ku [N/mm]
0_90_26891				
1	1,199	1106,54	1033,36	221,95
2	1,178	1325,19	1104,03	244,69
3	1,144	1330,80	1115,06	264,33
4	1,119	944,58	782,51	198,52
5	1,304	1898,68	2197,19	217,19
Mittelw	1,189	1321,16	1246,43	229,34

Für jede Versuchsserie wurde im Anschluss für die Werte F_{max} , k_i , k_s und K_u der Mittelwert gebildet. Eine Berechnung von charakteristischen Werten erfolgt erst im Anschluss an alle durchgeführten Klammerversuche.

Die Berechnung der charakteristischen 5%-Quantile für die oben angeführten Daten erfolgt mithilfe der ÖNROM EN 14358.⁸⁰

⁸⁰ (ÖNORM EN,14358)

Angaben und Werte über die Rohdichte und die Feuchtigkeit des Holzes und der OSB Platten zum Prüfzeitpunkt, werden im Anschluss an die Klammerversuche zusammengestellt.

Einzelklammerversuch E_0_90

Die Versuchskörper für diesen Versuch sind ident jenen in Abbildung 4-1. Ebenso wurden für die Herstellung die gleichen Materialien verwendet und die zuvor erwähnten Rahmenbedingungen eingehalten.

Der Unterschied zum Einzelklammerversuch E_0_90_26891 liegt im geänderten Belastungsverfahren. Die Belastung erfolgte hierbei nicht mehr nach den Vorgaben der ÖNROM EN 26891. Bei der Belastung wurde bei $0,4 F_{est}$ die Last nicht für 30 Sekunden konstant gehalten. Ebenso erfolgte keine Entlastung bis $0,1 F_{est}$ sondern eine sofortige Weiterbelastung der Klammerverbindung bis zum Erreichen der Tragfähigkeitsgrenze.

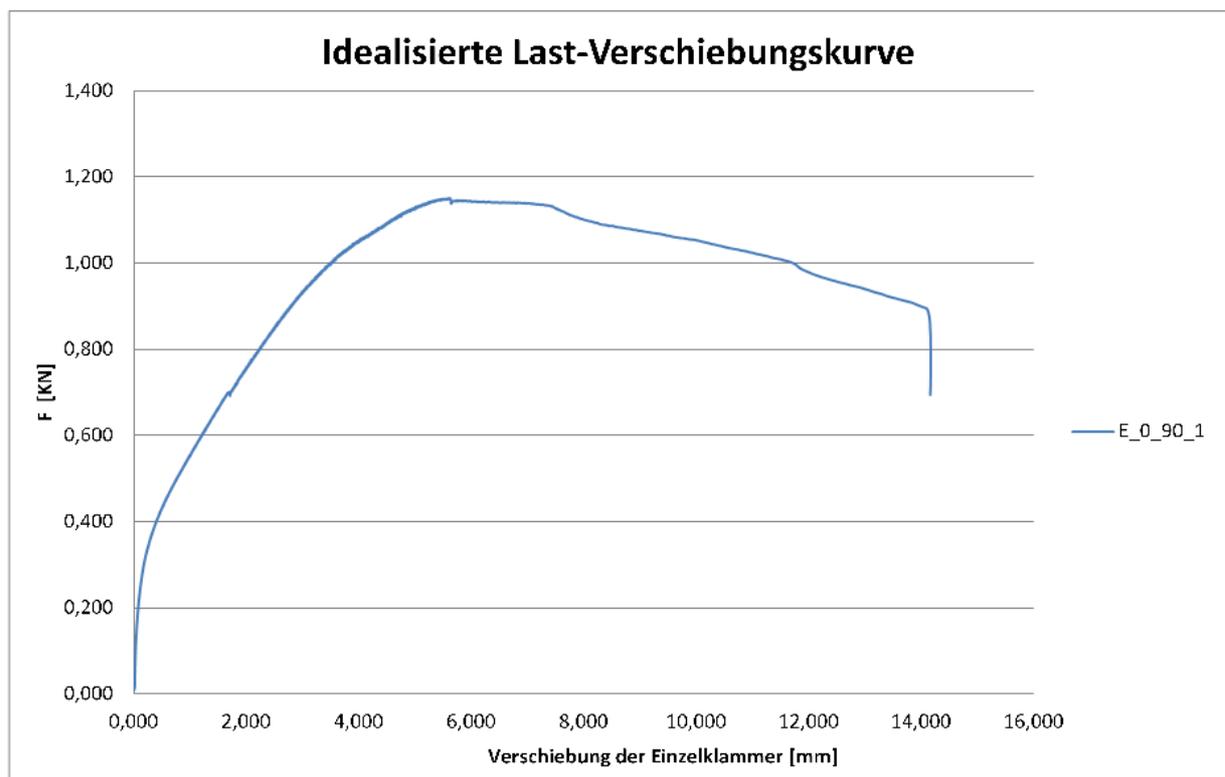


Abbildung 4-6: Last- Verschiebungskurve E_0_90_1

Wie in Abbildung 4-6 zu erkennen ist, fehlt der Last-Verschiebungskurve der Entlastungs- und Wiederbelastungsbereich zwischen $0,4 F_{est}$ bis $0,1 F_{est}$. Dieser Versuch wird zeigen, ob sich durch die Wahl eines modifizierten Belastungsverfahrens geänderte Tragfähigkeiten

ergeben. Weiters soll mit den geänderten Parametern das Verformungsverhalten beurteilt werden.

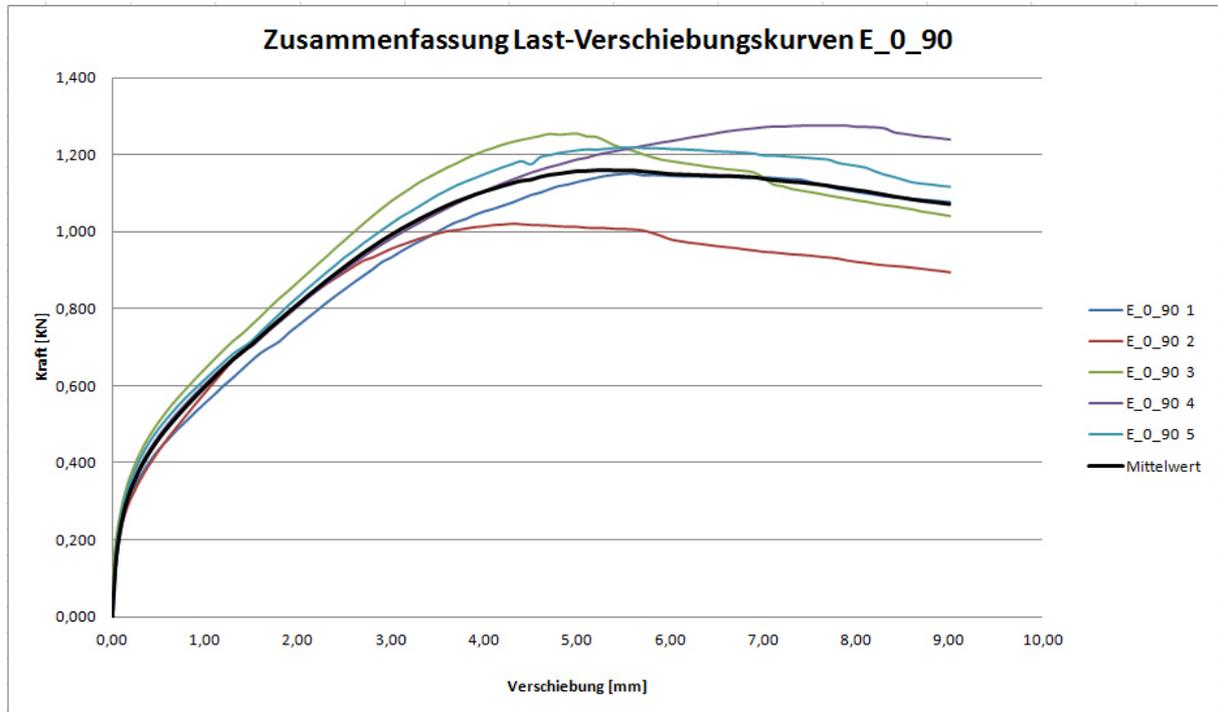


Abbildung 4-7: Zusammenfassung Last-Verschiebungskurven E_0_90 Versuch 1-5

Abbildung 4-7 zeigt die Zusammenfassung der Last- Verschiebungskurven vom Versuch E_0_90, mit der die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten ermittelt wurden (siehe Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6: Ergebnisse E_0_90

	Fmax [KN]	Kser [N/mm] ki	Kser [N/mm] ks	Ku [N/mm]
0_90				
1	1,151	752,28	613,83	205,10
2	1,020	935,05	721,85	233,21
3	1,256	1017,51	782,35	250,20
4	1,276	805,82	646,38	168,96
5	1,220	977,07	776,19	218,48
Mittelw	1,185	897,55	708,12	215,19

Der Vergleich der Ergebnisse mit jenen des Versuches E_0_90_26891 zeigt, dass der Mittelwert der Tragfähigkeit bei beiden Versuchen fast ident ist. Auffällig ist jedoch die signifikante Abnahme des Verschiebungsmoduls. Hier nimmt sowohl der Wert k_i und k_s stark

ab. Der Verformungsmodul unter Traglast (K_u) ist wie zu erwarten, wegen der gleichbleibenden gemessenen Tragfähigkeit, annähernd ident.

Beim gewählten Belastungsverfahren werden somit die Verschiebungsmodule unter Gebrauchslast unterschätzt. Da der Verformungsmodul unter Traglast und die Gesamttragfähigkeit jedoch wieder übereinstimmen und dieses Prüfverfahren wesentlich weniger Zeit in Anspruch nimmt, wird die beschriebene Abänderung im Belastungsverfahren auch für alle weiteren Einzelklammerversuche (siehe Tabelle 4-1 Versuch 1.3-1.9) angewendet.

Einzelklammerversuch E_0_90_FICHTE

Die Versuchskörper für diesen Versuch sind ident jenen in Abbildung 4-1. Jedoch wird als Ausgangsmaterial der Elementrippe Fichtenvollholz verwendet. Das Fichtenholz wird ebenso wie bereits beschrieben an der Oberfläche plan gehobelt und ohne Fugen mit den OSB3 Beplankungsplatten (15mm Dicke) mit den gewählten Klammern verbunden.

Dieser Versuch soll als Vergleichswert zum Kiefernvollholz herangezogen werden, da die restlichen Einzelklammerversuche mit Kiefer durchgeführt werden.

Die Ergebnisse dieses Versuches sind in Tabelle 4-7 zusammengestellt.

Tabelle 4-7: Ergebnisse E_0_90_Fichte

	Fmax [kN]	Kser [N/mm] ki	Kser [N/mm] ks	Ku [N/mm]
0_90_Fichte				
1	1,221	1130,23	857,45	132,17
2	1,087	742,27	533,09	129,95
3	1,161	744,72	534,64	139,08
4	1,061	896,96	644,86	142,17
5	1,113	702,89	537,47	149,12
Mittelw	1,129	843,41	621,50	138,50

Der Mittelwert der maximal gemessenen Höchstlast liegt dabei etwas niedriger als bei den Versuchen mit Kiefernvollholz. Eine deutliche Abnahme zeigt sich beim Verschiebungsmodul K_u unter Traglast.

Angaben und Werte über die Rohdichte und die Feuchtigkeit des Holzes zum Prüfzeitpunkt werden im Anschluss an die Klammerversuche dargestellt.

Einzelklammerversuch E_0_90_18mm_OSB

Um einen Rückschluss auf dickere Beplankungsplatten ziehen zu können, wurden bei diesem Versuch 18mm dicke OSB3 Platten herangezogen (siehe Abbildung 4-8). Die Belastung und die Lastaufbringung erfolgt wie bereits bei den Versuchen zuvor. Ebenso wird an der Anordnung der Verbindungsmittel und der Lastaufbringrichtung nichts geändert. Somit ergibt sich eine direkte Vergleichbarkeit mit den vorangegangenen Versuchen. Als Rippenmaterial wird wiederum Kiefernvollholz verwendet.

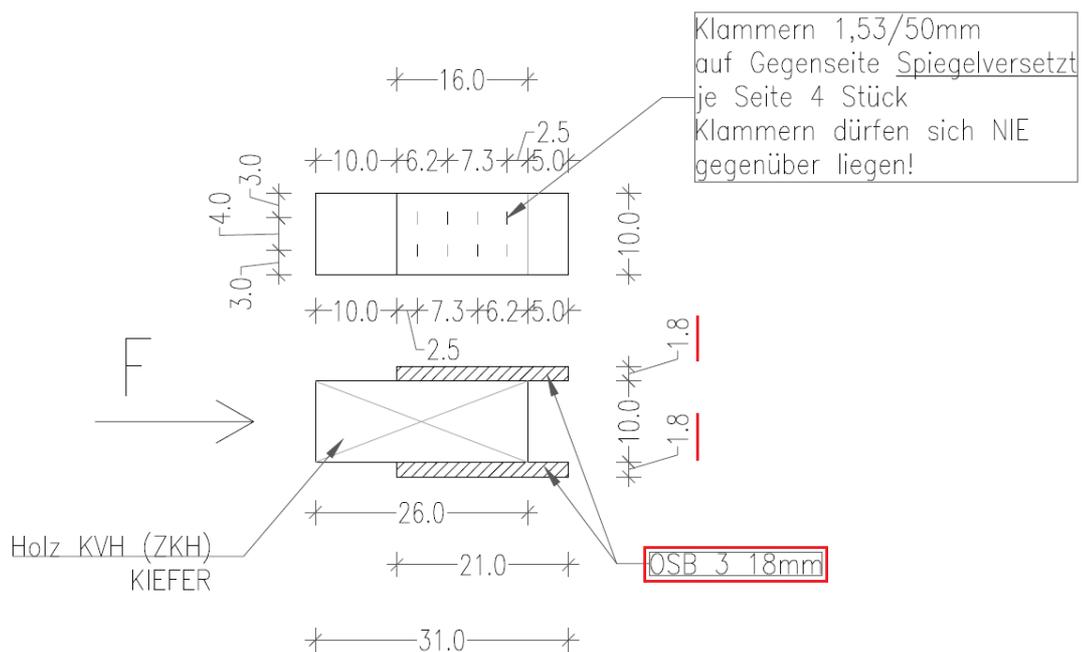


Abbildung 4-8: Skizze Prüfkörper E_0_90_18mm_OSB

Die gewonnenen Ergebnisse, die in Tabelle 4-8 dargestellt sind, können somit direkt mit jenen des Versuches E_0_90 verglichen werden, da die restlichen Randbedingungen nicht variiert wurden.

Tabelle 4-8: Ergebnisse E_0_90_18mm_OSB

	Fmax [KN]	Kser [N/mm] ki	Kser [N/mm] ks	Ku [N/mm]
0_90_18mm_OSB				
1	1,109	904,63	601,73	153,71
2	1,097	1181,20	875,22	204,82
3	1,052	955,16	633,62	180,94
4	1,137	979,63	669,19	167,60
5	1,235	1197,47	791,84	234,08
Mittelw	1,126	1043,62	714,32	188,23

Zur Veranschaulichung können auch die beiden Mittelwertkurven des Last-Verschiebungsdiagramms übereinander gelegt werden. In Abbildung 4-9 wird der untere Bereich der Last-Verschiebungskurve gezeigt.

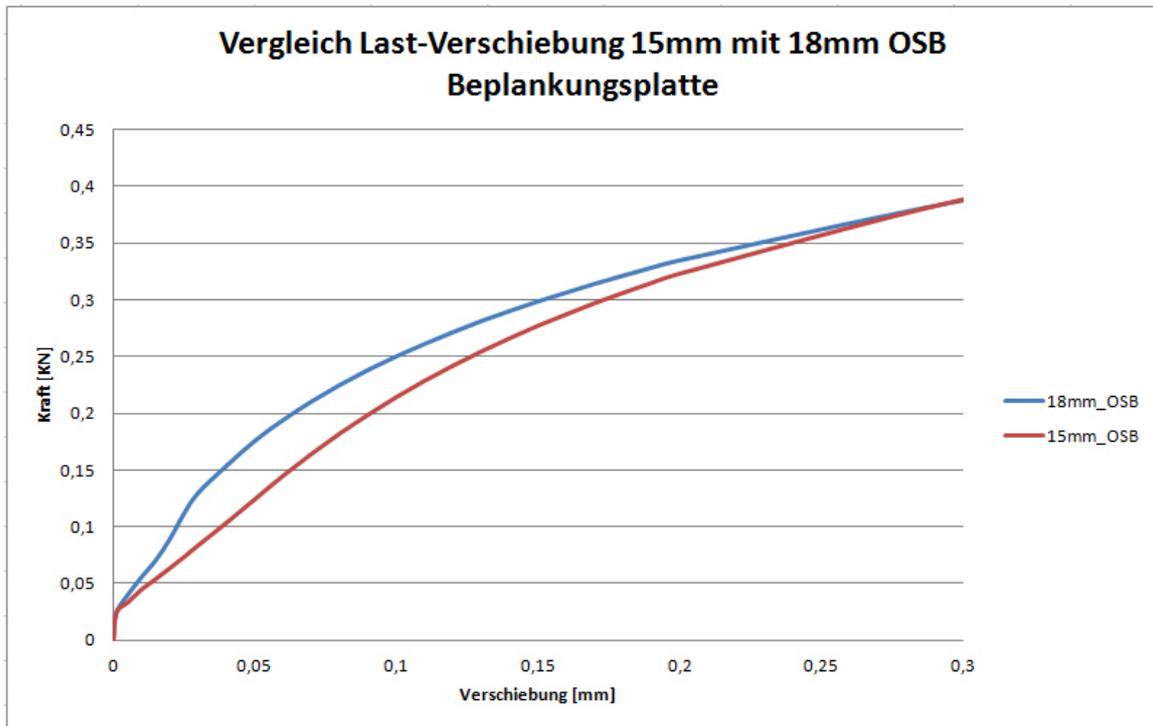


Abbildung 4-9: Vergleich 15mm mit 18mm OSB Platte

Wird nun der Mittelwert des Verschiebungsmoduls k_i betrachtet, so weist eine 18mm starke OSB Platte ein etwas steiferes Verhalten auf als eine 15mm OSB Platte.

Einzelklammerversuch E_0_45

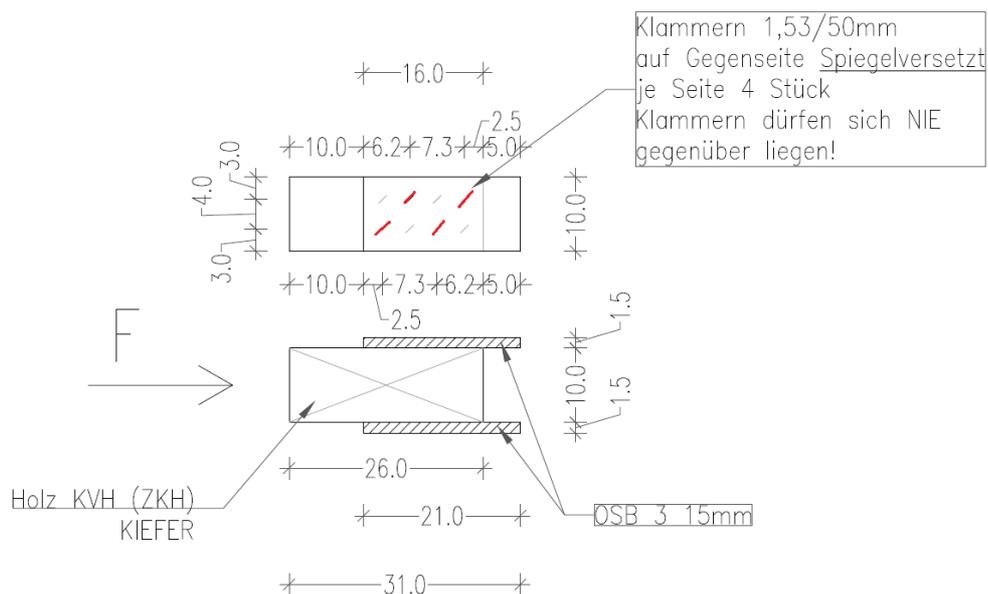


Abbildung 4-10: Skizze Prüfkörper E_0_45

Der Prüfkörper für diesen Versuch ist in Abbildung 4-10 dargestellt. Die Ausgangsmaterialien sind Kiefernvollholz und eine OSB3 Platte mit 15mm Dicke. Die Klammern entsprechen dem definierten Standard.

Ebenso gibt es keine Änderung der Belastungsrichtung des Prüfkörpers. Die Kraft wird parallel zu den Holzfasern eingeleitet. Bei diesem Versuch wird lediglich der Winkel zwischen der Holzfaserrichtung und dem Klammerrücken variiert. Wie aus der Versuchsbezeichnung herauszulesen ist, beträgt dieser Winkel bei diesem Versuch 45°.

Um die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten von Klammerverbindungen ermitteln zu können, müssen zumindest Prüfungen mit $\alpha_{crn}=0^\circ$, $\alpha_{crn}=45^\circ$, $\alpha_{crn}=90^\circ$ durchgeführt werden.⁸¹

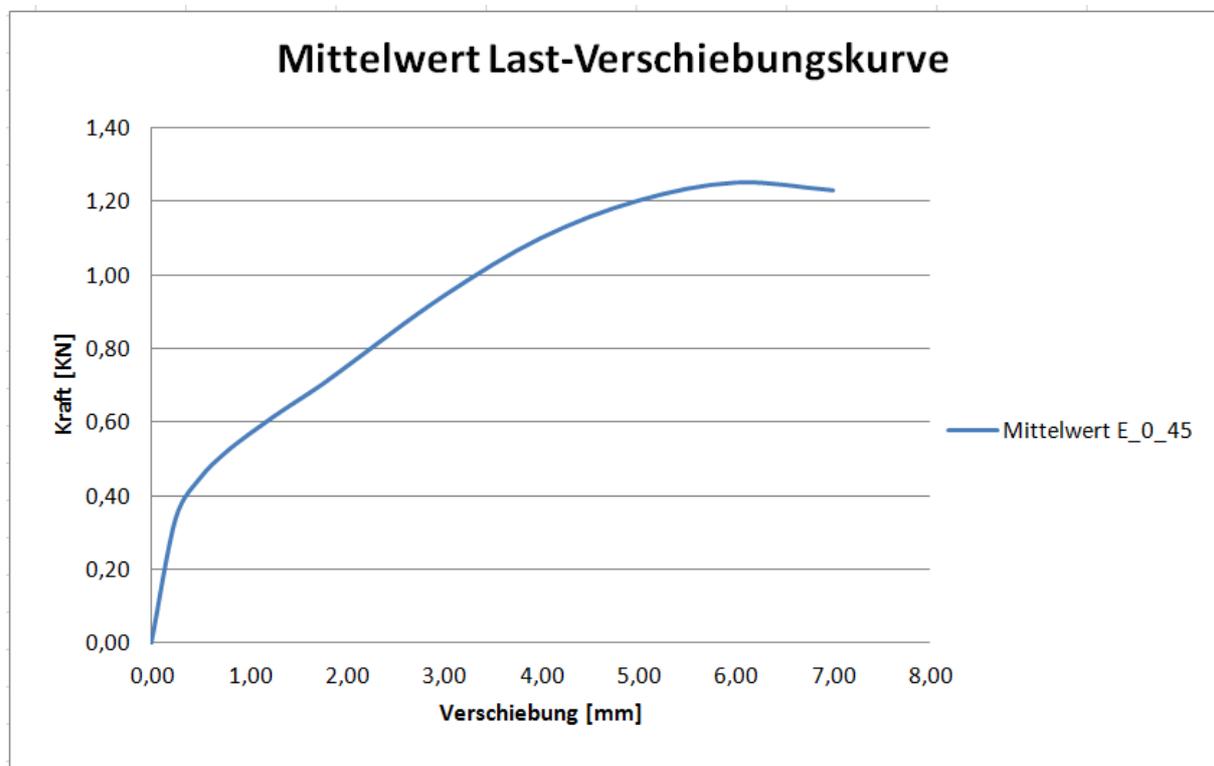


Abbildung 4-11: Mittelwert Last-Verschiebungskurven E_0_45

In Abbildung 4-11 ist die Mittelwertkurve, welche durch die fünf geprüften Versuchskörper erstellt wurde, dargestellt. Markant ist dabei der deutlich sichtbare "Knick" der Auswertekurve, welcher ab einer Kraft von 0,4kN auftritt. Danach verläuft die Kurve teilweise mit einer konvexen Form, was zu einem niedrigeren Verschiebungsmodul führt. Dies bedeutet, dass diese Verbindungen eine geringere Steifigkeit aufweist, jedoch die Tragfähigkeit geringfügig höher ist als bei den Klammerversuchen E_0_90 (siehe Tabelle 4-9).

⁸¹ (ÖNORM EN 1381, S.5)

Tabelle 4-9: Ergebnisse E_0_45

	Fmax [KN]	Kser [N/mm] ki	Kser [N/mm] ks	Ku [N/mm]
0_45				
1	1,145	629,89	443,71	190,58
2	1,263	858,28	576,74	194,40
3	1,290	748,23	522,18	179,42
4	1,330	744,50	523,64	216,68
5	1,255	682,62	454,51	209,90
Mittelw	1,257	732,70	504,16	198,20

Einzelklammerversuch E_0_0

Wie bereits die Versuchsdefinition zeigt, wird bei diesen Versuchen der Winkel zwischen Holzfaserrichtung und dem Rücken der Klammer auf $\alpha_{crn}=0^\circ$ geändert. Der Klammerrücken wird somit parallel zur Holzfaserrichtung der Kiefernrippe eingebracht. Die Belastung des Probekörpers erfolgt ebenso parallel zur Holzfaserrichtung.

Bei den Versuchen ist ein noch stärkerer Knick in der Verformungskurve erkennbar, woraus wiederum niedrigere Werte für die Verschiebungsmoduli resultieren (siehe Tabelle 4-10).

Tabelle 4-10: Ergebnisse E_0_0

	Fmax [KN]	Kser [N/mm] ki	Kser [N/mm] ks	Ku [N/mm]
0_0				
1	1,059	487,98	340,69	184,82
2	1,135	443,53	304,97	164,52
3	1,352	535,43	369,44	187,78
4	1,146	612,94	448,36	172,28
5	1,175	698,56	485,98	241,08
Mittelw	1,173	555,69	389,89	190,09

Die Abbildung 4-12 zeigt die Zusammenfassung der Mittelwerte der Einzelklammerkurven mit der aufgebrauchten Belastung in Faserrichtung. Durch den identen Prüfablauf sind diese Versuche direkt miteinander vergleichbar.

Erkennbar ist dabei, dass der Versuch E_0_0 die geringsten Steifigkeiten aufweist. Weiters kann man die geringere Bruchtragfähigkeit des Versuches E_0_90 erkennen. Die durchgeführten Versuche unter paralleler Lasteinleitung und Variation des Einbringwinkels der Klammer, weisen wie ersichtlich, ein sehr unterschiedliches Verhalten auf.

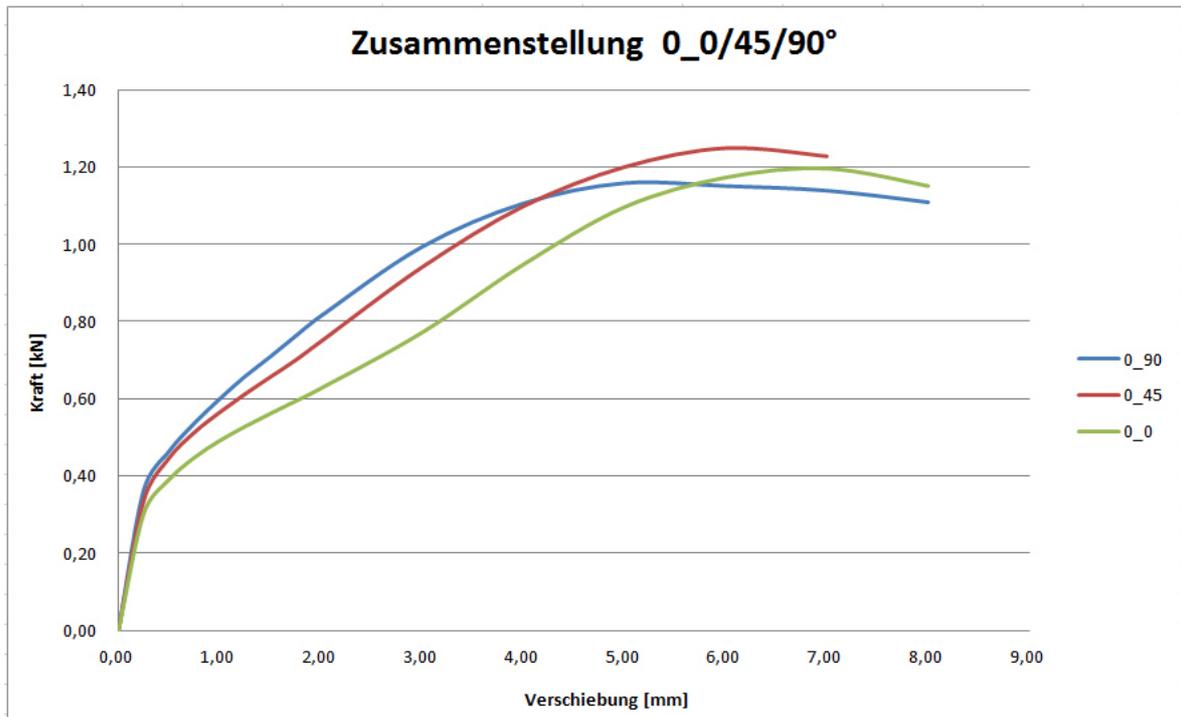


Abbildung 4-12: Zusammenstellung Last- Verschiebungskurven 0°

Einzelklammerversuch E_90_90

Bei den nachfolgenden drei Versuchen wird die Last rechtwinklig zur Faserrichtung in das Kiefernvollholz eingeleitet. Die Holzwerkstoffplatten (OSB3), welche eine Dicke von 15mm aufweisen, sind beidseitig des Mittelholzes, mit vier Klammern von jeder Seite befestigt. Es handelt sich hierbei also wiederum um eine dreiteilige Verbindung, welche einschnittig auf Abscheren belastet wird (Abbildung 4-13).

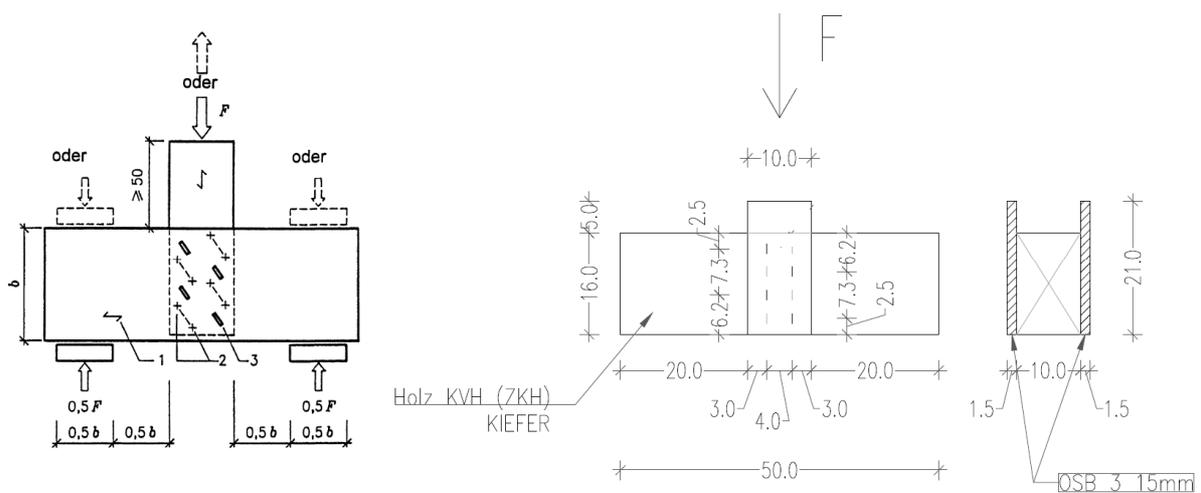


Abbildung 4-13a: Prüfkörper lt. ÖNORM EN 1381⁸², b: Versuchsskizze E_90_90

⁸² (ÖNORM EN 1381, S. 5)

Die Belastung wird nach dem abgeänderten Verfahren, wie beim Versuch E_0_90 beschrieben, aufgebracht. Bei der rechtwinkligen Lasteinleitung wird ebenso die Versuchssteuerung und die Messdatenerfassung nicht geändert (Zwick + QuantumX).

In Abbildung 4-14 ist die Zusammenfassung der Last- Verschiebungskurve der Versuche E_90_90 inklusive dem Mittelwert abgebildet.

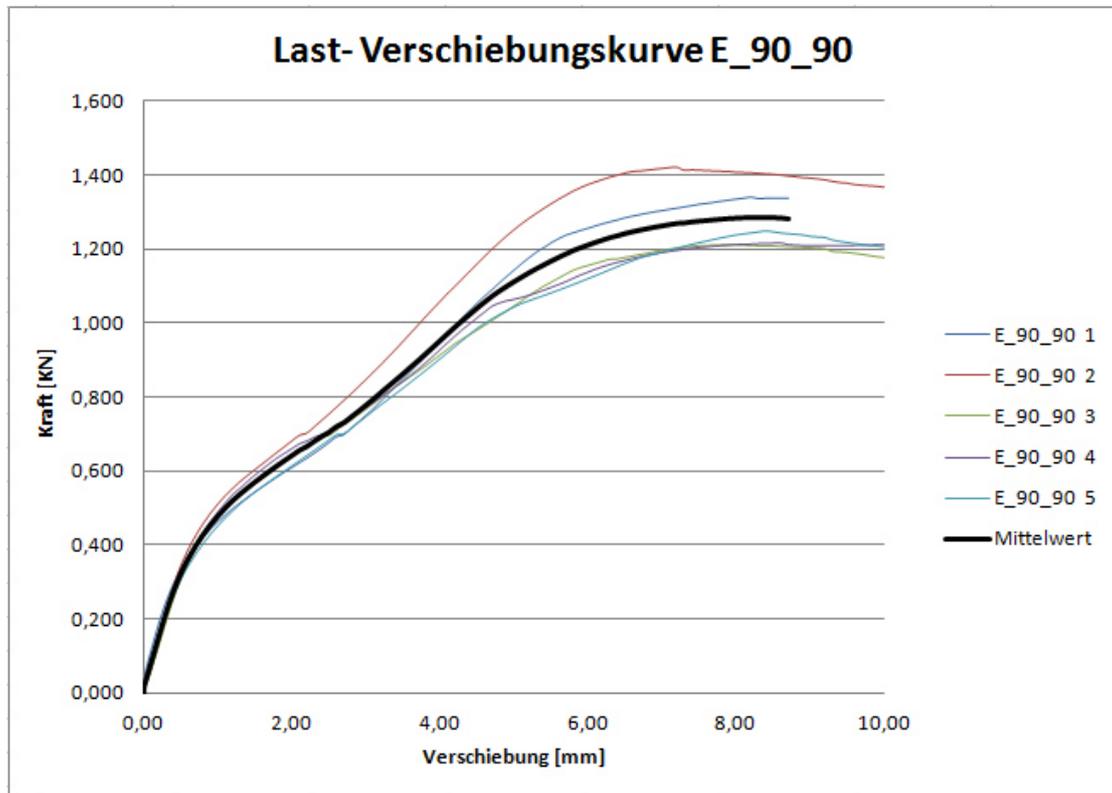


Abbildung 4-14: Zusammenfassung Last- Verschiebungskurven E_90_90

Dabei wird sofort ersichtlich, dass sich auch bei diesen Versuchen ein "Knick" in der Kraft Verschiebungskurve einstellt. Bei diesem Versuch wurde eine maximale Bruchkraft von 1,29kN ermittelt. Im Vergleich zur Lasteinleitung parallel zu den Fasern konnten hier niedrigere Verschiebungsmodule festgestellt werden. Dies beutet, dass Klammerverbindungen mit rechtwinkliger Lasteinleitung eine geringere Steifigkeit aufweisen (siehe Tabelle 4-11)

Tabelle 4-11: Ergebnisse E_90_90

	Fmax [KN]	Kser [N/mm] ki	Kser [N/mm] ks	Ku [N/mm]
90_90				
1	1,341	371,60	256,96	162,35
2	1,424	444,47	288,33	196,71
3	1,214	464,29	294,67	153,89
4	1,216	493,87	317,67	141,56
5	1,249	404,81	271,97	148,60
Mittelw	1,289	435,81	285,92	160,62

Einzelklammerversuch E_90_45

Auch bei der Lasteinleitung rechtwinkelig zur Faserrichtung wird der Winkel zwischen Holzfaser und Klammerrücken variiert und beträgt bei diesem Versuch $\alpha_{crn}=45^\circ$. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-12 zusammengestellt. Dieser Versuchsaufbau liefert dabei die höchsten gemessenen Bruchlasten für die durchgeführten Klammerverbindungen. Dabei kann aber festgestellt werden, dass dabei die Verschiebungsmodule k_i und k_s am kleinsten sind. Beim Verschiebungsmodul K_u , welcher das Verformungsverhalten unter Traglast wiedergibt, kann man keine so großen Abweichungen erkennen.

Tabelle 4-12: Ergebnisse E_90_45

	Fmax [KN]	Kser [N/mm] ki	Kser [N/mm] ks	Ku [N/mm]
90_45				
1	1,480	361,17	237,87	205,73
2	1,323	263,41	177,14	163,15
3	1,350	425,38	271,69	142,89
4	1,358	463,64	318,72	146,62
5	1,322	378,89	248,27	159,14
Mittelw	1,367	378,50	250,74	163,51

Einzelklammerversuch E_90_0

Bei diesem Versuch wurde der Winkel auf $\alpha_{crn}=0^\circ$ geändert. Die ermittelten Werte sind in Tabelle 4-13 ersichtlich.

Tabelle 4-13: Ergebnisse E_90_0

	Fmax [kN]	Kser [N/mm] ki	Kser [N/mm] ks	Ku [N/mm]
90_0				
1	1,351	418,83	268,80	171,58
2	1,260	362,76	245,76	152,51
3	1,138	421,10	254,32	176,52
4	1,220	396,87	252,57	145,43
5	1,256	603,56	384,11	220,70
Mittelw	1,245	440,62	281,11	173,35

In Abbildung 2-15 wird die Zusammenstellung der Einzelklammerversuche unter der Lasteinleitung rechtwinklig zur Faserrichtung dargestellt. Die Mittelwertkurven der Last-Verschiebungsdiagramme verhalten sich dabei relativ gleichmäßig. Dies wird auch durch die gewonnenen Ergebnisse mit den Verformungsmodulen gezeigt.

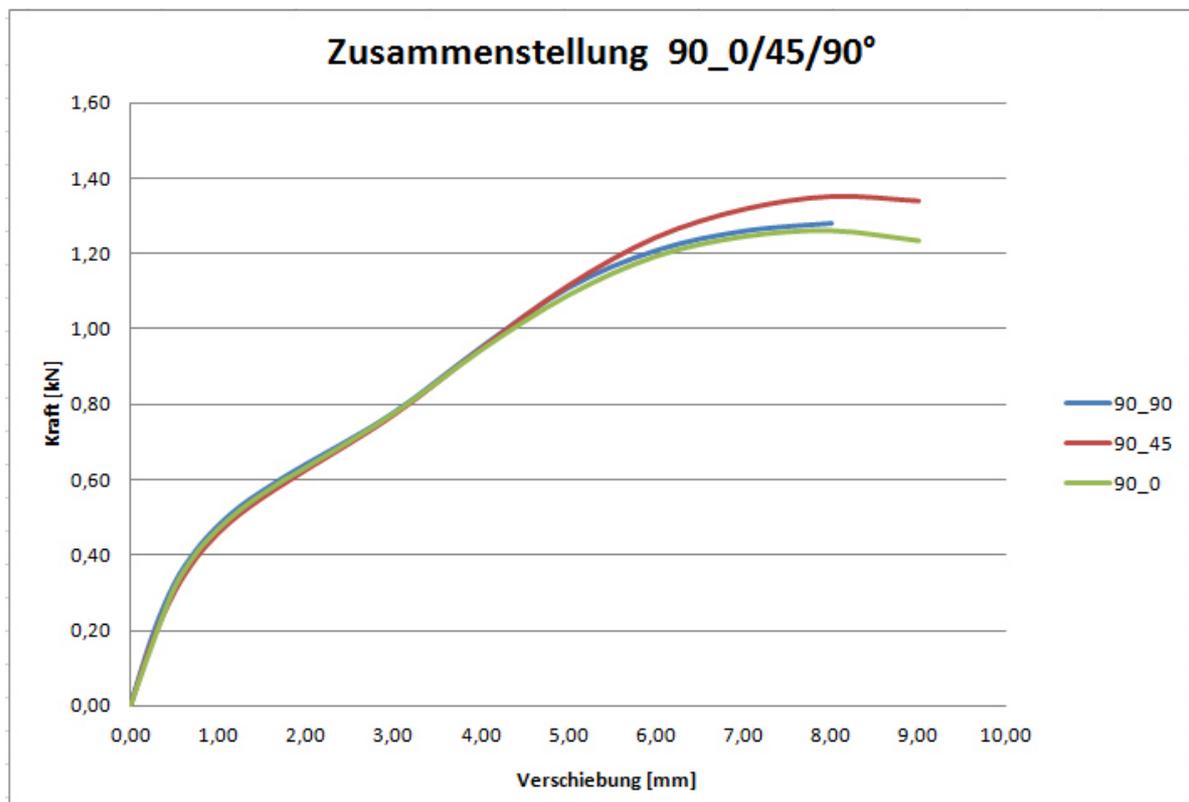


Abbildung 4-15: Zusammenstellung Last- Verschiebungskurven 90°

Bestimmung der Rohdichte und der Holzfeuchtigkeit

Die Bestimmung der Rohdichte erfolgte laut ÖNORM EN 323, jene der Holzfeuchtigkeit laut ÖNORM EN 322. Dabei wurde jeweils von der Elementrippe und der OSB Platte ein

Probenstück entnommen und die dazugehörigen Werte bestimmt. In Tabelle 4-14 erfolgt eine Zusammenfassung der Rohdichten und Holzfeuchten für die Klammerversuche.

Tabelle 4-14: Zusammenfassung Rohdichten und Holzfeuchten

	[kg/m³]	u [%]
Durchschnitt Kiefer	565,81	11,87
Durchschnitt Fichte	485,80	11,05
Durchschnitt OSB3 18mm	510,10	5,83
Durchschnitt OSB3 15mm	603,20	9,01

4.2.2 Ermittlung der charakteristischen Werte für Klammerversuche

Die Auswertung der charakteristischen 5%- Quantilwerte erfolgte mit der ÖNROM EN 14358. In dieser wird zwischen einem Verfahren im Rahmen der Erstprüfung oder der wiederkehrenden werkseigenen Produktionskontrolle unterschieden. Die Prüfung der Klammern auf Abscheren ist nicht als Erstprüfung einzustufen, da bereits in der Norm oder der Zulassung Werte über das Klammertragverhalten und die Verformungseigenschaften angegeben werden. Im nachfolgenden Kapitel wurden jedoch jeweils die charakteristischen Werte für die Tragfähig- und Steifigkeiten für die Erst- und Werksprüfung ermittelt.

Hauptversuche und Interpretation

Tabelle 4-16: Zusammenfassung Gesamtergebnisse Einzelklammerversuche

ZUSAMMENFASSUNG EINZELKLAMMERVERSUCHE

	Fmax [KN]	Fk [KN] Erstpr	Fk [KN] Werkspr	Fd [KN] Erstpr	Kser [N/mm] ki	Kser ki mean Erstpr.	Kser ki mean Werkspr.	Kser [N/mm] ks	Kser ks mean Erstpr.	Kser ks mean Werkspr.	Ku [N/mm]	Ku mean Erstpr.	Ku mean Werkspr.
O_90_26891	1,19	1,03	1,06	0,65	1321,16	1202,00	1212,11	1246,43	1065,52	1179,00	229,34	220,90	221,62
O_90	1,18	0,94	0,99	0,59	897,55	860,05	863,23	708,12	683,08	698,79	215,19	205,02	205,88
O_90_Fichte	1,13	0,98	1,01	0,62	843,41	785,11	790,06	621,50	575,23	604,26	138,50	135,94	136,16
O_90_18mm_OSB	1,13	0,97	1,00	0,61	1043,62	998,78	1002,59	714,32	676,29	700,15	188,23	177,73	178,62
O_45	1,26	1,09	1,13	0,69	732,70	704,49	706,89	504,16	486,01	497,39	198,20	193,23	193,66
O_0	1,17	0,94	0,98	0,59	555,69	522,17	525,01	389,89	365,03	380,62	190,09	180,19	181,03
90_90	1,29	1,08	1,12	0,68	435,81	419,86	421,21	285,92	278,32	283,09	160,62	153,51	154,11
90_45	1,37	1,21	1,24	0,76	378,50	353,48	355,60	250,74	233,71	244,39	163,51	155,24	155,94
90_0	1,25	1,07	1,10	0,68	440,62	409,59	412,22	281,11	261,91	273,96	173,35	163,63	164,45

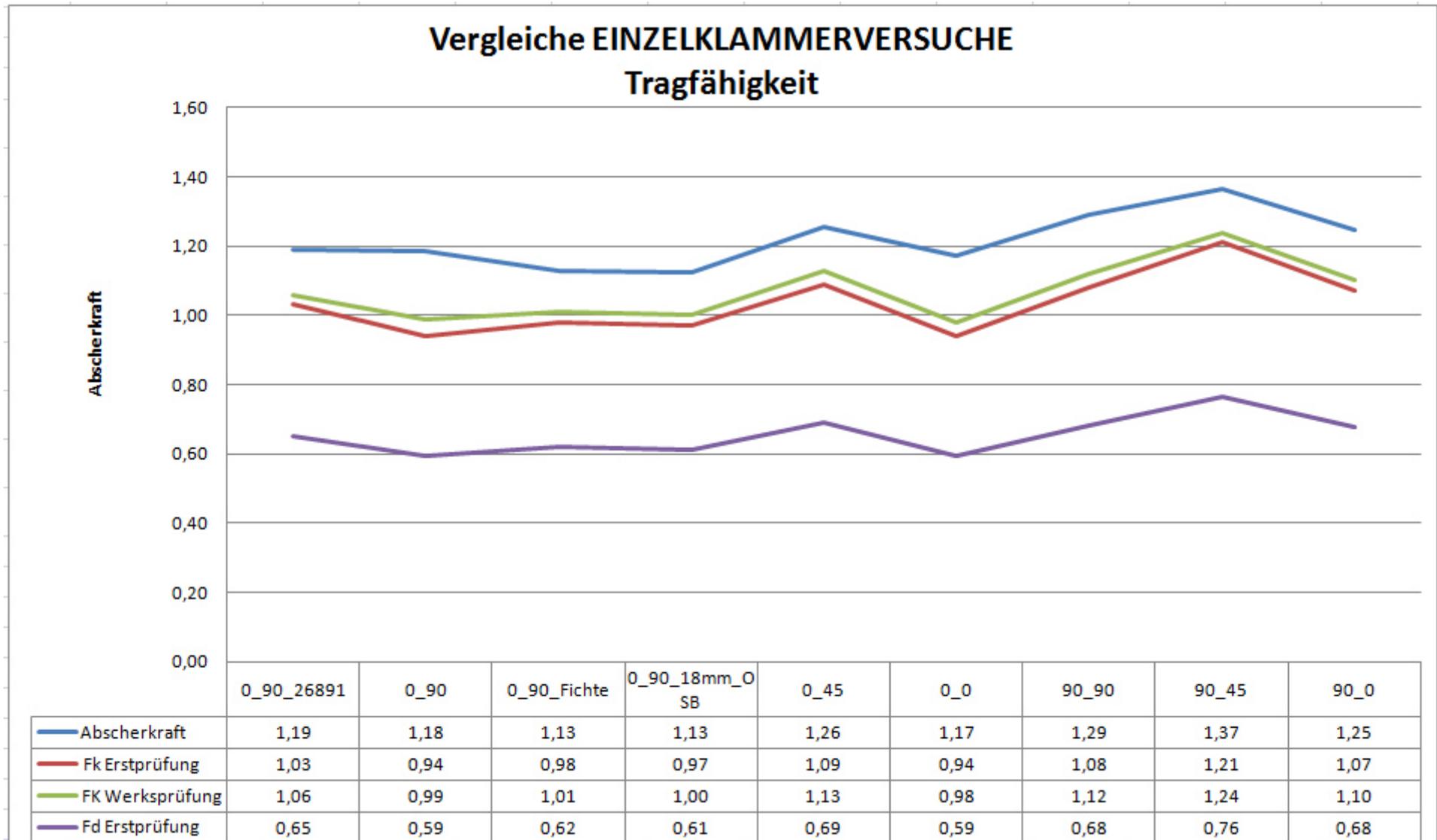


Abbildung 4-16: Vergleiche Tragfähigkeitsparameter Einzelklammerversuche

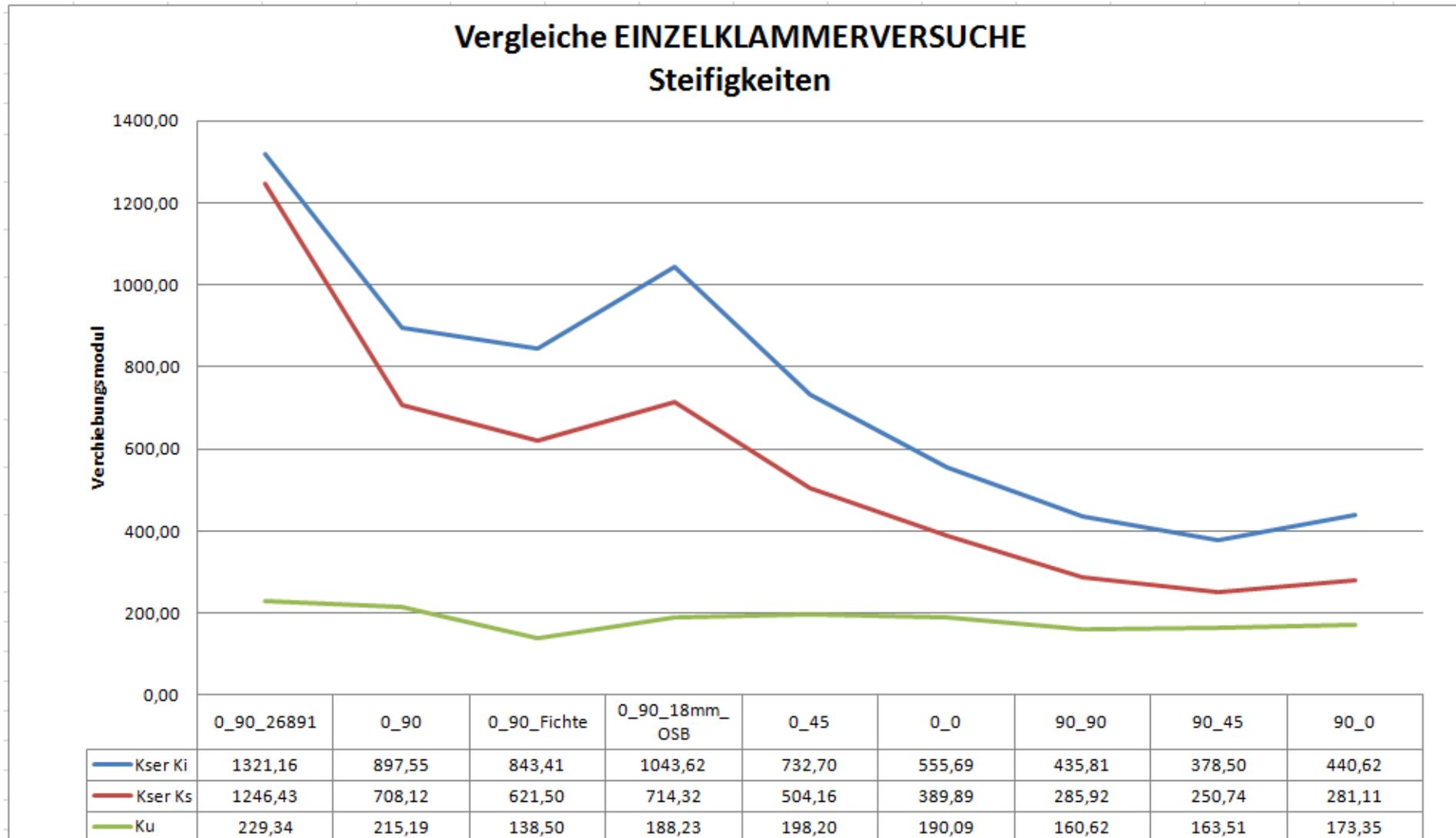


Abbildung 4-17: Vergleiche Verschiebungsmodul Einzelklammerversuche

4.2.3 Plastische Fließgelenkbildung

Wird die maximale Tragfähigkeit einer Klammerverbindung erreicht, so tritt der Versagensfall ein. Für die unterschiedlichen Versagensfälle stellte *Johansen* die Gleichungen (2.1) auf. Jeder Gleichung ist dabei ein Versagensfall zugeordnet (Abbildung 4-18). Die angeführten Fälle gelten für einschnittige Holz- und Holzwerkstoffverbindungen.

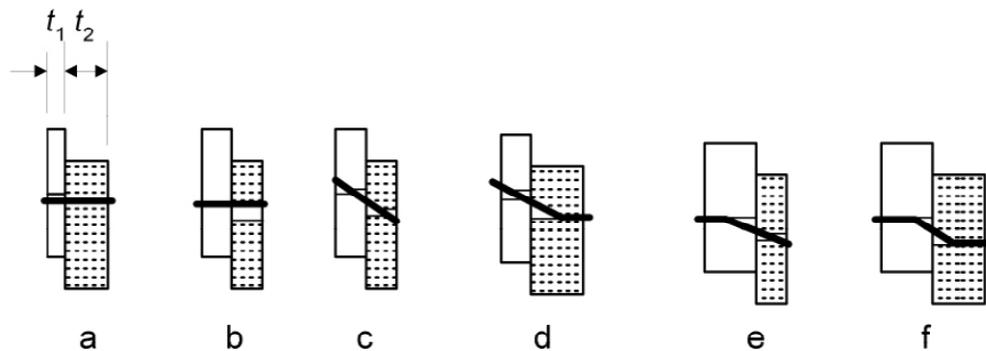


Abbildung 4-18: Versagensfälle nach *Johansen*⁸³

Tritt ein Versagen durch das Auftreten von einem plastischen Fließgelenk ein, so sind die Skizzen d) und e) der Versagensmechanismen aus Abbildung 4-18 zutreffend. Wird das Versagen der Einzelklammer jedoch durch das Auftreten von zwei Fließgelenken injiziert, wird dies durch die Skizze f) dargestellt.

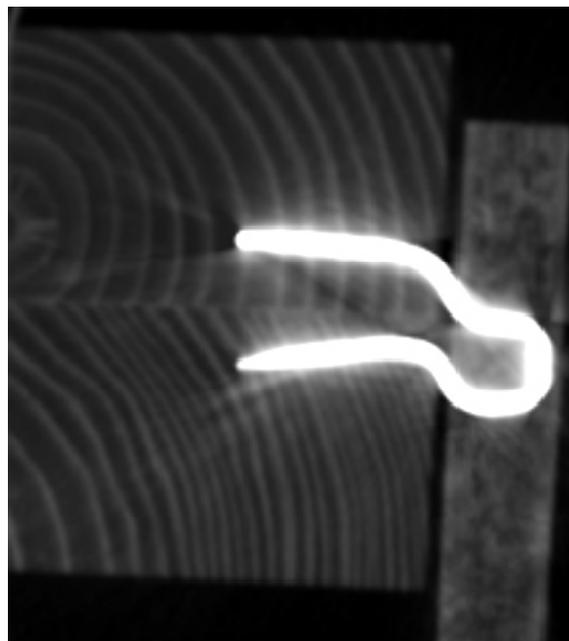


Abbildung 4-19: CT einer einschnittigen Klammerverbindung

⁸³ (ÖNORM EN 1995-1-1, S. 68)

Die zerstörungsfreie Feststellung, auf welche Weise eine Klammerverbindung versagt, ist in der Regel schwierig. Eine Möglichkeit um einen Blick in das Innere der Verbindung werfen zu können, bietet eine Computertomografie welche in Abbildung 4-19 gezeigt wird.

Dabei wird eine Einzelklammerprüfung (E_90_90) gezeigt. Die Klammer weist dabei ein charakteristisches Versagen zwei Fließgelenken nach *Johansen* mit auf.

4.2.4 Interpretation der Einzelklammerversuche

Die Klammertragfähigkeit lt. EC 1995-1-1 ist in Tabelle Tabelle 4-17 dargestellt.

Tabelle 4-17: Berechnung der Klammertragfähigkeit lt. EC 5

Berechnung nach EN 1995-1-1			
VM-Typ =	Klammern		Art des Verbindungsmittels
	Glattschaft		Art des Schaftes
	Nein		Vorbohrung Holz
d =	1,54	[mm]	Durchmesser des Verbindungsmittels
l =	50	[mm]	Länge des Nagels
t ₁ =	15	[mm]	Plattendicke
t ₂ =	35	[mm]	Einbindetiefe Holz
kmod =	1		Modifikationsbeiwert
FK :	C24		Festigkeitsklasse Holz
FK :	OSB		Art der Platte
β =	0,40		Lochleibungsverhältnis der Bauteile
M _{y,Rk} =	784	[Nmm]	charakteristisches Fließmoment
f _{u,k} =	850,00	[N/mm ²]	charakteristische Zugfestigkeit
f _{h,1k} =	62,99	[N/mm ²]	charakt. Lochleibungsfestigkeit Platte
f _{h,2k} =	25,21	[N/mm ²]	charakt. Lochleibungsfestigkeit Holz
F _{V,Rk a} =	1455,02	[N]	$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1k} t_1 d \quad (a) \\ f_{h,2k} t_2 d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{m,Rk}}{4} \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{m,Rk}}{4} \quad (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{m,Rk}}{4} \quad (e) \\ 115 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1k} d} + \frac{F_{m,Rk}}{4} \quad (f) \end{array} \right.$
F _{V,Rk b} =	1358,98	[N]	
F _{V,Rk c} =	574,76	[N]	
F _{V,Rk d} =	459,40	[N]	
F _{V,Rk e} =	561,54	[N]	
F _{V,Rk f} =	339,03	[N]	
F _{v,Rd} =	0,26	[kN]	Tragfähigkeit je Klammernhälfte
F _{v,Rd} =	0,52	[kN]	Tragfähigkeit je Klammer

Wird auf die charakteristische Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ je Klammer rückgerechnet, so ergibt sich unter einer Nichtberücksichtigung von k_{mod} $F_{v,Rk}=0,676$ kN (Zugseileffekt darf lt. Norm nicht angesetzt werden).

Bei der Prüfung der Einzelklammern auf Abscheren konnten für die verschiedenen Belastungsrichtungen, Belastungsverfahren und Geometrieparameter (Winkel φ oder auch α genannt) unterschiedliche Tragfähigkeiten und Verformungsparameter bestimmt werden.

Bei einem direkten Vergleich zur Berechnung der Tragfähigkeit laut Norm fällt dabei sofort auf, dass in der Norm keine Abhängigkeiten in Bezug zum Einbringwinkel (bei den Versuchen α_{crn}) oder der Belastungsrichtung bestehen. Der Einbringwinkel der Klammer welcher zwischen Holzfaserrichtung und Klammerrücken gemessen wird, muss nach Normvorgaben mindestens 30° betragen. Doch auch bei der Bandbreite zwischen 30 und 90° (45° wurden geprüft) konnten große Unterschiede in der Tragfähigkeit festgestellt werden.

Jene Versuche, bei welchen der Winkel zwischen Holzfaserrichtung und Klammerrücken 45° betragen hat, wiesen sowohl bei einer Krafteinleitung parallel als auch rechtwinklig die größten Tragfähigkeiten auf. Dies wird in Abbildung 4-16 sehr gut dargestellt. Die erhöhte Tragfähigkeit kann beim Einbringwinkel von 45° wahrscheinlich auf die versetzte Anordnung der Klammerspitzen im Holz zurückgeführt werden, was zu einer geringeren Schwächung des Holzquerschnittes führt. Durch den Einbringwinkel kann aber auch eine räumliche Stabilisierung der Einzelklammer hervorgerufen werden. Dies ist zum Beispiel beim Versuch 0_0 nicht der Fall, da hier die Einzelklammer wie ein Rahmen mit eingespannten Fußpunkten wirkt, welcher durch die Abscherkraft verschoben wird.

Der Vergleich der charakteristischen Tragfähigkeiten mit dem charakteristischen Wert der Normberechnung zeigt eine signifikante Abweichung. So beträgt die geringste Tragfähigkeit (Ausgewertet auf Basis einer Werksprüfung) $F_k=0,99$ kN - der Wert der Norm liegt bei $F_{v,Rk}=0,676$ kN.

Dies kann auf die Vernachlässigung des Zugseileffektes in der Normberechnung zurückgeführt werden. Dieser Effekt wurde bereits bei den Vorversuchen erläutert, bei welchen dieser die Tragfähigkeiten um 30% erhöht hat. Der Vergleich der Tragfähigkeiten

der Hauptversuche mit den berechneten Werten der Norm lässt ebenso diesen Rückschluss zu, da diese ebenso eine Differenz von 31% aufweisen.

Zusätzlich konnte der Einfluss der Dichte auf die Tragfähigkeit der Verbindung bestimmt werden. Die Dichte des Holzes und der Holzwerkstoffplatte sind dabei wichtige Materialparameter.

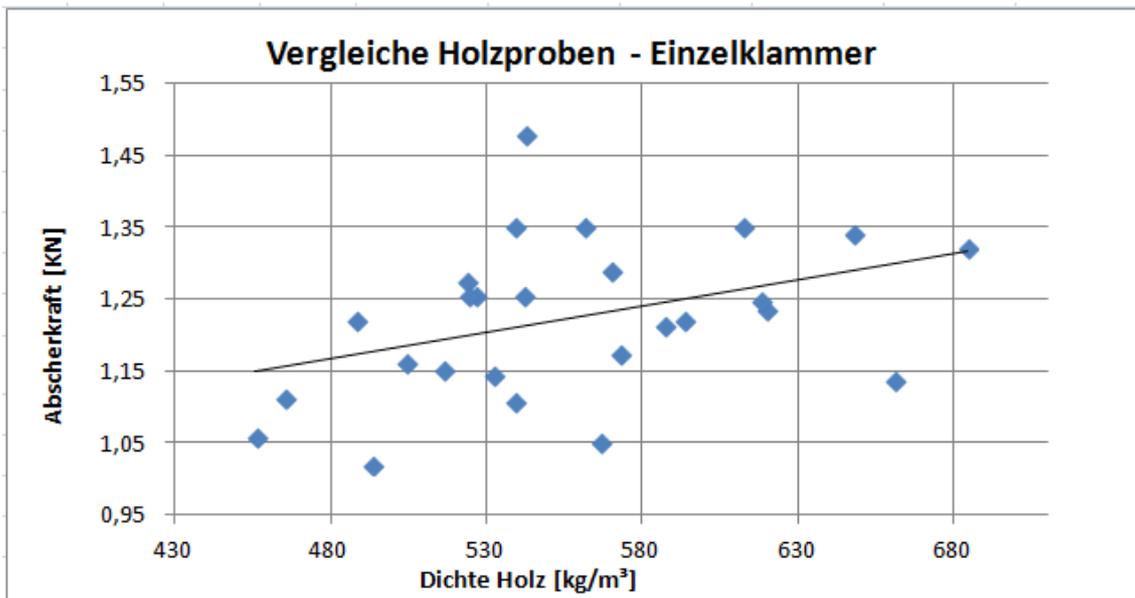


Abbildung 4-20: Korrelation Abscherkraft - Rohdichte Elementrippe

In Abbildung 4-20 kann man die Korrelation zwischen Abscherkraft und der Rohdichte der Vollholzrippe erkennen. Diese Korrelation ist auch für die OSB3 Beplankungsplatte herstellbar und wird in Abbildung 4-21 gezeigt.

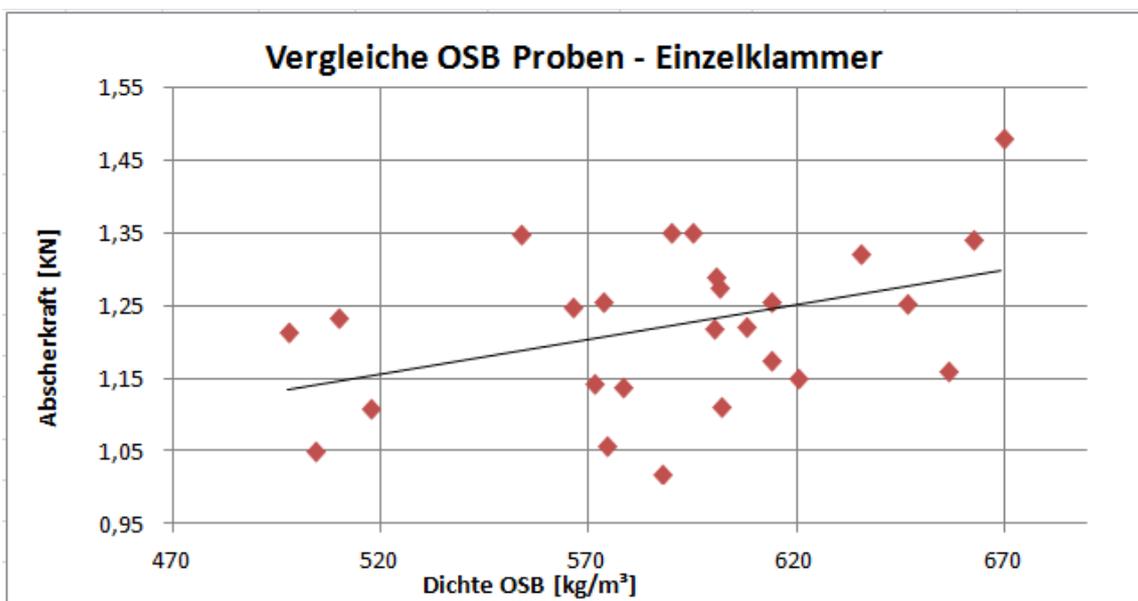


Abbildung 4-21: Korrelation Abscherkraft - Rohdichte OSB

Bei den Einzelklammerversuchen wurden jeweils zwei unterschiedliche Verschiebungsmodul unter Gebrauchslast, kurz K_{ser} , ermittelt. K_u gibt den Verschiebungsmodul unter Traglast wieder. Sowohl K_{ser} als auch K_u beschreiben die Steifigkeit der Klammerverbindung und geben den Anstieg der Tangente der Last-Verschiebungskurve in jeweils zwei bestimmten Bereichen wieder.

Jener Einzelklammerversuch, bei welchem das Belastungsverfahren nach Norm durchgeführt wurde (E_0_90_26891) lieferte im Vergleich zum Versuch E_0_90 höhere Werte für den K_{ser} . Die Differenz kann bei den restlichen Versuchen berücksichtigt werden. Somit kann der niedrigste Werte von K_s (ohne Anfangssteifigkeit- niedrigere Werte) beim Versuche E_90_45 mit 370N/mm bestimmt werden.

Im Vergleich dazu werden die Steifigkeiten unter Gebrauchslast durch die Norm je nach Lasteinleitungsrichtung über- oder unterschätzt, da die Norm von einem K_{ser} von 460N/mm ausgeht.

Eindeutig höhere Steifigkeiten unter Gebrauchslast lassen sich durch die Verwendung von 18mm Dicken OSB Platten erzielen.

In Abbildung 4-17 wird ersichtlich, dass vor allem bei der Krafteinleitung rechtwinkelig zur Faserrichtung im Vergleich zur parallelen Einleitung nur sehr geringe Steifigkeiten unter Gebrauchslast vorhanden sind.

Jedoch kann man auch erkennen, dass der Verformungsmodul K_u relativ unabhängig vom Versuchsaufbau ist. In der Norm ist dieser Parameter aber direkt vom Verschiebungsmodul K_{ser} abhängig. Dieser Aspekt kann durch die Versuche nicht bestätigt werden.

Zwischen der Rohdichte und dem Verschiebungsmodul k_s kann bei der Vollholzrippe und bei der Elementbeplankung aus OSB Patten eine negative Korrelation festgestellt werden. Dies bedeutet, dass bei höheren Rohdichten der Verschiebungsmodul sinkt.

Dies wird durch die Abbildung 4-22 und Abbildung 4-23 veranschaulicht.

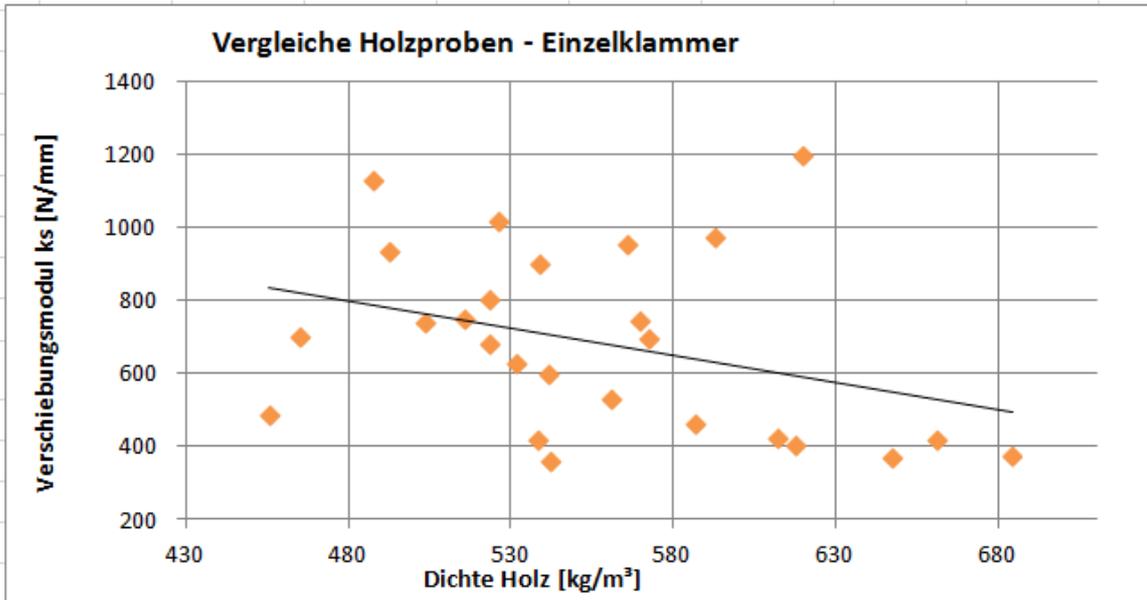


Abbildung 4-22: Korrelation Verschiebungsmodul ks - Rochdichte Elementrippe

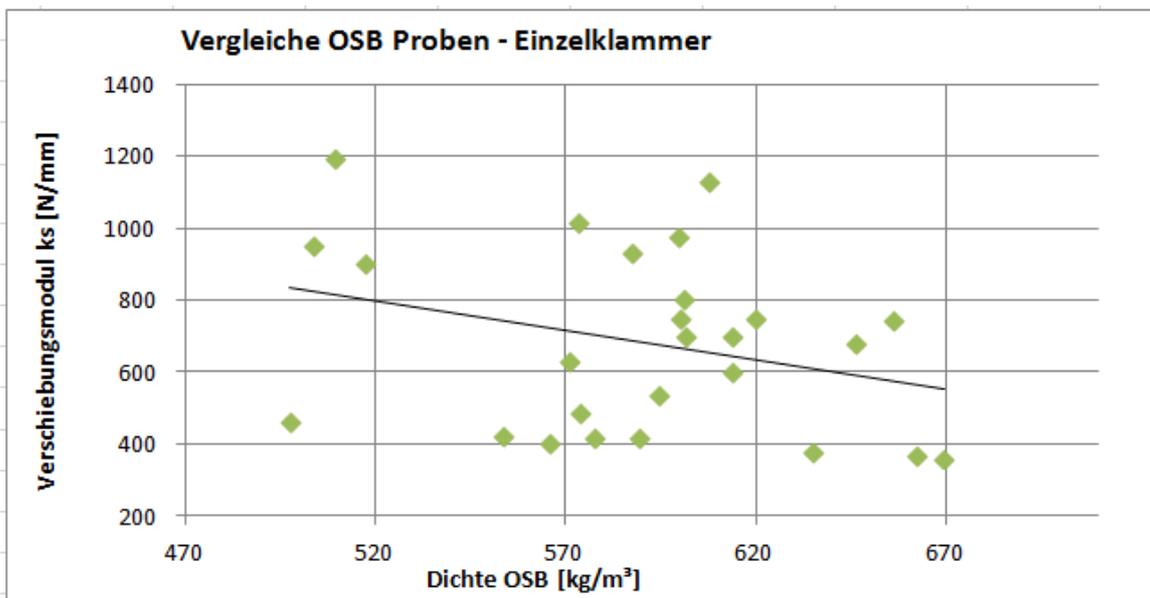


Abbildung 4-23: Korrelation Verschiebungsmodul ks - Rochdichte OSB

4.2.5 Abscherversuche Trapezblech

Da bei den Dachelementen ebenso Trapezbleche als Untersicht verwendet werden können (siehe Abbildung 4-24), sollten zusätzliche Versuche durchgeführt werden, welche eine Aussage über die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten der gewählten Verbindungsmittel wiedergeben.

Die verwendeten Profile werden im Allgemeinen nicht für die Abtragung von Scheibenkräften herangezogen. Für eine Computermodellierung eines Elementes mit Trapezblechuntersicht können die Steifigkeiten aus den Blechverbindungen jedoch nicht vernachlässigt werden.

Beim geplanten Prüfaufbau handelt es sich dabei um einschnittige Verbindungen von Kiefernvollholz mit einem dünnen Stahlblech (Trapezprofil). Die Blechstärke beträgt 0,63mm. Die Untersicht welche mit Trapezprofilen ausgeführt ist, wird im Normalzustand nur durch das Eigengewicht selbst und die Dämmwolle belastet und ist somit statisch nicht tragend.



Abbildung 4-24: Dachelement der Firma *Rubner* mit Trapezblechuntersicht

Die Verbindung des Bleches mit den Elementrippen erfolgt über Bohrschrauben welche unter Kapitel 3.3.2 aufgelistet sind. Zusätzlich werden die Bleche in den Randsicken mit Holzbauklammern befestigt.

Die durchgeführten Versuche für Trapezblech sind in Tabelle 4-1 unter Nr. 1.10 bis 1.12 aufgelistet. Die genannten drei Versuche spiegeln die häufigsten Befestigungsvarianten von Trapezblechuntersichten der Firma *Rubner* wieder.

Die Trapezblechuntersicht bei Dachelementen wird bereits im Werk montiert. Dabei werden die profilierten Blechtafeln überlappend gestoßen. Am Stoß einer Tafel müssen somit zwei übereinander liegende Bleche mit der Rippe verbunden werden.

Für die Versuche mit dem Trapezblech wurde die Kraft nur parallel zur Holzfaserrichtung eingeleitet. Der Prüfkörperaufbau erfolgte in Anlehnung an die Versuchskörper bei den Vorversuchen. Jedoch wurde auf jeder Seite des Prüfkörpers das Blech mit zwei Schrauben beziehungsweise mit zwei Klammern befestigt, wie dies in Abbildung 4-24 gezeigt wird.

Das Ergebnis dieser Versuche soll dazu beitragen, eine erste Aussage über das Mitwirken der Trapezblechuntersicht für die Scheibentragwirkung bei Dachscheiben treffen zu können.



Abbildung 4-25: Prüfkörper mit Trapezblech und Bohrschraube

Trapezblechversuch 1xBlech + Verbindungsmittel Schraube

Der Prüfkörper wurde, wie in Abbildung 4-25 gezeigt, aus Kiefernvollholz hergestellt. Die Abmessungen des Holzes sind ident wie bei den Klammerversuchen, bei welchen die Kraft parallel eingeleitet wurde (siehe Abbildung 4-1). Als Beplankung dient ein Ausschnitt eines Trapezblechprofiles mit einer Dicke von 0,63mm. Die Befestigung des dünnen Blechs erfolgte beidseitig mit zwei Blechbohrschrauben, die auf Abscheren belastet werden.

Das Belastungsverfahren und die Auswertung der Versuche erfolgten wie bereits bei den Einzelklammerversuchen in Anlehnung an die ÖNORM EN 26891. Die Belastung des Versuchskörpers erfolgt über die Universalprüfmaschine, wobei die Verschiebung der Verbindung mit einem Wegaufnehmer gemessen wurde.

Da es zu keiner merkbaren Metalleinpressung beim Trapezblech gekommen ist, wurde diese bei den Trapezversuchen nicht extra gemessen.

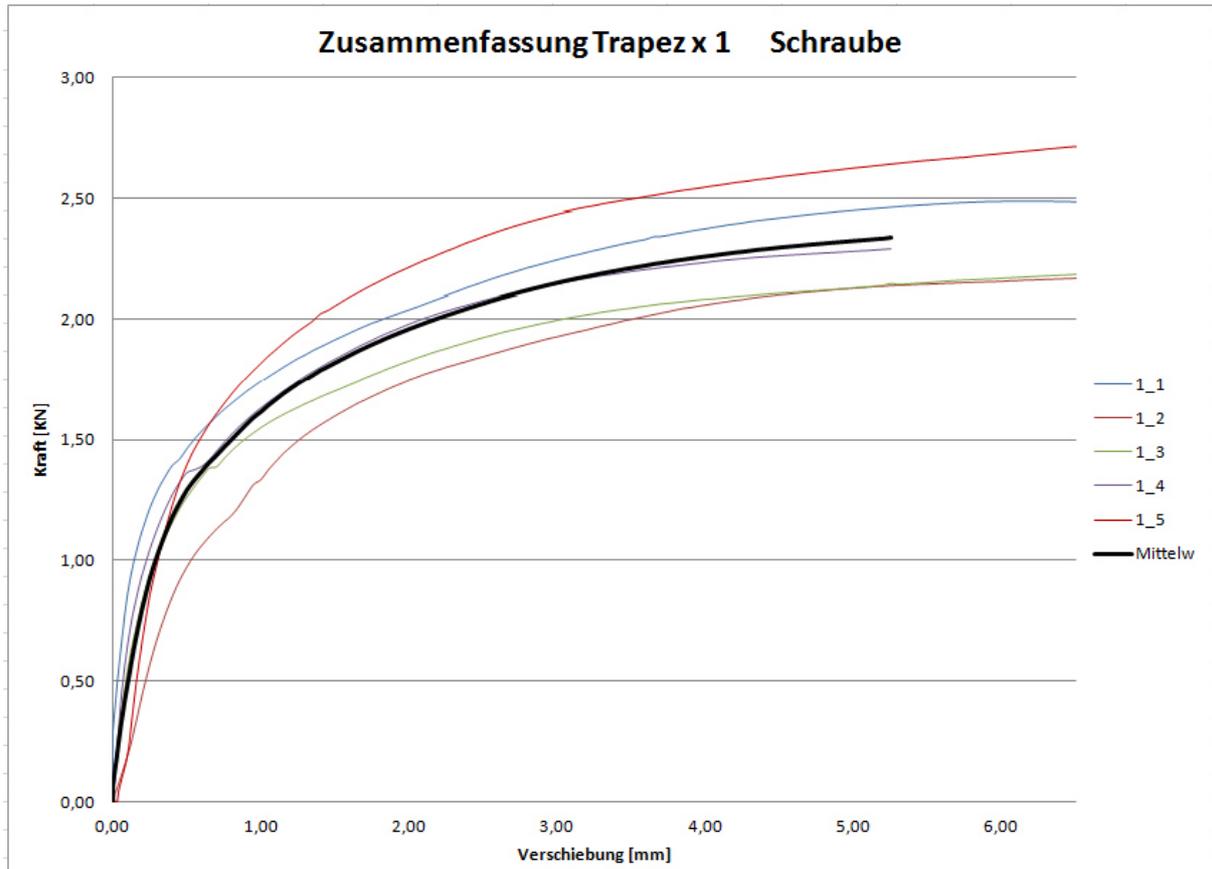


Abbildung 4-26: Zusammenfassung Last-Verschiebungskurven Trap_1x_+Schr

Die Abbildung 4-26 zeigt die Zusammenfassung der Last- Verschiebungskurven für eine Bohrschraube als Trapezblechverbindungsmitel bei paralleler Lasteinleitung zur Holzfaserrichtung.

Dabei kann man einen gleichmäßigen Verlauf der Kurve erkennen. Die Mittelwertkurve kann in einen steil ansteigenden und anschließend flacheren Anstiegsbereich eingeteilt werden. Dies deutet bereits darauf hin, dass es bei diesem Versuch zu keiner Fließgelenkbildung gekommen ist.

Auffällig bei den Versuchskurven ist die größere Streuung der Werte im Vergleich zu den Einzelklammerversuchen. Bei der Auswertung wurde wiederum die maximale Tragfähigkeit der Verbindung ermittelt. Weiters wurde der Verschiebungsmodul unter Gebrauchslast und unter Traglast bestimmt.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse befindet sich im Anschluss an die drei durchgeführten Trapezblechversuche in Tabelle 4-18.

Trapezblechversuch 2xBlech + Verbindungsmittel Schraube

Dieser Versuch soll die Überlappung zwischen zwei Trapezprofilen simulieren. Als Beplankungsmaterial werden dabei zwei dünne Stahlbleche mit der Elementrippe verbunden und auf Abscheren belastet. Der Versuchsaufbau ist dabei ident zum Versuch mit einem Beplankungsblech.

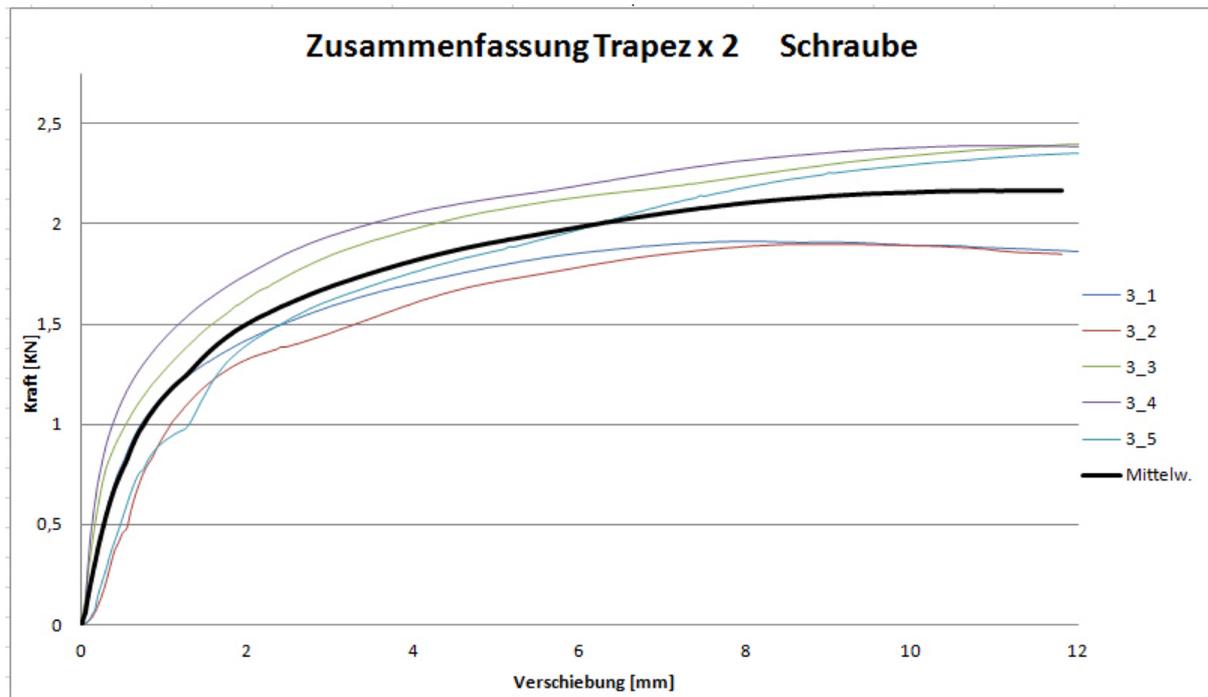


Abbildung 4-27: Zusammenfassung Last-Verschiebungskurven Trap_2x_+Schr

Ebenso erfolgt keine Änderung bei der Belastung oder der anschließenden Versuchsauswertung.

In Abbildung 4-27 wird die Zusammenfassung der geprüften Versuche gezeigt. Abbildung 4-28 zeigt den Vergleich der Mittelwerte für ein seitlich befestigtes Blech beziehungsweise zwei Bleche bei einer Überlappung.

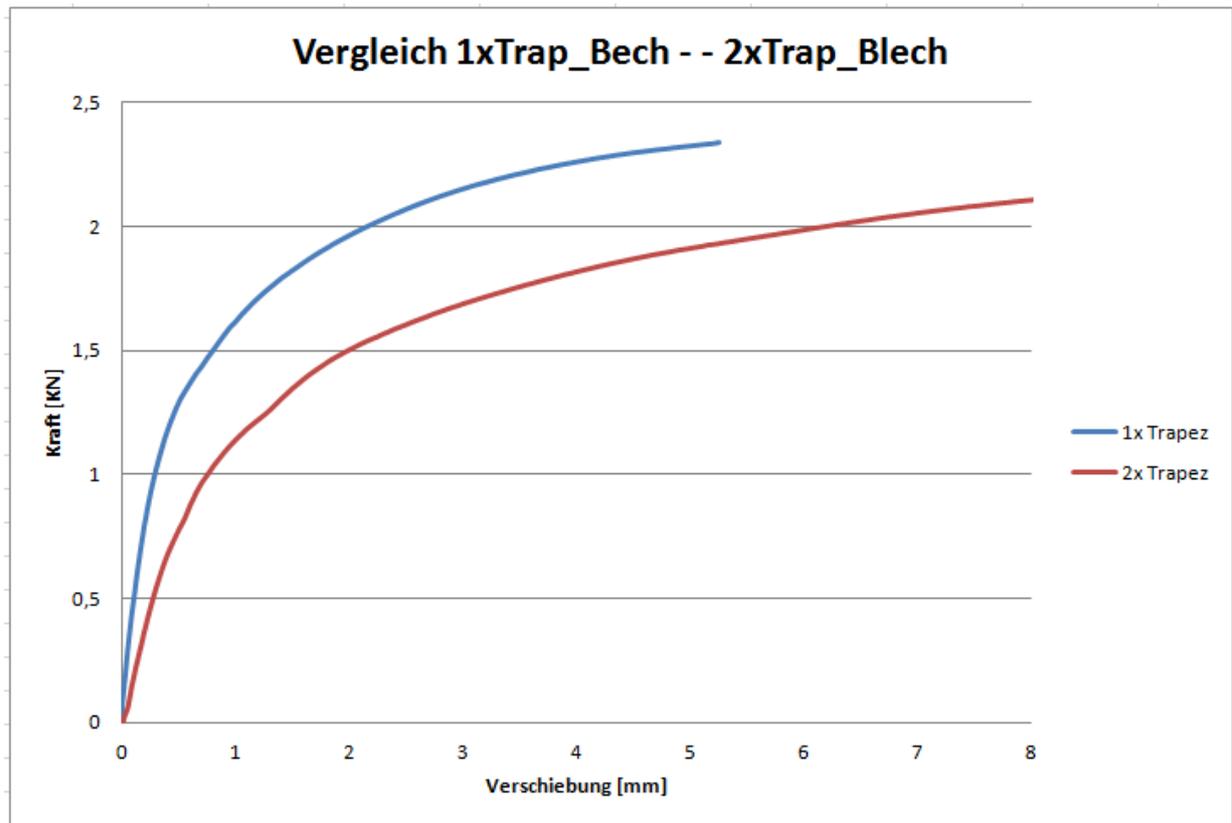


Abbildung 4-28: Vergleiche Trapezversuche mit Bohrschrauben

Dabei wird ersichtlich, dass bei der Befestigung von zwei Trapezprofilen mit Bohrschrauben die Steifigkeit geringer ist als mit einem Beplankungsblech.

Trapezblechversuch 1xBlech + Verbindungsmittel Klammer

Dieser Versuch unterscheidet sich zu den vorangegangenen nur durch die Wahl der Verbindungsmittel. Die Beplankung aus einem Trapezblech wurde beidseitig mit jeweils zwei Holzbockklammern befestigt. Die Befestigung mit Metallbohrschrauben und zusätzlichen Klammern stellt das standardisierte Befestigungsverfahren der Firma *Rubner* dar. Der Einbringwinkel α_{crn} zwischen Klammerrücken und Holzfaserrichtung beträgt 90° .



Abbildung 4-29: Trapezprofil mit Klammerbefestigung

In Abbildung 4-29 ist die Trapezprofilbefestigung mit Holzbauklammern dargestellt. Bei der Zusammenfassung der Versuchskurven in Abbildung 4-30 kann man jeweils bei den Versuchen ein plötzliches Versagen erkennen. Dabei kam es nach dem Auftreten der Höchstlast zum Durchstanzen des dünnen Bleches oder zu einem spröden Zugbruch des Klammerrückens.

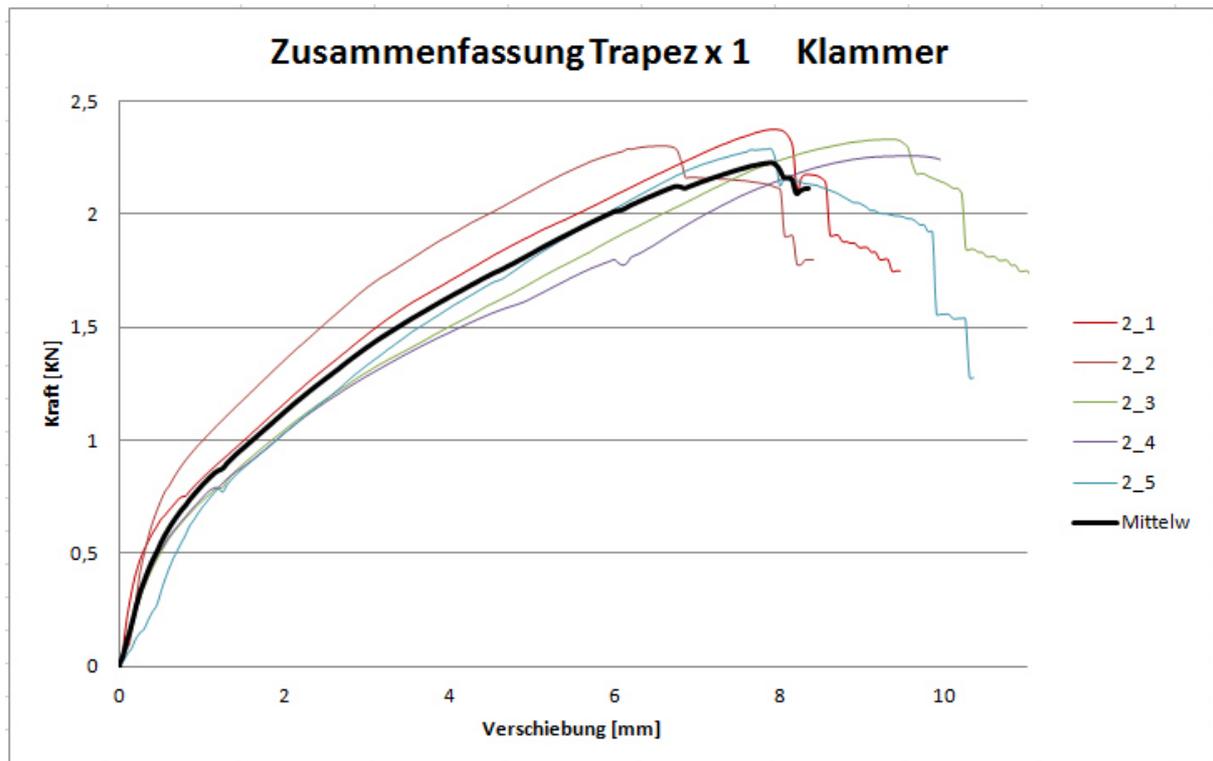


Abbildung 4-30: Zusammenfassung Last-Verschiebungskurven Trap_1x_+Klammer

Eine Zusammenfassung der charakteristischen Werte befindet sich in Tabelle 4-18.

Hauptversuche und Interpretation

Tabelle 4-18: Ermittlung charakteristische Werte Trapezblechversuche

	Fmax [kN]	Kser [N/mm] ki	Kser [N/mm] ks	Ku [N/mm]	Fmax		Kser ki	Kser ks	Kser ku	
1x Trapezblech + Schraube					ln(mi(F))	(ln mi- \bar{Y}) ²	(mi- \bar{Y}) ²	(mi- \bar{Y}) ²	(mi- \bar{Y}) ²	
1	2,488	6092,27	4196,95	404,47	0,911	0,002	4154528,3	2497101,6	2801,5	
2	2,176	2095,59	1237,12	305,79	0,777	0,008	3835385,4	1903318,2	2093,3	
3	2,215	3959,08	2661,97	264,54	0,795	0,005	9010,6	2046,8	7569,3	
4	2,292	4921,08	3194,84	436,16	0,829	0,001	751820,8	334213,5	7159,4	
5	2,756	3202,00	1792,76	346,75	1,014	0,022	725910,8	678923,3	22,9	
Mittelwert	2,385	4054,00	2616,73	351,54	4,327	0,038	9476656	5415603	19646	
\bar{Y}	0,86549									
s_y	0,0976				sy 1539,2089		sy 1163,5725		sy 70,0829	
	Erstpr.	Werkspr.			Erstpr.	Werkspr.	Erstpr.	Werkspr.	Erstpr.	Werkspr.
Fk	1,87	1,96			Kser kik 3546,07	3589,16	Kser ksk 2232,75	2473,61	Kser kuk 328,42	330,38
1x Trapezblech + Klammer					ln(mi)	(ln mi- \bar{Y}) ²	(mi- \bar{Y}) ²	(mi- \bar{Y}) ²	(mi- \bar{Y}) ²	
1	2,374	703,63	491,74	300,51	0,865	0,001	58,6	768,6	171,9	
2	2,305	1131,17	697,64	354,89	0,835	0,000	176305,9	54580,2	4555,5	
3	2,335	578,74	390,01	251,43	0,848	0,000	17567,4	5476,9	1293,6	
4	2,259	577,13	394,84	238,17	0,815	0,001	17996,8	4785,3	2423,3	
5	2,290	565,74	345,85	291,98	0,829	0,000	21182,5	13963,2	21,0	
Mittelwert	2,313	711,28	464,02	287,39	4,191	0,001	233111	79574	8465	
\bar{Y}	0,83823									
s_y	0,0500				sy 241,4079		sy 141,0445		sy 46,0039	
	Erstpr.	Werkspr.			Erstpr.	Werkspr.	Erstpr.	Werkspr.	Erstpr.	Werkspr.
Fk	2,04	2,10			Kser kik 631,62	638,38	Kser ksk 417,47	446,67	Kser kuk 272,21	273,50
2x Trapezblech + Schraube					ln(mi)	(ln mi- \bar{Y}) ²	(mi- \bar{Y}) ²	(mi- \bar{Y}) ²	(mi- \bar{Y}) ²	
1	1,914	1688,26	1002,54	240,30	0,649	0,017	438,7	194,9	828,1	
2	1,896	1010,77	552,33	218,56	0,640	0,020	431050,0	215453,8	49,5	
3	2,408	1980,56	1280,47	190,90	0,879	0,010	98123,1	69680,2	425,4	
4	2,392	2794,54	1726,86	213,92	0,872	0,009	1270638,5	504611,3	5,7	
5	2,360	862,44	520,30	193,95	0,859	0,006	647822,2	246214,4	308,8	
Mittelwert	2,194	1667,31	1016,50	211,53	3,899	0,061	2448072	1036155	1618	
\bar{Y}	0,77971									
s_y	0,1237				sy 782,3159		sy 508,9584		sy 20,1092	
	Erstpr.	Werkspr.			Erstpr.	Werkspr.	Erstpr.	Werkspr.	Erstpr.	Werkspr.
Fk	1,61	1,71			Kser kik 1409,15	1431,05	Kser ksk 848,54	953,90	Kser kuk 204,89	205,45

4.2.6 Interpretation der Trapezblechversuche

Die größte Steifigkeit bei diesen Versuchen wurde durch die Beplankung mit einem Trapezblech und den Bohrschrauben als Verbindungsmittel erzielt. Bei den durchgeführten Trapezblechversuchen war außerdem eine hohe Tragfähigkeit der Klammerbeziehungsweise der Schraubenverbindung zu bemerken. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die maximale Tragfähigkeit nicht oder nur teilweise vom Verbindungsmittel abhängig waren. Die Ursachen des Versagens der Verbindung waren einerseits das plastische Versagen des dünnen Stahlbleches bei der Schraubenverbindung (Lochleibungsversagen) oder der Sprödbbruch der Klammern.

Eine Übersicht über die Mittelwerte der Last- Verschiebungskurven bietet die Abbildung 4-31. Dabei erkennt man auch die Anfänglich hohe Steifigkeit der Klammerverbindung welche im Laufe des Versuches aber abnimmt.

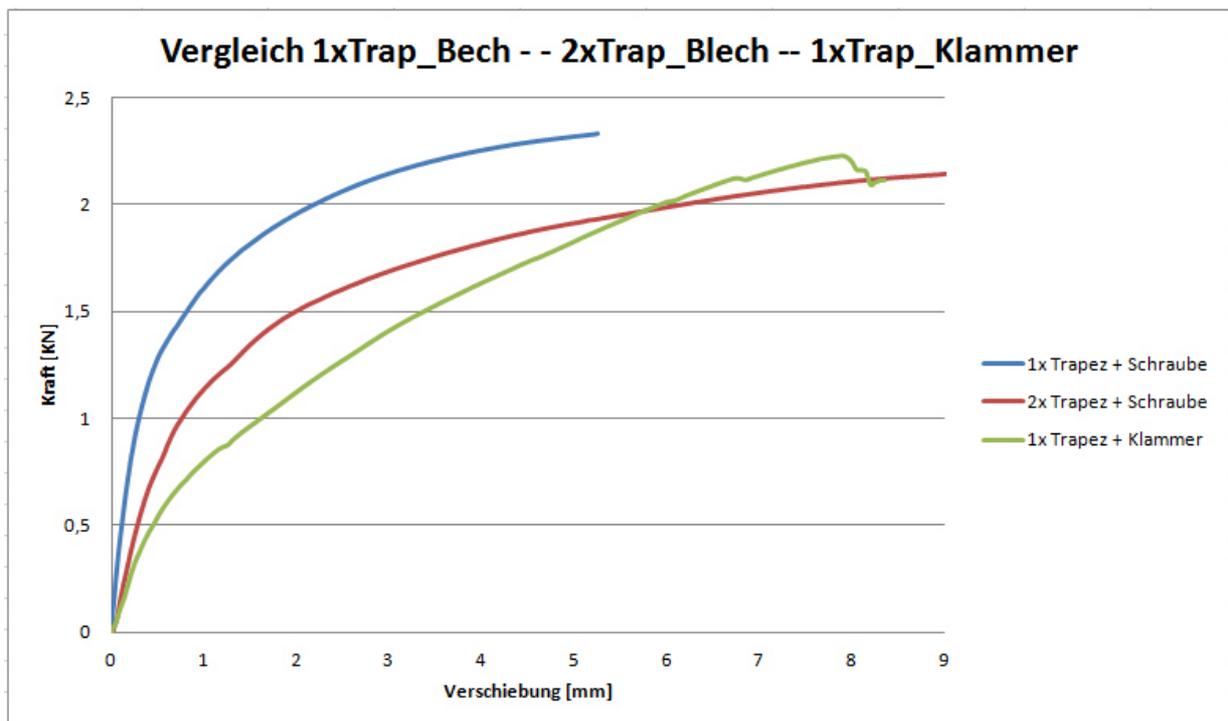


Abbildung 4-31: Zusammenfassung Mittelwerte Trapezblechversuche

Die durchgeführten Trapezblechversuche geben somit einen ersten Aufschluss über das Tragverhalten von Dachelementen mit profilierter Blechunterseite. Mittels weiterführenden Versuchen oder Computermodellen kann nun geklärt werden, ob die gewählten Trapezbleche geeignet sind, um Scheibenkräfte durch ihre nicht normgerechte Ausführung als Schubfeld, zu übertragen. Dies ist jedoch nicht Teil dieser Arbeit.

Der Klammerabstand beträgt einheitlich auf beiden Seiten der Beplankung 7,5cm. Die Prüfung und deren Auswertung erfolgten mit der Universalprüfmaschine. Um den Prüfkörper am Auflager gegen Kippen zu stabilisieren wurde dieser wie in Abbildung 4-33 ersichtlich mit einer Gabellagerung aus Holz gehalten.

Die Kraft- Verschiebungskurven der elf Versuchskörper der Mehrfachklammerung werden in Kapitel 4.3.2 gemeinsam mit jenen des fliegenden Stoßes dargestellt.



Abbildung 4-33: Versuchsdurchführung Mehrfachklammerung

4.3.2 Fliegender Stoß

Diese Versuchskörper sind ident aufgebaut wie jene der Mehrfachklammerung. Die Beplankung (OSB3) wurde jedoch mit einem so genannten fliegenden Stoß ausgeführt (siehe Abbildung 4-34). Dies bedeutet das sich kein ideelles Schubfeld ausbilden kann und somit an den Plattenrändern die Klammern zusätzlich mit einer $s_{v,90}$ Kraft beansprucht werden.

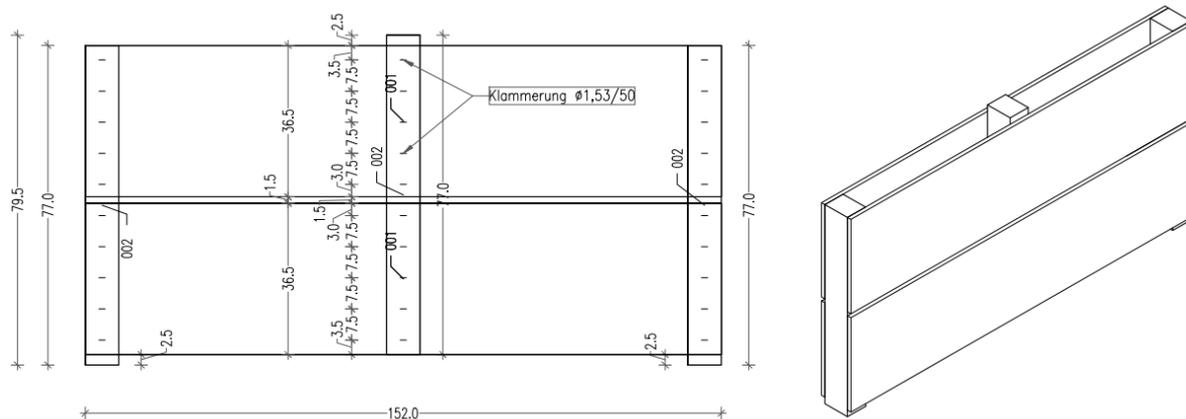


Abbildung 4-34: Versuchskörper fliegender Stoß

Mit diesem einfachen Versuchsaufbau soll gezeigt werden, dass durch die zusätzliche Belastung auch das Verformungsverhalten eines Scheibentragwerkes beeinflusst wird.

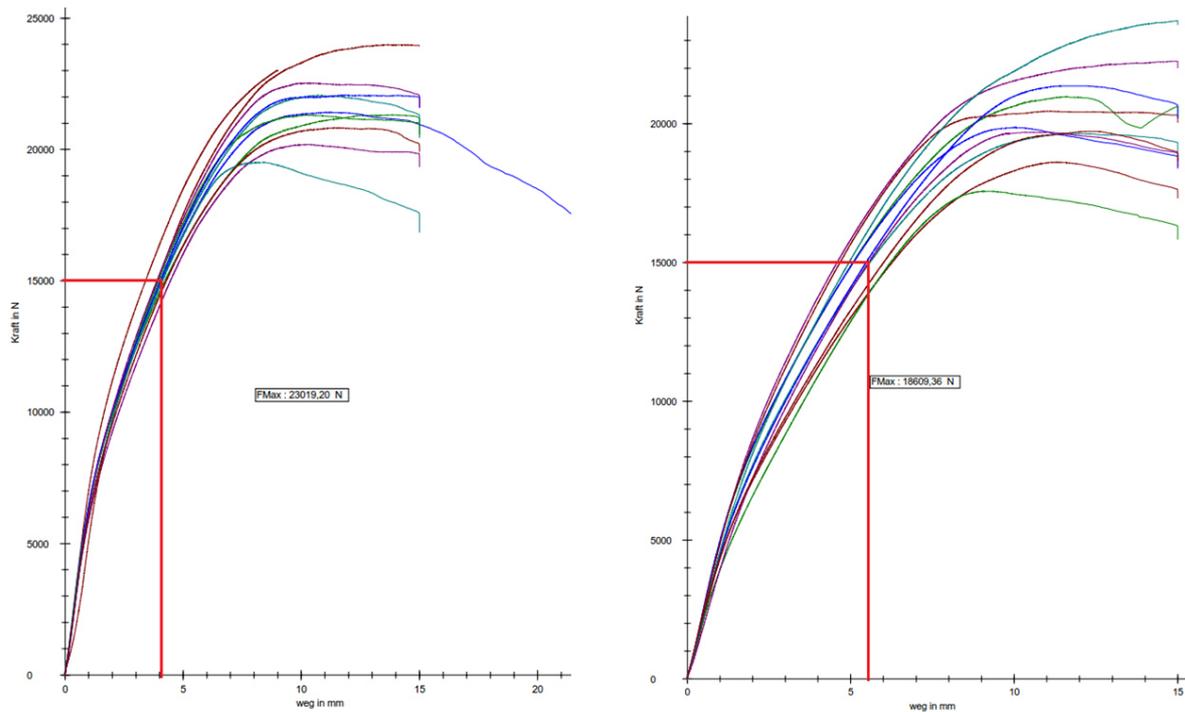


Abbildung 4-35: Last- Verschiebungskurven Mehrfachklammerung und fliegender Stoß

Die Belastung und die anschließende Auswertung der Versuche erfolgte mit der Universalprüfmaschine. Dabei kann bei einem direkten Vergleich der Versuche „Mehrfachklammerung“ und „fliegender Stoß“ eine Abnahme der Gesamtsteifigkeit beobachtet werden. Dies wird in Abbildung 4-35 gezeigt. Als Kraftstufe für den Vergleich wurden 15kN gewählt. Die zugehörigen Verschiebungen betragen beim ideellen Schubfeld 4mm, beim fliegenden Stoß 5,5mm.

4.3.3 Konzentrierte Klammerung

Um die am Beplankungsrand auftretenden Störkräfte (resultieren aus $s_{v,90}$) von der Beplankung in die Rippe und wieder retour übertragen zu können, schlägt *Kessel (2010)* eine konzentrierte Nagelung an den Rändern vor.⁸⁴

Mit diesem Kleinversuch soll gezeigt werden, ob durch eine konzentrierte Klammerung (anstatt der verwendeten Nägel) an den Plattenrändern diese Kraft ebenso übertragen werden kann.

Die Geometrie des Versuchskörpers und die verwendeten Materialien werden zum Versuch unter Pkt. 4.3.2 nicht verändert. Bei diesem Versuch wurden vier Versuchskörper getestet.

⁸⁴ (Kessel, SS 2010 S. 99)

Plattenrand erweitert, was zu einer geringen Traglaststeigerung führt. Ein teilweiser Vergleich der ermittelten Steifigkeiten ist somit zulässig.

Auswirkungen auf die Verbindungsmittelkräfte sollen durch die Modellbildung mittels FE-Modell gezeigt werden.

4.3.4 Interpretation der Mehrfachklammerung, fliegender Stoß und konzentrierter Klammerung

Beim Versuch der Mehrfachklammerung wird bei einem relativ kleinen Versuchskörper ein Schubfeld mithilfe von OSB Platten und Klammerverbindungen erzeugt. Durch die Verwendung einer durchgehenden Beplankungsplatte sollte nur ein Schubfluss $s_{v,0}$ auftreten. Dieser wirkt wie in Abbildung 2-16 gezeigt nur parallel zu den Elementrippen.

Im linken Teil der Abbildung 4-38 wird die Beanspruchung der Klammern rechtwinkelig zur Fasserrichtung des Holzes dargestellt. Dabei treten bei der Modellrechnung, außer durch geringe Zwängungskräfte im Auflagerbereich, keine zusätzlichen Verbindungsmittelkräfte in den Klammern auf. Der rechte Teil der Abbildung 4-38 zeigt den durch die Einzelkraft verursachten Schubfluss in der Beplankungsplatte.

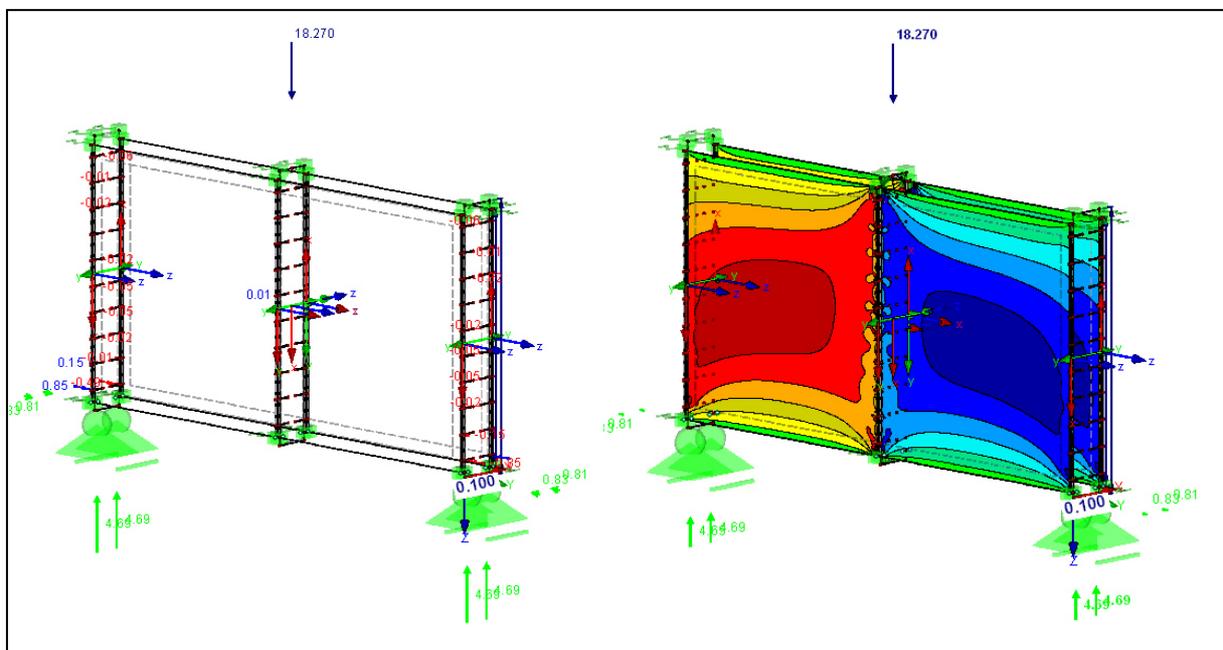


Abbildung 4-38: FE Modellierung Mehrfachklammerung

Die Steifigkeiten der Klammern wurden im Rechenmodell mithilfe der gewonnenen Daten aus dem Prüfszenario I berücksichtigt.

In Abbildung 4-39 werden die zusätzlichen Klammerbelastungen aus dem Schubfluss $s_{v,90}$ sichtbar. Dabei bekommt jene Einzelklammer, welche dem freien Plattenrand am nächsten ist die größte Störbelastung. Die Klammern in diesem Bereich werden somit gleichzeitig in faserparalleler Richtung und rechtwinkelig dazu belastet.

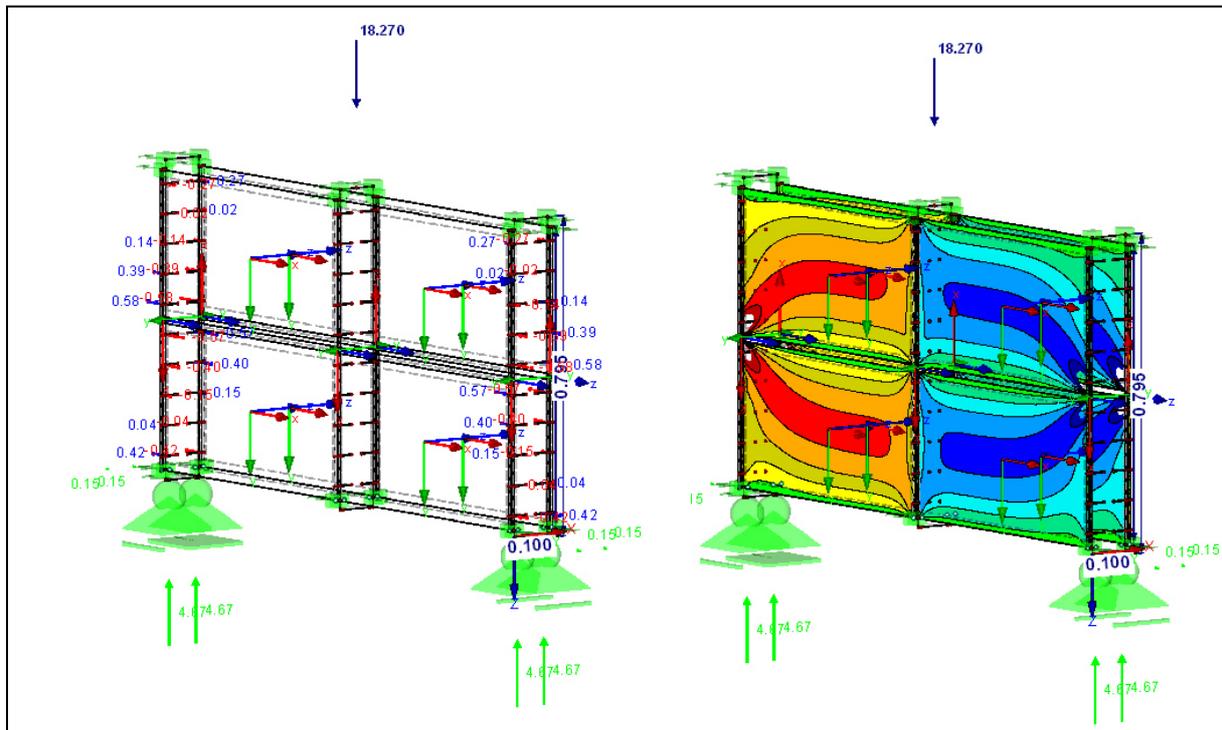


Abbildung 4-39: FE Modellierung fliegender Stoß

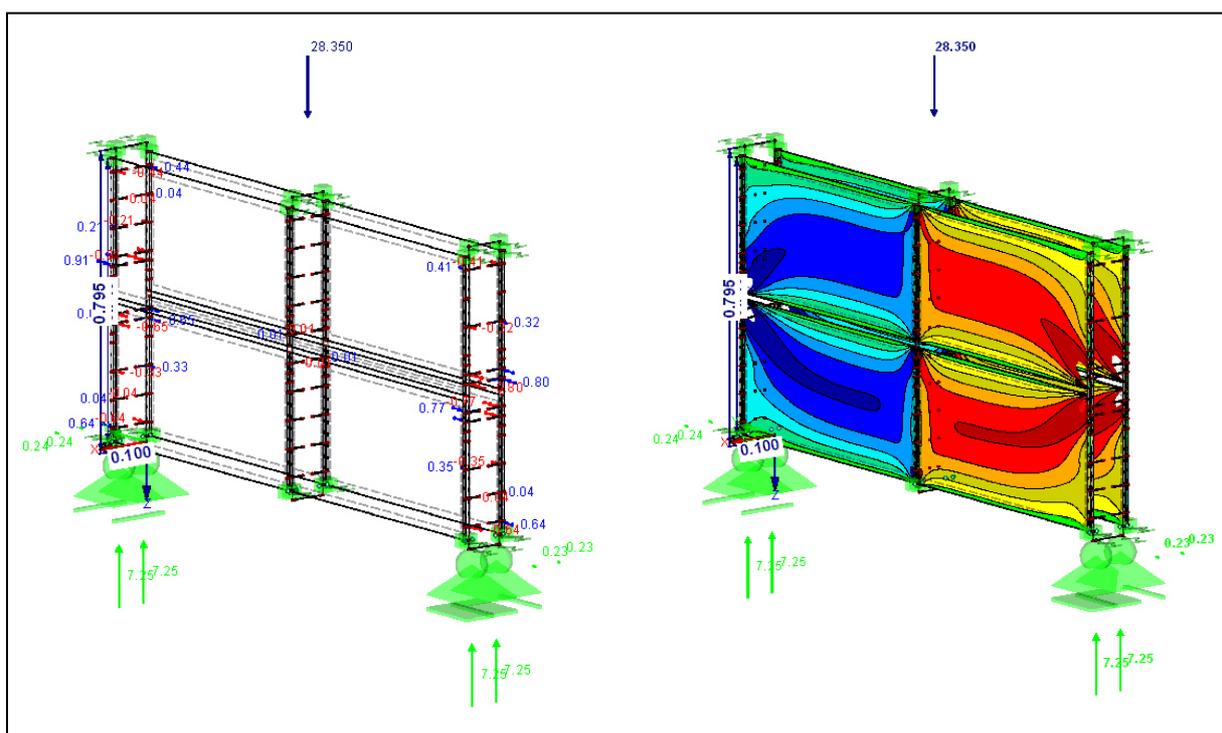


Abbildung 4-40: FE Modellierung konzentrierte Klammerung

In Abbildung 4-40 wird die Modellierung der konzentrierten Klammerung dargestellt. Die dreifache Klammerung an den Ausleitungshölzern wurde dabei mit einem Stift mit äquivalenter Querschnittfläche wie diese modelliert. Durch die höheren Steifigkeiten dieser Klammern nehmen diese die Störkräfte am freien Plattenrand auf. Die restlichen Klammern entlang der Platte stehen dabei zur Übertragung des Schubflusses $s_{v,0}$ zur Verfügung und werden durch keine zusätzlichen Kräfte belastet. Durch diese drei Kleinversuche kann somit gezeigt werden, dass die resultierenden Zusatzkräfte bei freien Plattenrändern auch mit konzentrierten Klammerungen aufgenommen werden können.

Dies könnte in Zukunft eine Möglichkeit darstellen, um freie Plattenränder bei Scheibentragwerken einfacher ausführen zu können.

4.3.5 Exzentrische Krafteinleitung

Ein wichtiger Punkt bei der Aktivierung der Beplankungsplatten für die Scheibentragfähigkeit ist die Aufteilung der Kräfte auf die untere und obere Platte. Die Kräfte werden bei Dachelementen meist in der Nähe der unteren Platte eingeleitet. Dadurch muss die obere Beplankungsplatte durch eintretende Verformungen oder geeignete Hilfsmittel wie Füllhölzer aktiviert werden. Werden die Kräfte rechtwinkelig zu den Elementrippen über Hauptleimbinder in die Dachscheibe eingeleitet, so stellen Füllhölzer zwischen den Rippen eine Möglichkeit dar, um die Kräfte in der unteren und oberen Beplankungsebene zu verteilen.

Die exzentrische Einleitung der Kräfte aus den unterhalb der Dachelemente liegenden Leimbändern wird über ein außen liegendes Zusatzholz versucht zu modellieren (siehe Abbildung 4-41).

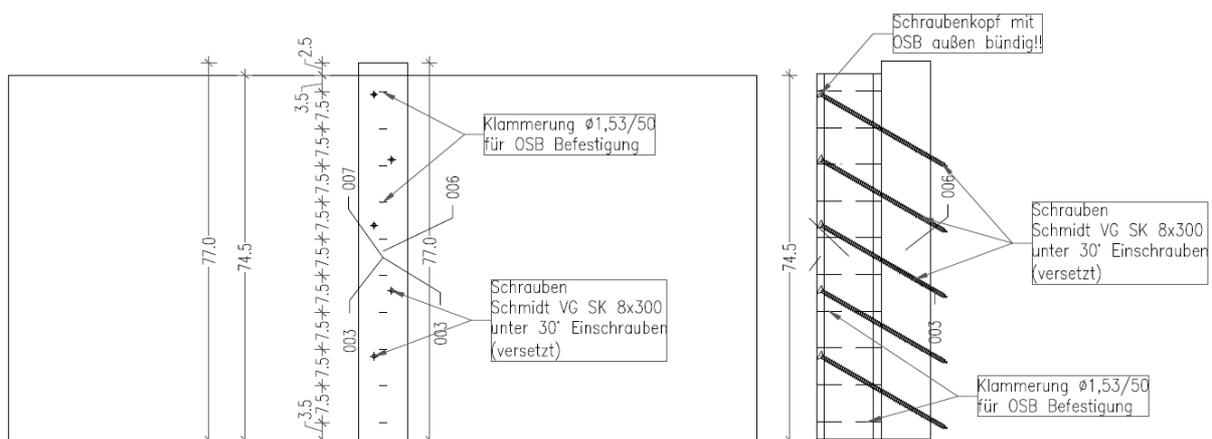


Abbildung 4-41: Versuchskörper exzentrische Krafteinleitung

Die Verschraubung des innenliegenden Füllholzes mit dem Versuchsleimbinder erfolgt mithilfe von Vollgewindeschrauben, welche unter einem Winkel von 30° eingedreht wurden.

Die Druckbelastung wird durch die Universalprüfmaschine parallel zu den Holzfasern aufgebracht. Die gewählten Vollgewindeschrauben wurden mit einem beidseitigen Überstand eingebaut. Somit kann eine definierte Gewindelänge im Holzkörper angenommen werden (ohne Bohrspitze und Schraubenkopf). Damit die Kräfte nur über das Füllholz in die OSB Platten gelangen, wurden an jenen Stellen, wo diese durch die Beplankungsplatten laufen, Langlöcher angeordnet.

Somit ist eine direkte Lasteinleitung in die OSB Platten durch die Schrauben auf Abscheren nicht möglich. Die Weiterleitung der Kraft aus dem Füllholz in die obere und untere OSB Platte erfolgt mittels Einzelklammern.



Abbildung 4-42: Kraftmessung obere/untere OSB Platte

Die Lagerung der OSB Platten erfolgte mit einem Gabellager. Zusätzlich wurden die obere und untere Platte unabhängig voneinander vertikal verschiebbar gelagert. Durch diese getrennte Lagerung der Platten kann die Lastaufteilung mit Kraftmessdosen gemessen werden (siehe Abbildung 4-42) und in Bezug zur eingeleiteten Kraft gesetzt werden.

In Abbildung 4-43 wird die Auswertung der Kräfte in der oberen und unteren OSB Platte eines Prüfkörpers gezeigt. Dabei werden die Kräfte in Prozentsätze aufgeteilt und über die Prüfzeit verlaufend aufgetragen.

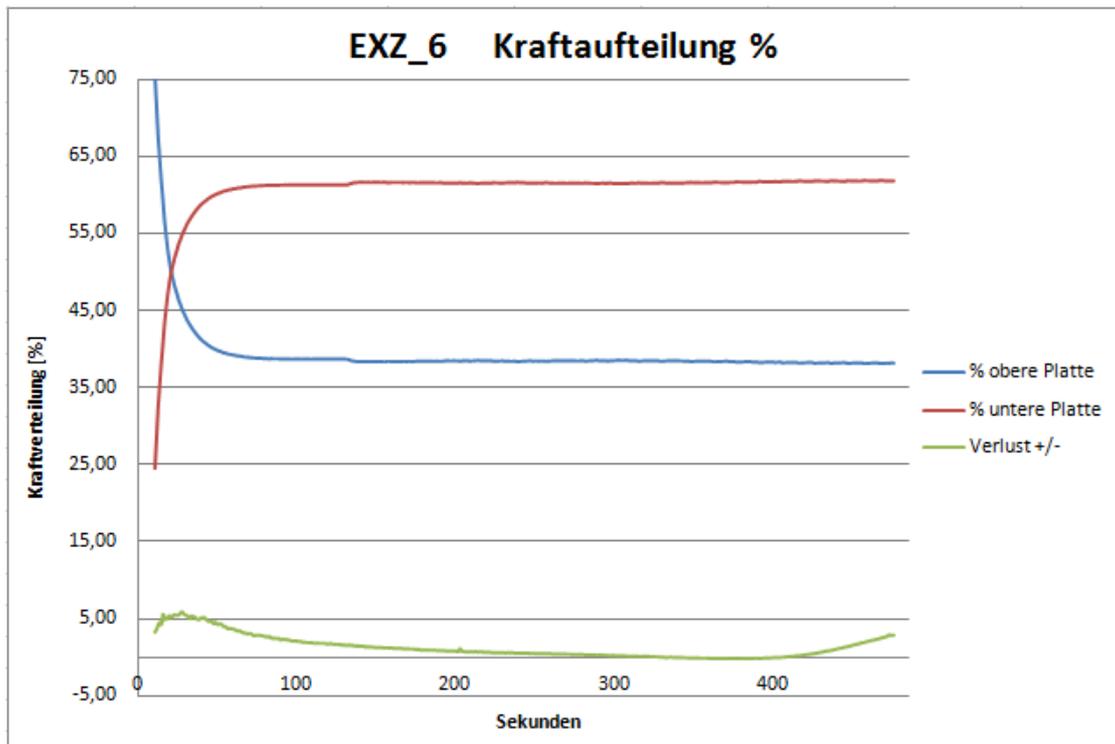


Abbildung 4-43: Kraftaufteilung in Prozent obere/untere OSB Prüfkörper 6

Wie dabei ersichtlich wird, kommt es am Beginn und Ende der Prüfung zu leichten Unregelmäßigkeiten und Einpendeleffekten bei der Verteilung der Kräfte. Dies ist jedoch auf die Prüfeinrichtung und den gewählten Ablauf zurückzuführen. Bei den durchgeführten exzentrischen Versuchen konnte festgestellt werden, dass die untere OSB Platte bei einer rechtwinkligen Lasteinleitung, rund 63% der Scheibenkräfte abträgt. Die restlichen 37% werden durch die Aktivierung mittels Füllholz von der oberen Platte abgetragen.

4.3.6 Interpretation der exzentrischen Krafteinleitung

Durch den einfach gestalteten Kleinversuch konnte eine erste Abschätzung der Kraftverteilung zwischen der oberen und unteren OSB Platte ermittelt werden.

Dabei konnte ein einheitliches Verhalten der Prüfkörper festgestellt werden. Die untere Platte trug dabei rund 60% der exzentrisch aufgebrachten Lasten ab. Die aufgebrachten Lasten wurden bei den Versuchen bis 45kN gesteigert. Um die gewonnenen Ergebnisse aus diesem Versuch bestätigen zu können, müssten komplexere Versuche an größeren Versuchskörpern (Dachelemente) mit Füllhölzern durchgeführt werden.

4.4 Verformungsparameter für Vollgewindeschrauben

Bei diesem Prüfzenario soll das Verformungsverhalten von Vollgewindeschrauben untersucht werden. Diese dienen als Verbindungsmittel bei Scheibentragwerken für die Ein-, Weiter- oder Ausleitung von Kräften. Ebenso soll die Steifigkeit einer schubsteif verbundenen Elementfuge geprüft und interpretiert werden.

4.4.1 Bestimmung der Verschiebungsmodule bei Schrauben

In diesem Kapitel werden die in Tabelle 4-3 aufgelisteten Versuche 3.1 bis 3.10 erläutert und die gewonnenen Ergebnisse des Verformungsverhaltens aufgelistet. Der Aufbau der Versuchskörper und die verwendeten Schrauben werden dabei mithilfe einer Skizze erläutert.

Schraubenversuch Nr.1 Würth 45°

Die Probekörper wurden zwar in Anlehnung an die ÖNORM EN 1381 hergestellt, sollten aber den Bedürfnissen bei den Einsatzmöglichkeiten von Scheibentragwerken der Firma *Rubner* entsprechen. Als Ziel jedes Einzelversuches sollte der Verschiebungsmodul unter Gebrauchslast und Traglast bestimmt werden. Der Versuchskörper für diese Prüfung ist in Abbildung 4-44 dargestellt.

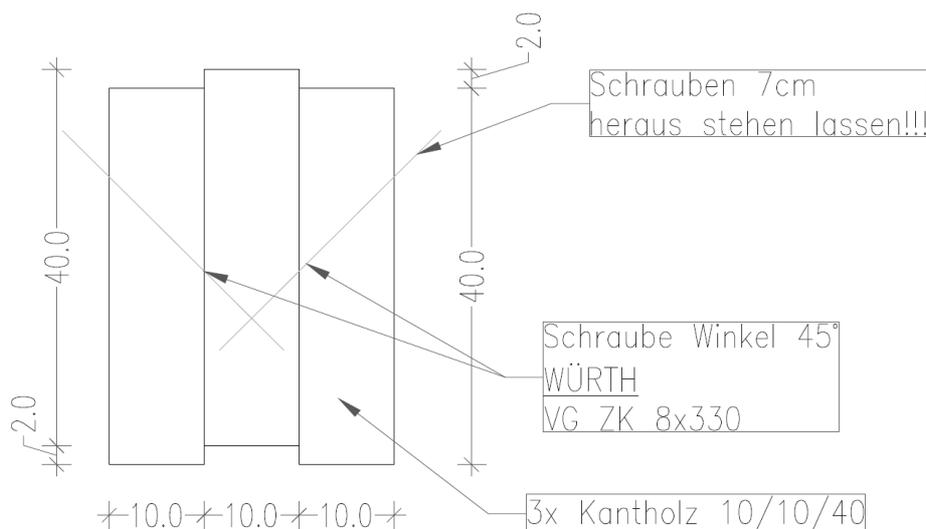


Abbildung 4-44: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.1 Würth 45°

Wie gezeigt, besteht der Versuchskörper aus einer dreiteiligen Verbindung, mit jeweils einer einseitig unter 45° eingedrehten Schraube.

Die Belastung der Probe erfolgt durch die Universalprüfmaschine auf Druck parallel zur Faserrichtung. Somit werden die Schrauben durch die Anordnung im Winkel von 45° auf Zug belastet. Durch die definierte Eindrehlänge in das Holz entsteht eine Vergleichbarkeit mit den restlichen Proben.

Für den Versuch wurden Vollgewindeschrauben des Herstellers *Würth* verwendet. Als Material für den Probekörper wurde, wie auch bei den nachfolgenden Prüfkörpern, Kiefernvollholz verwendet.

Das Ergebnis dieses Versuchs soll die Bestimmung des Verformungsmoduls unter Gebrauch- und Traglast sein. Dazu wurde die Verformung der Verbindung mithilfe von Wegaufnehmern gemessen. Die Aufzeichnung der Kraft erfolgte mittels Kraftmessdose. Die Belastung und Auswertung erfolgte in Anlehnung an die ÖNROM EN 26891, wobei die Haltezeit und Entlastung bei $0,4F_{est}$ nicht erfolgte. Der Prüfablauf war somit ident mit jenem des Einzelklammerversuches E_0_90.

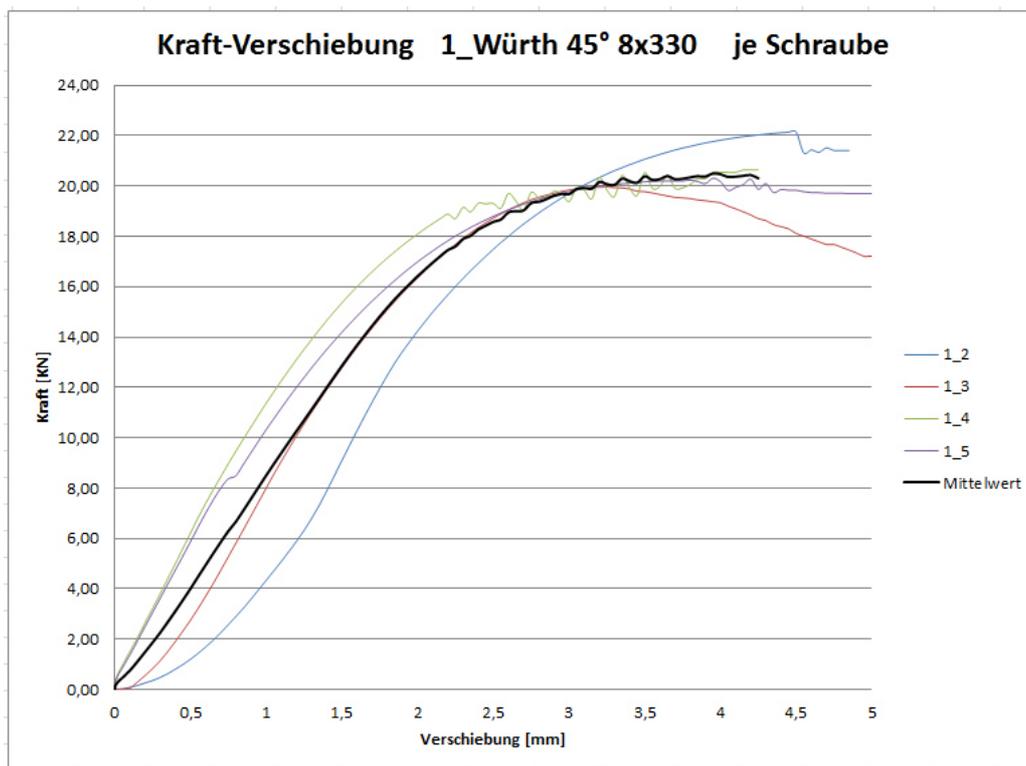


Abbildung 4-45: Last- Verschiebungskurve Schraubenversuch Nr.1 Würth 45°

Die Abbildung 4-45 zeigt die Last- Verschiebungskurven dieses Versuchs. Die Dargestellten Kurven beziehen sich auf eine Vollgewindeschraube. Dabei kann festgestellt werden, dass es beim Versagen zu auffälligen Schwankungen gekommen ist. Dies deutet auf ein Auszugsversagen im Holzquerschnitt hin.

Die Tabelle 4-19 gibt die Ergebnisse des Versuches Nr.1 mit Vollgewindeschrauben der Firma Würth unter 45° wieder. Für die Auswertung der fünf Versuchskörper konnte der erste Versuchsaufbau nicht verwendet werden.

Tabelle 4-19: Ergebnisse Nr.1 Würth 45°

Zusammenfassung 1_Würth 45° 1-5

	1	2	3	4	5
Fmax	-	22,16	19,96	20,63	20,31
0,4*Fmax	-	8,86	7,98	8,25	8,12
v bei Fmax	-	4,50	3,25	3,20	3,85
v bei 0,4*Fmax	-	1,48	1,00	0,68	0,71
Kser	-	5.989,53	7.984,90	12.137,96	11.439,65
Ku	-	4.924,72	6.142,23	6.448,29	5.274,13

Kontrolle über Mittelwert

Fmax	20,77
Kser	9.388,01
Ku	5.697,34

Achtung Versuch 1 wurde nicht gewertet

Bei den Versuchen mit den Vollgewindeschrauben wurde F_{max} , K_{ser} und K_u bestimmt. Im Anschluss an die Versuche werden die Werte miteinander verglichen. Ebenso erfolgt ein Vergleich mit den Werten aus den technischen Zulassungen der Hersteller.

Schraubenversuch Nr.2 Schmid 45°

In Abbildung 4-46 ist der Versuchskörper für den Schraubenversuch Nr. 2 abgebildet. Dabei kommen Schrauben des Herstellers Schmid unter den gleichen Rahmenbedingungen wie im Versuch Nr. 1 zum Einsatz.

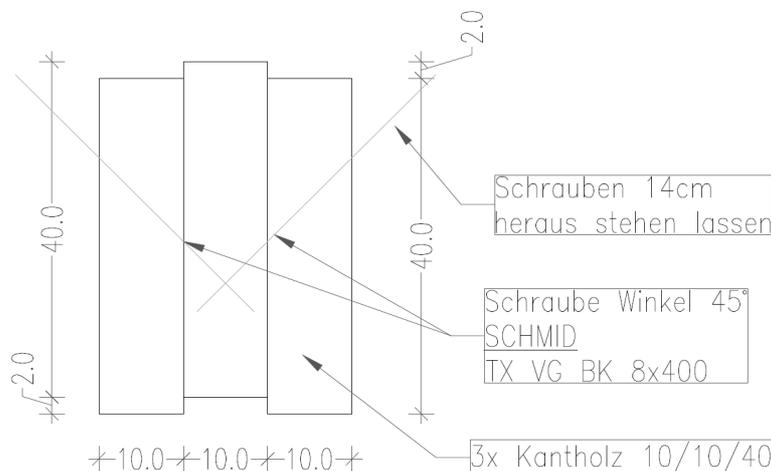


Abbildung 4-46: Schraubenversuche - Schemakizze Nr.2 Schmid 45°

Somit sind die Ergebnisse der beiden Versuche direkt miteinander vergleichbar. Die Auswertung der Versuche ist in Tabelle 4-20 dargestellt. Dabei kann eine höhere Tragfähigkeit festgestellt werden. Auch der Verformungsmodul unter Traglast ist deutlich höher als bei der zuvor geprüften Verbindung.

Tabelle 4-20: Ergebnisse Nr.2 Würth 45°

Zusammenfassung 2_Schmid 45° 1-5

	1	2	3	4	5
Fmax	25,18	22,99	22,55	25,39	25,97
0,4*Fmax	10,07	9,20	9,02	10,16	10,39
V bei Fmax	3,82	3,44	4,14	3,76	3,74
v bei 0,4*Fmax	0,92	0,57	0,80	0,96	0,86
Kser	10.948,73	16.132,63	11.275,11	10.578,90	12.078,02
Ku	6.592,17	6.682,85	5.446,91	6.752,49	6.943,25

Fmax	24,42
Kser	12.202,68
Ku	6.483,53

Beim Versagen kam es wiederum zu einem Schraubenauszug aus dem Holzbauteil.

Schraubenversuch Nr.3 Eurotec 45°

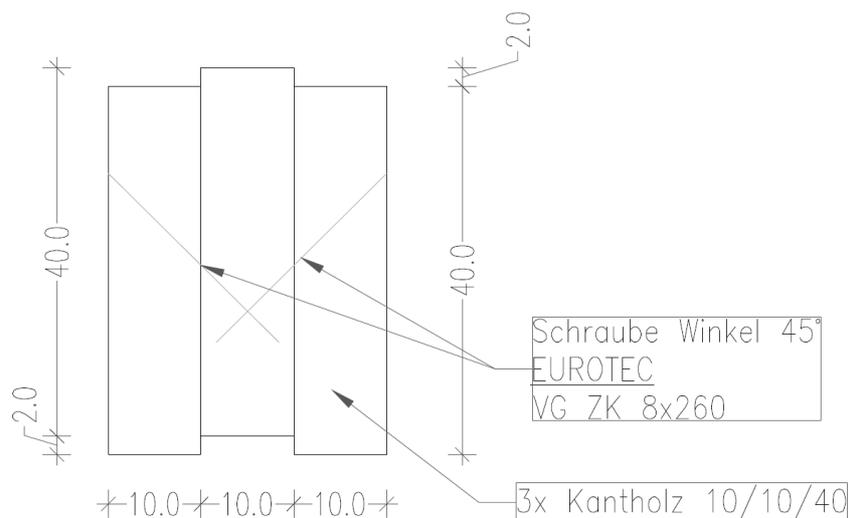


Abbildung 4-47: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.3 Eurotec 45°

Dieser Versuch soll mit den Schrauben eines dritten Herstellers durchgeführt werden. Dabei kommen Vollgewindeschrauben des Produzenten Eurotec zum Einsatz (Abbildung 4-47).

Da zum Produktionszeitpunkt der Versuchskörper keine gleich langen Schrauben wie bei den vorhergehenden Versuchen vorhanden waren, wurden bei diesen Proben die Schrauben bündig eingedreht. Somit entspricht die Einbindelänge der Schrauben in das Mittelholz jenen der vorhergehenden Versuche.

Die Ergebnisse der Versuche sind in Tabelle 4-24 zusammengefasst.

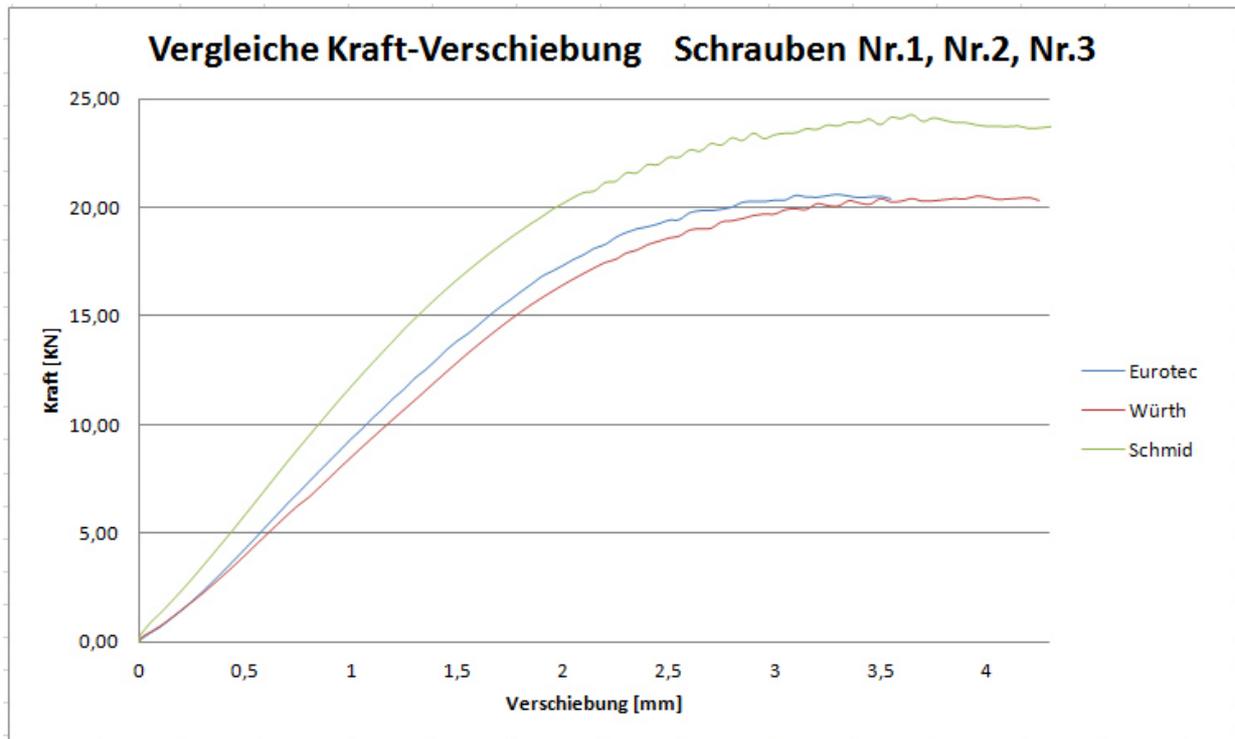


Abbildung 4-48: Vergleiche Schraubenversuche Nr.1 - Nr.3

Schraubenversuch Nr.4 Eurotec 30°

Durch den in Zukunft vermehrten Einsatz von Vollgewindeschrauben der Firma *Eurotec* am Standort Obergrafendorf, wurden bei den restlichen Versuchen diese Schrauben verwendet. Der Versuch Nr. 4 stellt ebenfalls eine dreiteilige Verbindung dar. Jedoch wurde ein Einschraubwinkel von 30° gewählt. Die Schrauben werden ebenfalls auf Zug beansprucht. Die Belastung und die Auswertung erfolgt wie bei den Schraubenversuchen zuvor (siehe Abbildung 4-49).

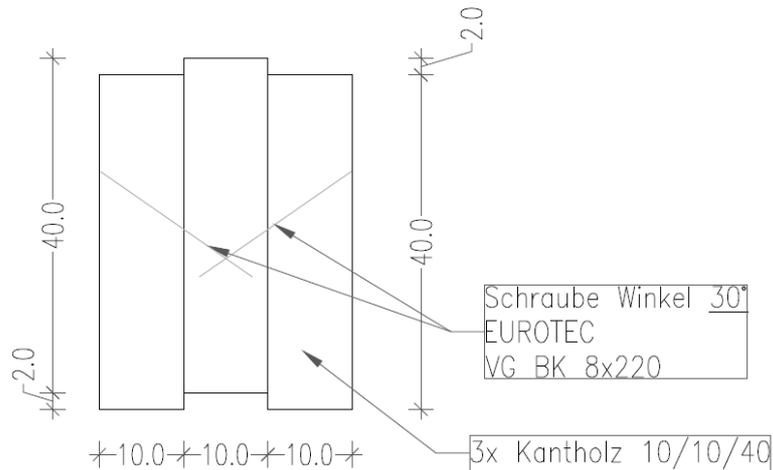


Abbildung 4-49: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.4 Eurotec 30°

Die Versuchsergebnisse sollen eine Aussage über das Verhalten der Schrauben bei einem ungünstigeren Einschraubwinkel liefern.

Die Zusammenstellung der Ergebnisse in Tabelle 4-21 zeigt eine Abnahme der Tragfähigkeit im Vergleich zum Winkel von 45° (Versuch Nr.4). Große Unterschiede lassen sich beim Verschiebungsmodul unter Traglast erkennen. Dabei kann bei einer Winkeländerung von 15° eine Steifigkeitsabnahme von fast 50% beobachtet werden.

Tabelle 4-21: Ergebnisse Nr.4 Eurotec 30°

Zusammenfassung 4_Eurotec 30° 1-5

	1	2	3	4	5
Fmax	19,38	18,39	14,68	15,17	15,32
0,4*Fmax	7,75	7,36	5,87	6,07	6,13
V bei Fmax	6,95	4,93	4,66	4,90	5,89
v bei 0,4*Fmax	1,17	1,14	1,16	1,28	0,99
Kser	6.626,39	6.453,26	5.061,91	4.739,20	6.188,59
Ku	2.788,81	3.730,59	3.150,12	3.094,99	2.600,47

Fmax	16,59
Kser	5.813,87
Ku	3.072,99

Schraubenversuch Nr.5 Eurotec mit OSB 45°

Da bei der Ein-, Aus- und Weiterleitung von Kräften bei Dachscheiben sich häufig zwischen den Einzelteilen OSB Platten befinden, sollte auch der Einfluss dieser auf das Verformungsverhalten untersucht werden. Um einen Vergleich zwischen den vorangegangenen Versuchen herstellen zu können, wurden dieselben Vollholzquerschnitte wie im Schraubenversuch Nr.3 gewählt. Lediglich in den Verbindungsfugen zwischen den Hölzern wurde eine OSB Platte mit einer Stärke von 15mm eingebaut, welche mittels Klammern am Mittelholz konstruktiv befestigt wurde (Abbildung 4-50).

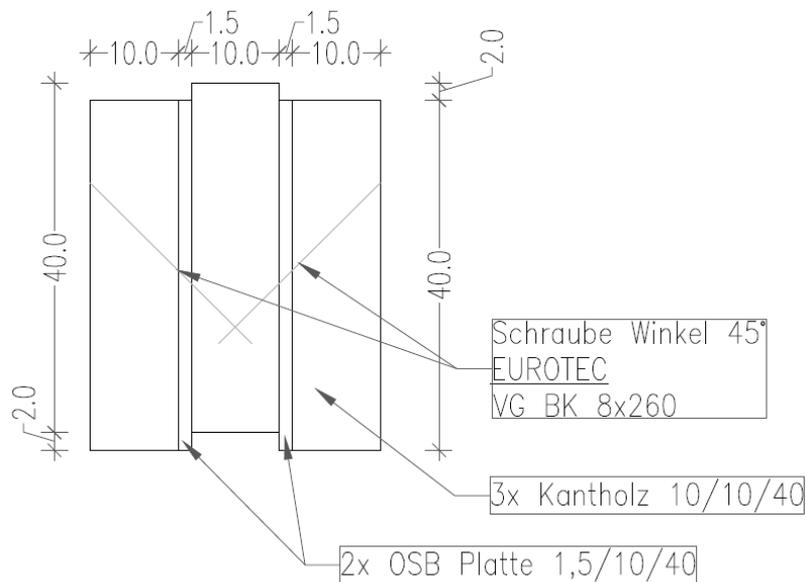


Abbildung 4-50: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.5 Eurotec mit OSB 45°

Die geprüften Versuchskörper versagten, wie auch jene des Versuchs Nr. 3, auf Auszug. Jedoch konnte wie in Tabelle 4-22 ersichtlich eine Beeinflussung durch die OSB Platten festgestellt werden.

Tabelle 4-22: Ergebnisse Nr.5 Eurotec 45° + OSB

Zusammenfassung 5_Eurotec 45° 1-5

	1	2	3	4	5
Fmax	16,86	18,88	16,61	18,77	19,09
0,4*Fmax	6,75	7,55	6,65	7,51	7,64
V bei Fmax	3,81	4,04	4,05	3,86	3,98
v bei 0,4*Fmax	1,21	1,09	0,99	0,99	0,94
Kser	5.574,84	6.928,80	6.712,66	7.582,77	8.122,36
Ku	4.426,22	4.673,51	4.102,18	4.862,01	4.795,86

Fmax	18,04
Kser	6.984,29
Ku	4.571,96

Schraubenversuch Nr.6 Eurotec mit OSB 30°

Um den gezeigten Einfluss von Zwischenschichten auf das Verformungsverhalten auch mit jenen des Schraubenversuches Nr. 4 vergleichen zu können, wurden bei diesem Versuch die Schrauben mit einer Zwischenplatte unter einem Einschraubwinkel von 30° getestet (siehe Abbildung 4-51), was zu einem weiteren Abfall der Steifigkeiten und Tragfähigkeiten führte.

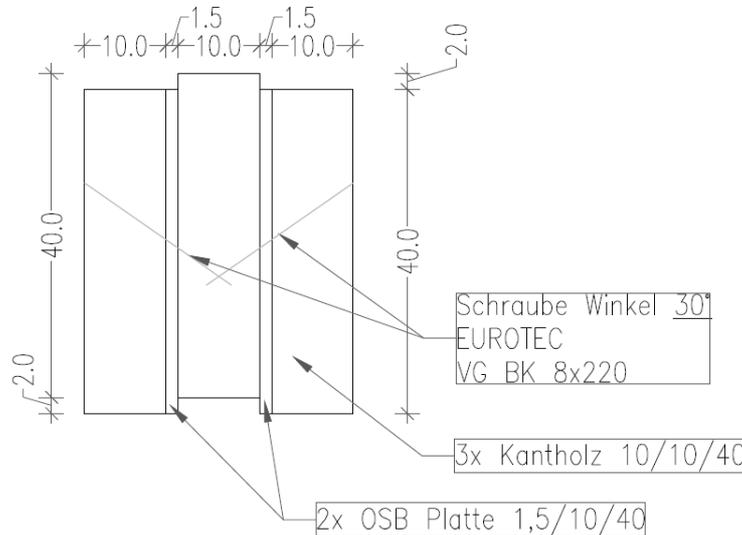


Abbildung 4-51: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.6 Eurotec mit OSB 30°

Schraubenversuch Nr.7 „Real“ Eurotec mit OSB 45°

Bei diesem Versuch wurden längere Vollgewindeschrauben verwendet. Dies entspricht der gängigen Praxis bei der Verbindung der Dachelemente mit dem darunter liegenden Leimbinder. Die verwendeten Vollgewindeschrauben wiesen eine Länge von 400mm auf, wobei die Einbindelänge in beiden Holzteilen als gleich lang angenommen wurde.

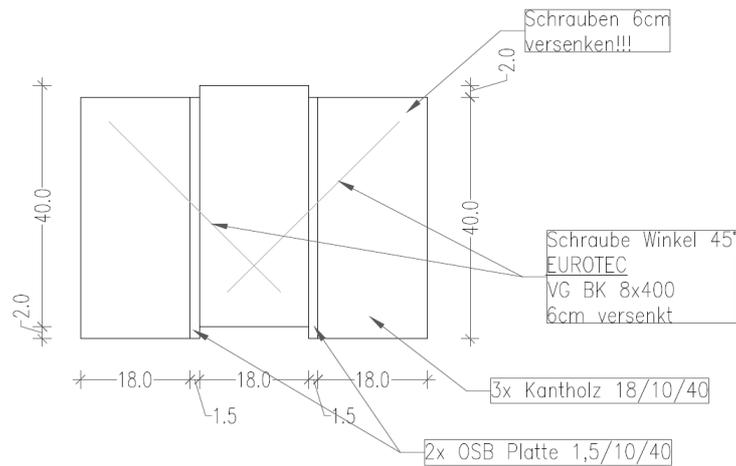


Abbildung 4-52: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.7 "Real" Eurotec mit OSB 45°

Die Belastung und Auswertung erfolgte wie bei den vorangegangenen Versuchen. Ebenso wurde Kiefernvollholz verwendet, welches auf Druck parallel zur Faser belastet wurde. Der schematische Prüfaufbau ist in Abbildung 4-52 erkennbar.

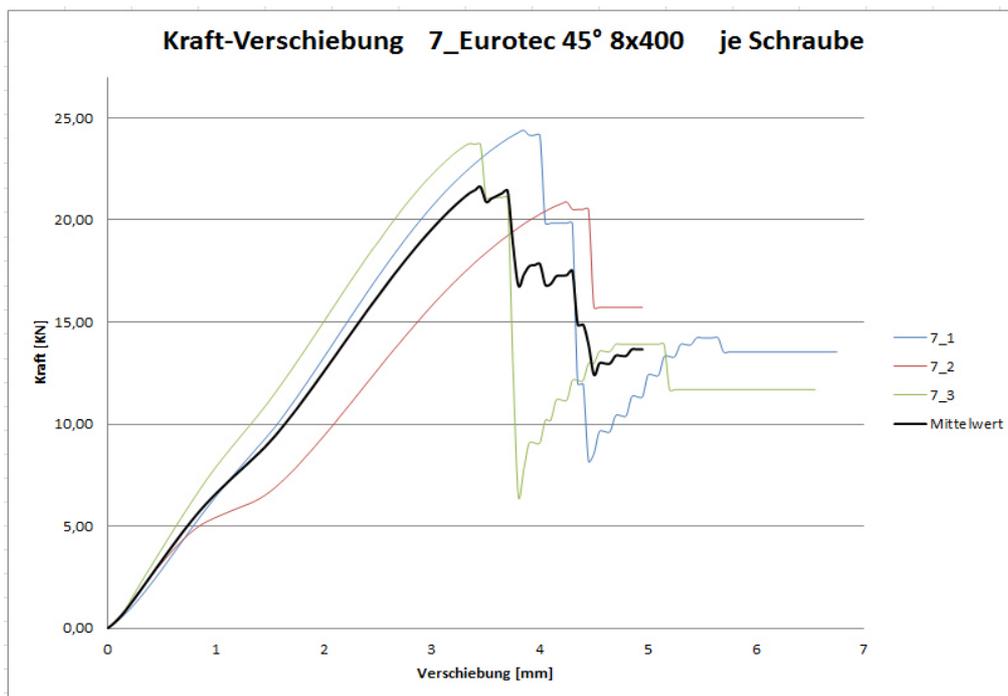


Abbildung 4-53: Last- Verschiebungskurve Schraubenversuch Nr.7 Eurotec Real

Als Versagensfall trat ein spröder Zugbruch bei den Schrauben auf. Die ist auch aus der Last-Verschiebungskurve in Abbildung 4-53 erkennbar.

Ein Vergleich mit den Verformungswerten aus der technischen Zulassung ist in Tabelle 4-24 ersichtlich.

Schraubenversuch Nr.8 „Real“ Eurotec ohne OSB 45°

Um wiederum Rückschlüsse auf die Auswirkungen der OSB Zwischenschicht ziehen zu können wurde dieser Versuch ohne eine dazwischenliegende Platte hergestellt (siehe Abbildung 4-54).

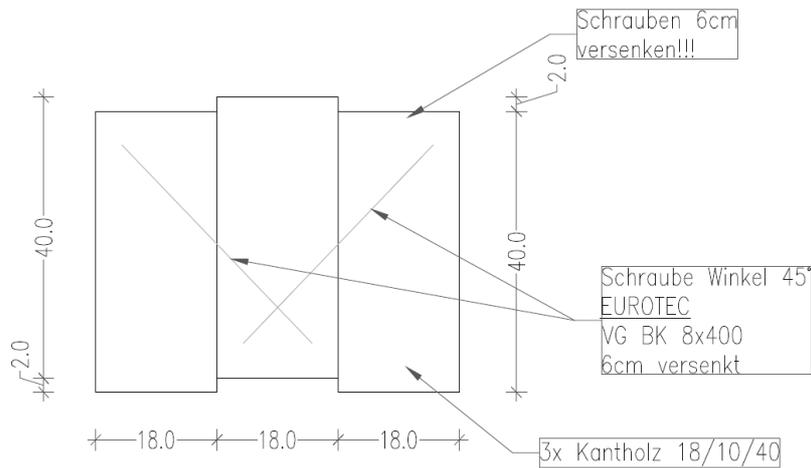


Abbildung 4-54: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.8 "Real" Eurotec ohne OSB 45°

In der Abbildung 4-55 wird der Versuch mit der Universalprüfmaschine gezeigt. Die Messung der Verschiebung erfolgte mit einem Wegaufnehmer.

Ziel dieser Versuche war nicht die exakte Feststellung der Verschiebungsmodule sondern eine Abschätzung dieser.

Dabei sollen speziell nicht nach Norm ausgeführte Verbindungen betrachtet werden. Dies stellen zum Beispiel Schraubenverbindungen mit dazwischen liegenden OSB Platten dar.



Abbildung 4-55: Durchführung Schraubenversuch Nr.8

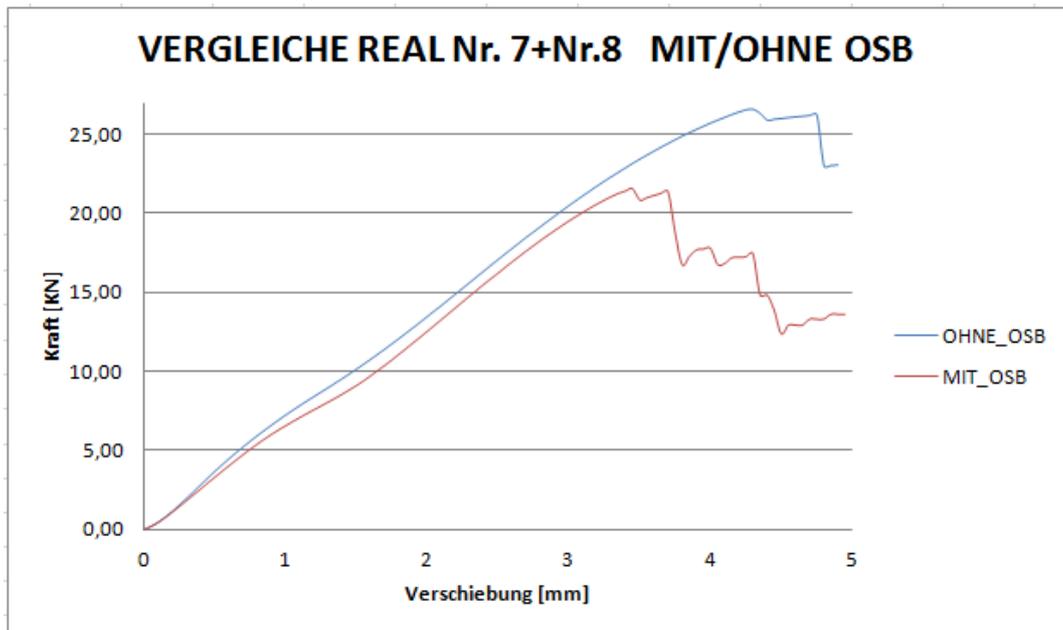


Abbildung 4-56: Vergleich Last- Verschiebungskurve Nr.7 und Nr. 8

Der Vergleich der beiden Mittelwertkurven der Schraubenversuche Nr. 7 und Nr. 8 wird in Abbildung 4-56 dargestellt. Auch bei diesen Versuchen kann festgestellt werden, dass mit einer Zwischenschicht die Steifigkeiten der Schraubenverbindung geringfügig abnehmen.

Schraubenversuch Nr.9 Eurotec mit OSB Zug/Druck 45°

Der Aufbau des Prüfkörpers Nr.9 mit Vollgewindeschrauben wird in Abbildung 4-57 gezeigt.

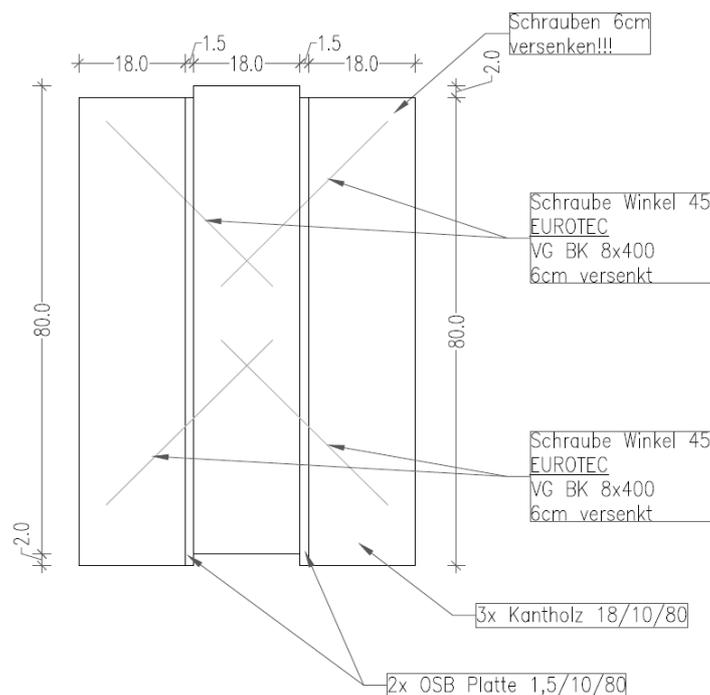


Abbildung 4-57: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.9 Eurotec mit OSB Zug-Druck 45°

Die dreiteilige Holzverbindung wird mit jeweils zwei Vollgewindeschrauben, welche von beiden Seiten eingeschraubt werden, zusammengehalten. Als Zwischenschicht befindet sich eine 15mm Dicke OSB Platte zwischen den Holzrippen. Der Aufbau dieses Prüfkörpers soll die Verbindung von Füllhölzern mit dem darunter liegenden Leimbinder wiedergeben. Ein Ausschnitt aus dem Befestigungsdetail für Dachelemente ist in Abbildung 4-58 dargestellt. Die Krafteinleitung erfolgt parallel zur Holzfaserrichtung. Um eine erste Aussage über das Verformungsverhalten dieses Aufbaus treffen zu können, genügt es eine Probekörperanzahl von drei Stück zu prüfen.

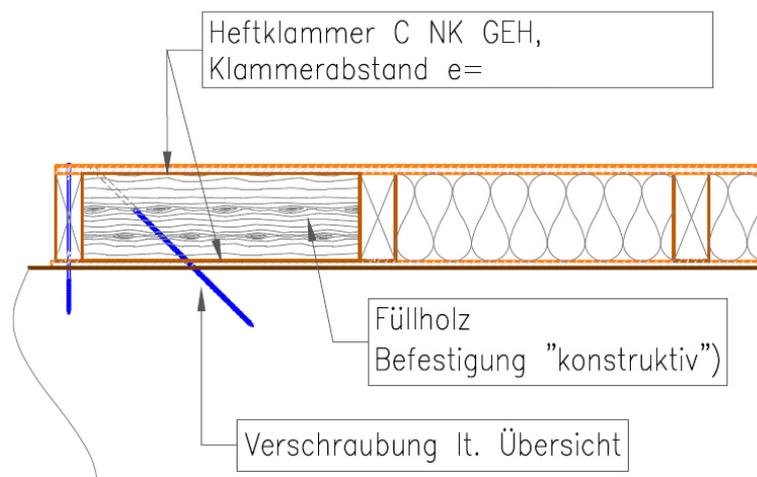


Abbildung 4-58: Detailzeichnung Füllholz bei Dachelementstandard Fa. Rubner

Die Zusammenfassung der Versuchsergebnisse ist in Tabelle 4-23 zusammengestellt. Die Werte beziehen sich auf eine Schraube. Dabei wurde angenommen, dass sich die aufgetragenen Lasten gleichmäßig auf die vier Schrauben verteilen.

Tabelle 4-23: Ergebnisse Nr.9 Eurotec 45° Zug/Druck

Zusammenfassung 9_Eurotec 45° ZUG/DRUCK 1-3

	1	2	3
Fmax	17,42	17,11	16,61
0,4*Fmax	6,97	6,84	6,64
V bei Fmax	5,01	4,86	3,21
v bei 0,4*Fmax	1,71	1,81	1,33
Kser	4.075,57	3.780,26	4.994,59
Ku	3.477,66	3.519,68	5.173,53

Fmax	17,05
Kser	4.283,47
Ku	4.056,96

Die Steifigkeiten, welche für diesen Versuch in der Tabelle 4-24 aufgelistet sind beziehen sich auf zwei Schrauben. Durch Vergleiche mit dem Schraubenversuch Nr. 10 kann die Auswirkung auf die Tragfähigkeit und den Verformungsmodul in Bezug auf ein Schraubenkreuz bestimmt werden.

Schraubenversuch Nr.10 Eurotec mit OSB Kreuz 45°

Der Prüfkörper für den Schraubenversuch Nr. 10 ist in Abbildung 4-59 ersichtlich. Die Prüfung erfolgte wiederum mit Schrauben, welche eine realistische Länge für die praxistaugliche Anwendung aufweisen. Belastung und Auswertung der Versuche erfolgte wie bei den vorangegangenen Schraubenversuchen.

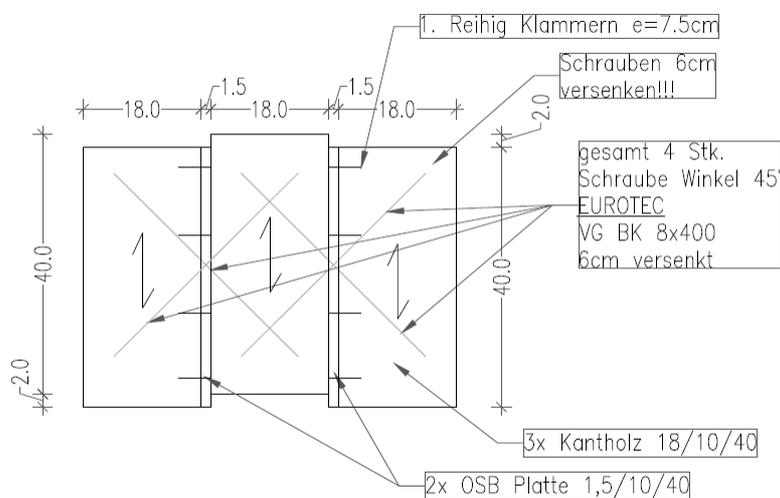


Abbildung 4-59: Schraubenversuche – Nr.10 "Real" Eurotec mit OSB Kreuz 45°

Es wurden wiederum drei Prüfkörper getestet. Die Schrauben wurden bei diesem Versuch aber so angeordnet, dass durch das Eindrehen unter 45° ein Kreuz entsteht. Durch diese Anordnung dürfen laut Norm oder Zulassung beide Schrauben einer Scherfuge zum Abtragen der Lasten auf Zug herangezogen werden.

Durch den Versuch soll jedoch festgestellt werden, ob durch die Kreuzanordnung auch das Verformungsverhalten unter Gebrauchs- und Traglast beeinflusst wird.

Bei der Durchführung der Versuche konnte man erkennen, dass sich das Tragverhalten bei der Anordnung von Schraubenkreuzen merklich ändert. So kam es bei diesem Kleinversuch zu unvorhergesehenen Kraftumlagerungen im Schraubenkreuz. Die gemessenen Prüfwerte können somit nicht mit den vorherigen verglichen werden. Die Werte wurden in Tabelle 4-24 aufgelistet.

4.4.2 Versuche Fugenverschraubung

Unter dem Begriff der Fugenverschraubung werden die drei geprüften Versuchsaufbauten aus Tabelle 4-3 (3.11-3.13) verstanden. Dabei soll das Verformungsverhalten von Vollgewindeschrauben beobachtet werden, wenn zwischen den zu verbindenden Holzteilen eine definierte Fuge auftritt. Die Lasten werden dabei wie bei den Dachelementen, welche als Scheibe ausgebildet werden, in Fugenlängsrichtung übertragen. Die Schubkräfte werden dabei über Vollgewindeschrauben, welche unter $2 \times 45^\circ$ eingedreht werden und auf Auszug belastet sind, übertragen. Dies wird auch durch die Abbildung 2-24 gut verdeutlicht.

Schraubenversuch Nr.11a Eurotec mit OSB $2 \times 45^\circ$ Kreuz ohne Fuge

Da die Dachelemente mit Längen von bis zu 25m im Werk vorgefertigt werden, müssen entstehende Fugen auf der Baustelle miteinander verbunden werden, um die Schubkräfte, welche zwischen den beiden Randrippen auftreten, übertragen zu können.

Da es sich bei den durchgeführten Versuchen lediglich um Kleinversuche handelt, wurde jeweils ein Probekörper mit einem Schraubenkreuz getestet. Ein Referenzprüfkörper, welcher ohne Fuge ausgeführt wurde, ist in Abbildung 4-60 zu sehen.

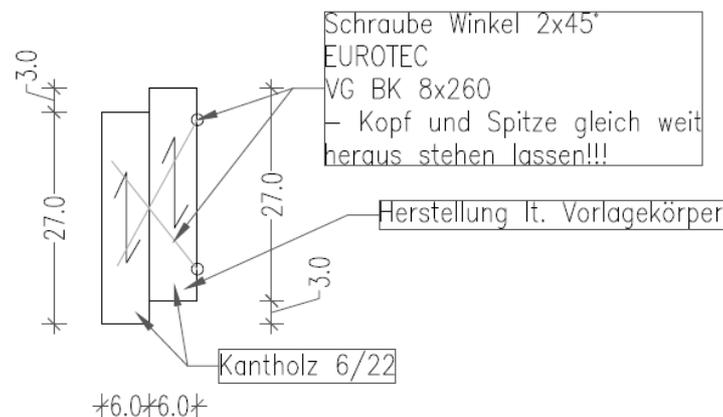


Abbildung 4-60: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.11 $2 \times 45^\circ$ ohne Fuge

In Abbildung 4-60 wird die zu prüfende Elementrippenverschraubung im Grundriss dargestellt. Dabei handelt es sich um eine zweiteilige Vollholzverbindung aus Kiefernelementrippen, welche durch ein Vollgewindekreuz verbunden sind. Die Belastung erfolgt mit der Prüfmaschine Zwick auf Druck. Durch den nicht symmetrischen Aufbau des Prüfkörpers treten während des Prüfvorganges Exzentrizität und Versatzmomente auf. Diese

entstehenden Horizontalkräfte müssen durch eine seitliche Halterung, welche aber vertikal verschieblich ist, aufgenommen werden. In Abbildung 4-61 werden die Kraft-Verschiebungskurven des Schraubenversuches 11a dargestellt. Die Auswertung der gezeigten Kurve bezieht sich auf eine Vollgewindeschraube.

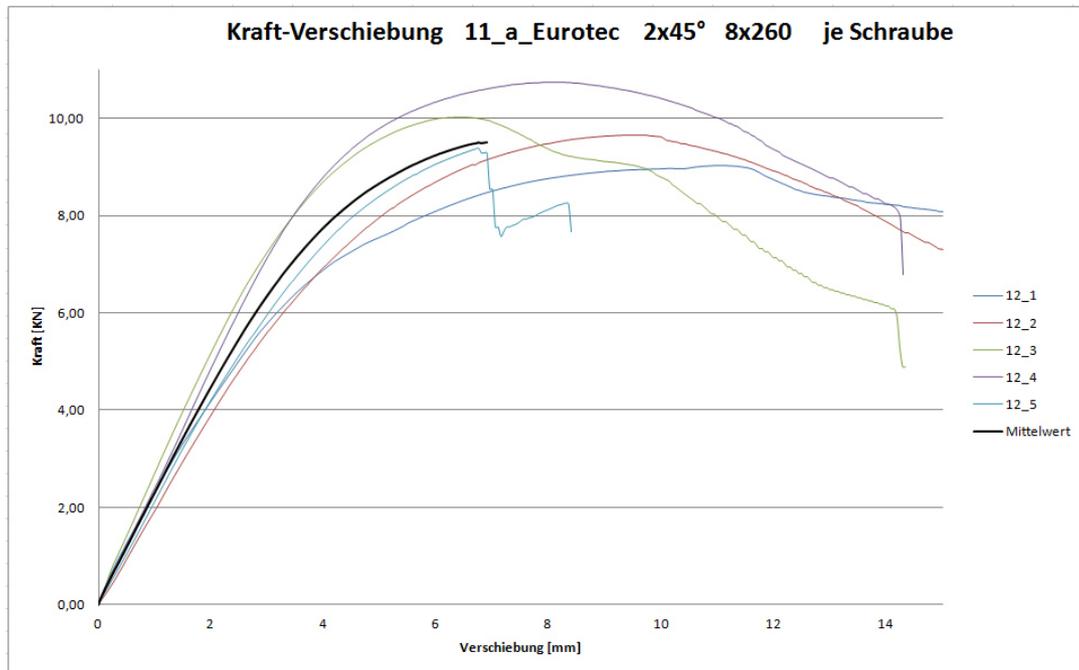


Abbildung 4-61: Zusammenfassung Kraft-Verschiebungskurven 11a ohne Fuge

Bei der Durchführung der Versuche konnten bereits Schwierigkeiten beim Versuchsablauf festgestellt werden. Unter anderem verursachten die erzeugten Kräfte durch die exzentrische Krafteinleitung Probleme beim Startvorgang des Belastungsverfahrens der Prüfmaschine.

Dies spiegelt sich auch bei den Prüfergebnissen wieder. So können große Abweichungen bei der Tragfähigkeit und dem Verformungsverhalten festgestellt werden.

Das Versagen dieser Verbindungsmittelprüfung trat jedoch wie bei der Prüfungsplanung angenommen durch einen Schraubenauszug ein. Trotz des nicht ideal funktionierenden Prüfaufbaus wurden die weiteren Prüfungen mit der dazwischenliegenden Fuge mit Luft und jener mit Schaum durchgeführt. Diese sollten vor allem Vergleichswerte für den Versuch Nr.11a liefern.

Die Ergebnisse des Versuches Nr. 11a sind in Tabelle 4-24 zusammengestellt.

Schraubenversuch Nr.11b+c Eurotec mit OSB 2x45° Kreuz mit Fuge

Die Abbildung 4-62 zeigt den gewählten Versuchsaufbau für den Schraubenversuch Nr.11b und c. Wie zuvor bereits erwähnt, wird hierbei eine Fuge von zwei Zentimetern zwischen den zu verbindenden Elementrippen erzeugt. Die Verschraubung erfolgte wie beim Versuch 11a mit Vollgewindeschrauben der Firma *Eurotec* unter einem Einschraubwinkel von 2x45°. Leisten am Ende des Prüfkörpers sollten eine Fixierung des Prüfkörpers darstellen und die Druckkräfte aus dem Versatzmoment aufnehmen.

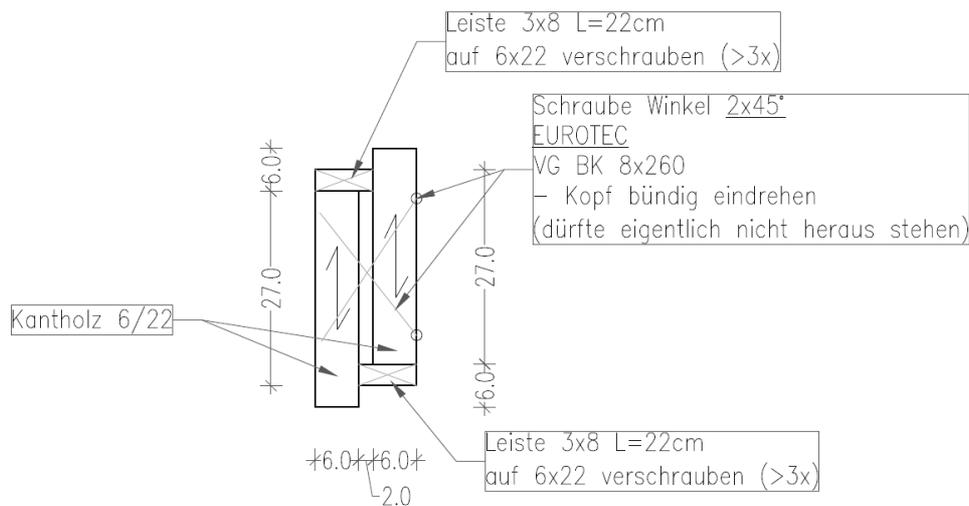


Abbildung 4-62: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.11 2x45° mit Fuge

Auch bei diesem Versuch konnten wieder Probleme beim Versuchsablauf festgestellt werden, was sich auch in den Prüfergebnissen in Tabelle 4-24 widerspiegelt. Durch die Fugentestung mit Luft und Schaum konnten keine aussagekräftigen Resultate gewonnen werden.

Der Vergleich der Tragfähigkeiten und des Verformungsverhaltens unter Gebrauchs- und Traglast zeigt jedoch eine weitere Abnahme der Bruchlast und der Steifigkeit bei der Ausbildung einer Elementfuge.

4.4.3 Ergebniszusammenfassung Vollgewindeschrauben

Tabelle 4-24: Ergebniszusammenfassung Verformungsverhalten Vollgewindeschrauben

ZUSAMMENFASSUNG VERSUCHE Vollgewindeschraube div. Hersteller

Nr.	Bezeichnung	Werte je Schraube			Einbindelänge					Anmerkung
		Fmax	Kser	Ku	t1	t2	Fuge/OSB	Ges. L	Kser rechn.	
1	Würth 45° 8x330	20,8	9.388,0	5.697,3	118,6	141,4	0,0	260,0	7.986,32	
2	Schmid 45° 8x400	24,4	12.202,0	6.483,5	118,6	141,4	0,0	260,0		
3	Eurotec 45° 8x260	21,0	9.310,2	6.037,9	118,6	141,4	0,0	260,0	7.986,32	
4	Eurotec 30° 8x220	16,6	5.813,9	3.073,0	115,5	104,5	0,0	220,0	7.592,05	
5	Eurotec 45° 8x260 mit OSB	18,0	6.984,3	4.572,0	97,4	141,4	21,2	260,0	7.381,36	
6	Eurotec 30° 8x220 mit OSB	14,6	5.300,9	2.789,2	87,2	115,5	17,3	220,0	7.061,86	
7	Eurotec 45° 8x400 mit OSB real	23,0	6.210,9	6.109,0	189,4	189,4	21,2	400,0	9.630,85	Sprödbruch
8	Eurotec 45° 8x400 ohne OSB real	27,1	6.781,5	6.103,5	200,0	200,0	0,0	400,0	9.842,93	Sprödbruch

Nr.	Bezeichnung	Werte je Seite (je Kreuz)			Einbindelänge					Anmerkung
		Fmax	Kser	Ku	t1	t2	Fuge/OSB	Ges. L	Kser rechn.	
9	Eurotec 45° 8x400 mit OSB ZUG DRUCK	34,1	8.567,0	8.113,9	189,4	189,4	21,2	400,0	9.630,85	+ Sprödbruch
10	Eurotec 45° 8x400 mit OSB Kreuz	32,1	9.080,1	7.873,4	189,4	189,4	21,2	400,0	9.630,85	+ Sprödbruch

Nr.	Bezeichnung	Werte je Seite (je Kreuz)			Einbindelänge					Anmerkung
		Fmax	Kser	Ku	t1	t2	Fuge/OSB	Ges. L	Kser rechn.	
12a	Eurotec 8x260 Fugenversuche ohne Fuge	19,5	4.821,1	2.907,6	103,9	103,9	0,0	207,8	7.574,58	+ Abscheren Schr.
12b	Eurotec 8x260 Fugenversuche mit Fuge	14,8	3.179,8	2.106,9	103,9	103,9	34,6	242,4	7.574,56	+ Abscheren Schr.
12c	Eurotec 8x260 Fugenversuche Fuge Schaum	21,5	3.795,7	2.950,9	103,9	103,9	34,6	242,4	7.574,58	+ Abscheren Schr.

4.4.4 Interpretation der Verformungsparameter für Vollgewindeschrauben

Bei den Schraubenversuchen wurden vor allem die Auswirkungen von Zwischenschichten auf die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten von Vollgewindeschrauben betrachtet. Dabei kamen verschiedene Modellaufbauten welche geprüft wurden zum Einsatz.

Zusätzlich wurde je nach Schraubenhersteller der Verschiebungsmodul unter Gebrauchslast ermittelt und mit jenen aus den Versuchen gegenüber gestellt (siehe Tabelle 4-24).

Bei den Versuchen Nr.1 bis Nr.3 wurden jeweils drei Vollgewindeschrauben von unterschiedlichen Herstellern miteinander verglichen. Dabei konnte festgestellt werden, dass es bereits hier Abweichungen zu jenen aus der Zulassung gibt. So konnte der Verschiebungsmodul K_{ser} für die Schraube des Herstellers Schmid nicht berechnet werden, da in der Zulassung keine gültige Angabe darüber gemacht wird.

Die ermittelten Werte der Steifigkeiten stellen Prüfwerte dar. Eine Auswertung auf Basis der 5% Fraktilwerte wurde für die Verschiebungsmodule und die Tragfähigkeit nicht durchgeführt. Durch die Versuche Nr.5 bis Nr.7 konnten die Auswirkungen durch OSB Zwischenschichten festgestellt werden. Dabei kam es zu einer Abnahme des Verschiebungsmoduls K_{ser} um bis zu 25%. Auch die Bruchtragfähigkeit nahm bei diesen Versuchen ab.

Durch die überschätzten Steifigkeiten können bei Computerberechnungen Falschannahmen getroffen werden, da sich die Kräfte bei der Berechnung verschieben können. Darum wären zusätzliche Prüfungen mit Zwischenschichten von Vorteil.

Tritt ein sprödes Bruchverhalten auf (wie bei den Versuchen Nr.8 bis Nr.10), so kann beobachtet werden, dass der K_{ser} und der Verschiebungsmodul unter Traglast K_u fast ident sind. Zurückzuführen ist dies auf den relativ linearen Anstieg der Last- Verschiebungskurve bis zum plötzlichen Sprödbbruch.

Bei den schubsteif verbundenen Fugen konnten Werte gemessen werden, diese sind aber nicht mit den Werten aus den Zulassungen der Schraubenhersteller vergleichbar. Dazu müssten Versuchsproben mit mehreren Schraubenkreuzen geprüft werden. Ebenso müsste ein Versuchsaufbau bei welchem keine Versatzmomente auftreten können entworfen werden. Eine Abnahme der Tragfähigkeit und Steifigkeit der Stoßfugenverbindung mit dazwischenliegender Luft konnte jedoch auch beim Kleinversuch festgestellt werden.

4.5 Interpretation Gesamtversuche

4.5.1 Prüfszenario I - Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von Klammern und Schrauben

Ein großer Teil dieser Arbeit beschäftigte sich mit der Bestimmung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens der Einzelklammer bei Dachscheiben. Mithilfe von Normprüfungen für Klammerverbindungen konnten die wesentlichen Parameter unter verschiedenen Abhängigkeiten bestimmt werden. Somit wurden spezielle Geometrie- und Materialparameter variiert um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

Bereits durch die Vorversuche, welche sich ebenfalls mit den Klammerverbindungen beschäftigten, konnten wichtige Erkenntnisse über die Klammertagfähigkeit in Bezug auf den Zugseileffekt erkannt werden.

Im Anschluss an die Versuche wurden die 5% Fraktilwerte für die Tragfähigkeit und die Verformungsmodul berechnet. Die ausgewerteten Ergebnisse können somit für eine weiterführende Computermodellierung von Dachscheiben in Zukunft verwendet werden.

4.5.2 Prüfszenario II - Reihenwirkung von Klammern und Modellbildungen

Bei diesem Teil der Arbeit wurde versucht, mittels Kleinversuchen verschiedene Schubfelder zu erzeugen und deren Verhalten zu analysieren. So konnte auch das gleichmäßige Zusammenwirken von mehreren Klammern hintereinander beurteilt werden.

Ebenso wurde das Verformungsverhalten von Scheibenelementen bei nicht hinterlegten Stößen gezeigt und mit der konzentrierten Klammerung ein Lösungsansatz zur Übertragung der Störkräfte aufgezeigt.

4.5.3 Prüfszenario III - Verformungsverhalten von Vollgewindeschrauben

Durch den Einsatz von Vollgewindeschrauben im Holzbau kann, es durch die gewählten Anschlussdetails zu ungewollten Abnahmen der Tragfähigkeit und Steifigkeit kommen. Dies kann vor allem bei den Versuchen mit Zwischenschichten, welche nicht an der Lastabtragung beteiligt sind, gesehen werden. Auch Angaben von Steifigkeiten in den Zulassungen des Herstellers geben dazu keine Auskunft. Eine verringerte Steifigkeit tritt auch bei den geprüften Elementfugen mit Luft oder Schaum auf.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Scheibentragwerke können bei jeglichen Tragwerken zur Aussteifung und dem Abtragen der horizontalen Lasten herangezogen werden. Normen und technische Regelwerke stellen hierfür bestimmte Vorgaben über die Randbedingungen zur Verfügung.

Um in Zukunft für Scheibenmodellierungen mit Computerprogrammen exakte Tragfähigkeitswerte und Steifigkeiten für stiftförmige Verbindungsmittel je nach Belastung heranziehen zu können, wurden diese Werte mittels Versuchen geprüft und mit jenen aus Zulassungen und der Norm verglichen. Durch diese Scheibenmodelle können Gesamtsteifigkeiten von speziellen Dachelementen errechnet und für die Bemessung verwendet werden. Diese Berechnungen waren jedoch nicht Teil dieser Arbeit.

Die vorliegende Arbeit wurde in drei Hauptpunkte unterteilt. Diese stellen die verschiedenen Prüfscenarien dar. Dabei wurden für jedes Szenario verschiedene Probekörper mit einer unterschiedlichen Anordnung der stiftförmigen Verbindungsmittel geprüft. Die gewählten Verbindungsmittel welche untersucht wurden waren Klammern und Schrauben.

Der erste Teil der Prüfungen befasste sich sehr intensiv mit der Einzelklammerverbindung bei Dachelementen. Dabei wurde ein verwendeter Klammertyp unter verschiedenen Prüfanordnungen, welche einschnittig aufgebaut waren, auf Abscheren getestet. Die ermittelten charakteristischen Werte für die Tragfähigkeit wurden zusammengestellt und mit jenen der Norm verglichen. Dies geschah auch für die Verformungsmodule unter Gebrauchs- und Traglast.

Die wichtigsten Erkenntnisse vom ersten Prüfscenario sind die erhöhten Tragfähigkeiten welche auf den Zugseileffekt zurückzuführen sind. Dieser darf bei der Normberechnung nicht angesetzt werden. Weiters konnte ein Zusammenhang zwischen der Rohdichte der verwendeten Materialien und zwischen der Abscherkraft hergestellt werden. Die Auswertung des Verschiebungsmoduls für die Einzelklammer unter Gebrauchslast ergab eine größere Schwankungsbreite der Werte je nach Belastungsrichtung.

Ebenso wurden Trapezblech- Holz Verbindungen auf Abscheren getestet und die charakteristischen Werte zusammengestellt.

Im zweiten Teil der Prüfungen wurden die Einzelklammern bei verschiedenen Modellen eingesetzt und durch einfache Kleinversuche eine Scheibe mit Schubfeldern erzeugt. Hierfür wurden die Prüfkörper zusätzlich mithilfe eines Computerprogramms modelliert. Die zuvor im Prüfszenario 1 gewonnenen Ergebnisse der Tragfähigkeit und Steifigkeit für die Einzelklammer wurden für die Modellrechnung am Computer verwendet.

Die Prüfungen beschäftigten sich mit der Reihenwirkung von Einzelklammern und der Übertragung der Störkräfte bei fliegenden Plattenstößen. Ein Lösungsansatz für die Aufnahme dieser Kräfte stellt die mögliche Anordnung von konzentrierten Klammergruppen am Beplankungsrand dar.

Ein weiterer Punkt des zweiten Prüfszenarios war die Bestimmung der Kraftaufteilung zwischen oberer und unterer Elementbeplankung eines Dachelements bei exzentrischer Krafteinleitung in die Scheibe. Dabei konnte festgestellt werden, dass in jene OSB Platte, welche der Krafteinleitung am nächsten ist, etwa 60% der Scheibenkräfte aufnimmt.

Im dritten Teil der Versuche wurde das Verformungsverhalten von Vollgewindeschrauben für den Einsatz bei Scheibentragwerken analysiert. Durch Vergleichsprüfungen konnten Unterschiede am Trag- und Verformungsverhalten bei der möglichen Anordnung von Schichten zwischen den zu verbindenden Bauteilen erkannt werden.

So nimmt etwa die Tragfähigkeit und Steifigkeit von Schrauben durch den Einsatz von OSB Platten, welche als Beplankung für die Dachelemente dienen, wesentlich ab. Derselbe Effekt ist auch bei Zwischenschichten aus Luft bei der Elementfugenverschraubung zu erkennen.

Durch die Nichtbeachtung des Zugseileffektes wird die Tragfähigkeit bei Einzelklammern je nach Anwendungsfall deutlich unterschätzt. Durch unterschiedliche zusätzliche Prüfungen könnten diese Werte in den technischen Zulassungen aufgenommen werden. Ebenso stellen die Verformungsparameter für die Einzelklammer laut Norm relativ einfache Formeln ohne mechanischen Hintergrund dar. Durch die Versuche kann jedoch erkannt werden, dass der Verformungsmodul unter Gebrauchslast von vielen Faktoren abhängig ist und dieser somit in vielen Fällen unter- oder überschätzt wird.

Durch diese Falschannahmen kann es bei Strukturberechnungen zu erheblichen Schnittgrößenumlagerungen am System und so zu möglichen Fehlern oder Schäden kommen.

Die ermittelten Last- Verschiebungskurven mit den zugehörigen Tragfähigkeitswerten der Einzelklammern können zukünftig bei Computermodellrechnungen hinterlegt und mit Ergebnissen von Großversuchen verglichen werden.

Durch die Verwendung von zugelassenen Trapezblechen könnten zukünftig Dachscheiben in Kombination mit OSB Platten und Trapezprofilblechen hergestellt werden. Erste Ansätze dazu liefern die hierfür durchgeführten Verbindungsmittelversuche mit Bohrschrauben, welche auf Abscheren geprüft wurden.

Die Wirkungsweise und der Einfluss von fliegenden Plattenstößen mit konzentrierten Klammerungen lieferten bei den Kleinversuchen zufriedenstellende Ergebnisse. Diese können mit größeren Versuchen bestätigt werden und eine Vereinfachung für die Vorfertigung von Dachelementen darstellen.

Für die Verwendung von Vollgewindeschrauben ist auf deren Wirkungsweise in Bezug auf die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten bei Kraftweiterleitungen zu achten. Dies könnte durch größere Versuchsreihen geschehen, welche nach den gültigen Prüfnormen durchgeführt werden.

Ebenso wäre es von Vorteil, anstatt der Kleinversuche, welche nur einen geringen Einblick in das Verhalten von verbundenen Elementfugen erlauben, größere Versuche mit mehreren hintereinanderliegenden Schraubenkreuzen durchzuführen. Bei diesen könnten durch getroffene Annahmen die äußeren Einflüsse wie die Bildung von Versatzmomenten verringert werden. Somit könnte man deren Tragfähigkeiten im Zusammenhang mit Fugen genauer bestimmen.

Um die in dieser Arbeit untersuchten Teilgebiete und deren Zusammenwirken bei Scheibentragwerken besser darzustellen, könnten ebenso In-Situ-Messungen verbunden mit einem Langzeitmonitoring an bestehenden Dachkonstruktionen durchgeführt werden.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Dreigelenkrahmen als Hallenbinder mit Verbänden.....	4
Abbildung 2-2: Fachwerkbinder mit Verbänden.....	5
Abbildung 2-3: Satteldachbinder mit Dach- bzw. Wandscheiben	5
Abbildung 2-4 a/b: a) Stat. System einer Scheibe b) Stat. System, Scheibe aus drei Elementen	6
Abbildung 2-5: Schemazeichnung eines vorgefertigten Dachelements	7
Abbildung 2-6: Mögliche Anordnung von Rand- und Innenrippe	8
Abbildung 2-7: Beplankungsstoß mit freien Plattenrändern.....	9
Abbildung 2-8: Beplankungsstoß mit schubsteifen Plattenrändern und durchl. Rippe	9
Abbildung 2-9: Beplankungsstoß mit schubsteifen Plattenrändern mit Stoßholz	9
Abbildung 2-10: Ausführungsdetails von schubsteifen Beplankungsrändern.....	10
Abbildung 2-11: Explosionszeichnung einer Wandscheibe (Rippen, Beplankung, Verbindungsmittel)	11
Abbildung 2-12: Lochleibungsprüfung nach EN 383	12
Abbildung 2-13: Geometrieparameter bei Verbindungsmittel	12
Abbildung 2-14: Kraft-Weg Diagramm in Aghängigkeit der Einbringtiefe.....	13
Abbildung 2-15: Verbindung der Rippen durch Wellennägel	14
Abbildung 2-16: Schubfluss $s_{v,0}$ und $s_{v,90}$	16
Abbildung 2-17: Schubfluss zwischen Beplankung und Pfetten (Rippen)	16
Abbildung 2-18: Zerlegtes Scheibenelement - Rippen + Beplankung	17
Abbildung 2-19: Beanspruchung einer Verbindung von Beplankung mit Rippe	18
Abbildung 2-20: Ideales statisches Modell für Schubfelder	18
Abbildung 2-21: Teilaktivierte Dachscheibenfläche.....	20
Abbildung 2-22: Verteilerrippen bei Deckenscheiben	20

Abbildung 2-23: Elementverbindung mit Stoßbrett	22
Abbildung 2-24 a) und b): Fugenverschraubung mit Vollgewindekreuzen	22
Abbildung 2-25: Einschnittige Holz-Holz Verbindungen	25
Abbildung 2-26: Prüfaufbau lt. ÖNORM EN 1381	32
Abbildung 2-27: Konzentrierte Klammerung am freiem Plattenrand	33
Abbildung 2-28: Rissöffnungsarten	34
Abbildung 2-29: Querzugspannungen mittels FEM berechnet.....	36
Abbildung 3-1: Standardschnitt Dachelement Fa. Rubner, OSB-OSB und OSB-Trapezblech ..	38
Abbildung 3-2: Zwick Z250	42
Abbildung 3-3: Programmsoftware Catman	43
Abbildung 3-4: Vorversuch 1 - Einzelklammer	44
Abbildung 3-5: Skizze Vorversuche Einzelklammer 60°	45
Abbildung 3-6: Skizze Vorversuch Klammerrückenüberstand	46
Abbildung 3-7: Kraft-Verschiebungskurve Vorversuch 1	47
Abbildung 3-8: Kraft-Verschiebungskurven Vorversuch 2	47
Abbildung 4-1: Skizze Prüfkörper E_0_90_26891	52
Abbildung 4-2: Prüfaufbau Versuch E_0_90_26891	53
Abbildung 4-3: Belastungsverfahren nach ÖNROM EN 26891	54
Abbildung 4-4: Last- Verschiebungskurve E_0_90_26891_2	55
Abbildung 4-5: Teilausschnitt Last- Verschiebungskurve E_0_90_26891_2	55
Abbildung 4-6: Last- Verschiebungskurve E_0_90_1	58
Abbildung 4-7: Zusammenfassung Last-Verschiebungskurven E_0_90 Versuch 1-5	59
Abbildung 4-8: Skizze Prüfkörper E_0_90_18mm_OSB	61
Abbildung 4-9: Vergleich 15mm mit 18mm OSB Platte	62
Abbildung 4-10: Skizze Prüfkörper E_0_45	62
Abbildung 4-11: Mittelwert Last-Verschiebungskurven E_0_45	63

Abbildung 4-12: Zusammenstellung Last- Verschiebungskurven 0°	65
Abbildung 4-13a: Prüfkörper lt. ÖNROM EN 1381, b: Versuchsskizze E_90_90.....	65
Abbildung 4-14: Zusammenfassung Last- Verschiebungskurven E_90_90.....	66
Abbildung 4-15: Zusammenstellung Last- Verschiebungskurven 90°	68
Abbildung 4-16: Vergleiche Tragfähigkeitsparameter Einzelklammerversuche.....	72
Abbildung 4-17: Vergleiche Verschiebungsmodule Einzelklammerversuche.....	73
Abbildung 4-18: Versagensfälle nach <i>Johansen</i>	74
Abbildung 4-19: CT einer einschnittigen Klammerverbindung.....	74
Abbildung 4-20: Korrelation Abscherkraft - Rohdichte Elementrippe.....	77
Abbildung 4-21: Korrelation Abscherkraft - Rochdichte OSB	77
Abbildung 4-22: Korrelation Verschiebungsmodul k_s - Rochdichte Elementrippe	79
Abbildung 4-23: Korrelation Verschiebungsmodul k_s - Rochdichte OSB.....	79
Abbildung 4-24: Dachelement der Firma <i>Rubner</i> mit Trapezblechuntersicht.....	80
Abbildung 4-25: Prüfkörper mit Trapezblech und Bohrschraube.....	81
Abbildung 4-26: Zusammenfassung Last-Verschiebungskurven Trap_1x_+Schr	82
Abbildung 4-27: Zusammenfassung Last-Verschiebungskurven Trap_2x_+Schr	83
Abbildung 4-28: Vergleiche Trapezversuche mit Bohrschrauben.....	84
Abbildung 4-29: Trapezprofil mit Klammerbefestigung.....	85
Abbildung 4-30: Zusammenfassung Last-Verschiebungskurven Trap_1x_+Klammer.....	85
Abbildung 4-31: Zusammenfassung Mittelwerte Trapezblechversuche	87
Abbildung 4-32: Versuchskörper Mehrfachklammerung	88
Abbildung 4-33: Versuchsdurchführung Mehrfachklammerung.....	89
Abbildung 4-34: Versuchskörper fliegender Stoß.....	89
Abbildung 4-35: Last- Verschiebungskurven Mehrfachklammerung und fliegender Stoß	90
Abbildung 4-36: Versuchskörper konzentrierte Klammerung	91
Abbildung 4-37: Last- Verschiebungskurven konzentrierte Klammerung.....	91

Abbildung 4-38: FE Modellierung Mehrfachklammerung	92
Abbildung 4-39: FE Modellierung fliegender Stoß	93
Abbildung 4-40: FE Modellierung konzentrierte Klammerung	93
Abbildung 4-41: Versuchskörper exzentrische Krafteinleitung	94
Abbildung 4-42: Kraftmessung obere/untere OSB Platte	95
Abbildung 4-43: Kraftaufteilung in Prozent obere/untere OSB Prüfkörper 6	96
Abbildung 4-44: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.1 Würth 45°	97
Abbildung 4-45: Last- Verschiebungskurve Schraubenversuch Nr.1 Würth 45°	98
Abbildung 4-46: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.2 Schmid 45°	99
Abbildung 4-47: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.3 Eurotec 45°	100
Abbildung 4-48: Vergleiche Schraubenversuche Nr.1 - Nr.3	101
Abbildung 4-49: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.4 Eurotec 30°	102
Abbildung 4-50: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.5 Eurotec mit OSB 45°	103
Abbildung 4-51: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.6 Eurotec mit OSB 30°	104
Abbildung 4-52: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.7 "Real" Eurotec mit OSB 45°	105
Abbildung 4-53: Last- Verschiebungskurve Schraubenversuch Nr.7 Eurotec Real	105
Abbildung 4-54: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.8 "Real" Eurotec ohne OSB 45°	106
Abbildung 4-55: Durchführung Schraubenversuch Nr.8	106
Abbildung 4-56: Vergleich Last- Verschiebungskurve Nr.7 und Nr. 8	107
Abbildung 4-57: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.9 Eurotec mit OSB Zug-Druck 45°	107
Abbildung 4-58: Detailzeichnung Füllholz bei Dachelementstandard <i>Fa. Rubner</i>	108
Abbildung 4-59: Schraubenversuche – Nr.10 "Real" Eurotec mit OSB Kreuz 45°	109
Abbildung 4-60: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.11 2x45° ohne Fuge	110
Abbildung 4-61: Zusammenfassung Kraft-Verschiebungskurven 11a ohne Fuge	111
Abbildung 4-62: Schraubenversuche - Schemaskizze Nr.11 2x45° mit Fuge	112

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Verschiebungsmodule stiftförmiger Verbindungsmittel	31
Tabelle 3-1: Versuchsergebnisse Vorversuche	48
Tabelle 4-1: Versuche Prüfszenario 1.....	50
Tabelle 4-2: Versuche Prüfszenario 2.....	51
Tabelle 4-3: Versuche Prüfszenario 3.....	51
Tabelle 4-4: Ergebnisse Versuch E_0_90_26891_2	57
Tabelle 4-5: Ergebnisse E_0_90_26891	57
Tabelle 4-6: Ergebnisse E_0_90.....	59
Tabelle 4-7: Ergebnisse E_0_90_Fichte.....	60
Tabelle 4-8: Ergebnisse E_0_90_18mm_OSB	61
Tabelle 4-9: Ergebnisse E_0_45.....	64
Tabelle 4-10: Ergebnisse E_0_0.....	64
Tabelle 4-11: Ergebnisse E_90_90.....	67
Tabelle 4-12: Ergebnisse E_90_45.....	67
Tabelle 4-13: Ergebnisse E_90_0.....	68
Tabelle 4-14: Zusammenfassung Rohdichten und Holzfeuchten	69
Tabelle 4-15: Beispiele- Ermittlung charakteristische Werte E_0_90_26891 und E_0_90	70
Tabelle 4-16: Zusammenfassung Gesamtergebnisse Einzelklammerversuche	71
Tabelle 4-17: Berechnung der Klammertragfähigkeit lt. EC 5.....	75
Tabelle 4-18: Ermittlung charakteristische Werte Trapezblechversuche.....	86
Tabelle 4-19: Ergebnisse Nr.1 Würth 45°	99
Tabelle 4-20: Ergebnisse Nr.2 Würth 45°	100
Tabelle 4-21: Ergebnisse Nr.4 Eurotec 30°.....	102

Tabelle 4-22: Ergebnisse Nr.5 Eurotec 45° + OSB	104
Tabelle 4-23: Ergebnisse Nr.9 Eurotec 45° Zug/Druck	108
Tabelle 4-24: Ergebniszusammenfassung Verformungsverhalten Vollgewindeschrauben ..	113

8 Literaturverzeichnis

Borth, O. 2002. *Abschätzung der Tragfähigkeit von Queranschlüssen an Trägern aus Voll- und Brettschichtholz im Rahmen der Linear-Elastischen Bruchmechanik.* Weimar : Dissertation, 2002.

Colling, F. 2011. *Aussteifung von Gebäuden in Holztafelbauweise.* Karlsruhe : Ingenieurbüro Holzbau, 2011.

Cordes, T. 2013. *Mechanische Eigenschaften von Grenzschichten zwischen zementgebundenen Materialien.* Leopold-Franzens-Universität Innsbruck : s.n., 2013.

DIN1052. 2008-12-00. *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Holzbau.* 2008-12-00.

Ehlbeck, J. 1993. *Bewertung eines neuen Bemessungskonzeptes für ausgeklinkte Träger auf der Grundlage der Bruchmechanik.* Stuttgart : IRB Verlag, 1993.

ETA-11/0190. 2013-2018. *Europäische Technische Zulassung, Selbstbohrende Schrauben als Holzverbindungsmitel.* Deutschland : Zulassung, 2013-2018.

G. Hochreiner, Th. K. Bader, K.de Borst, J. Eberhardsteiner. 2013. *Stiftförmige Veribindungsmittel im EC5 und baustatische Modellbildung mittels kommerzieller Statiksoftware.* *Bauingenieur.* 2013, Bd. 88, Juni.

G. Schickhofer, M. Augustin, G. Jeitler. 2007. *Einführung in die Verbindungstechnik mit Stabdübeln, Schrauben und eingeklebten Stahlstangen. [Buchverf.] 6. Grazer Holzbau-Fachtagung. Verbindungstechnik im Ingenieurholzbau.* Graz : Institut für Holzbau und Holztechnologie, 2007.

Johansen, K.W. 1949. *Theory of Timber Connections.* Bern, Schweiz : International Association of Bridge and Structural Engineering, 1949. Publication No. 9:249-262.

Kessel, M. H. SS 2010. *Vorlesung Holztafelbau.* Braunschweig : Institut für Baukonstruktion und Holzbau, SS 2010.

Kolbitsch, A. 2009. *Baukonstruktionen Teil 2.* Wien : Vorlesungsunterlagen, 2009.

Mischler, A. 1998. *Bedeutung der Duktilität für das Tragverhalten von Stahl-Holz-Bolzenverbindungen.* ETH Zürich : Dissertation, 1998. Nr.12561.

ÖNORM EN, 12369-1. :2001-04-01. *Charakteristische Werte für die Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken, Teil 1: OSB, Spanplatten und Faserplatten.* :2001-04-01.

ÖNORM EN, 1381. :1999-11-01. *Holzbauwerke - Prüfverfahren - Tragende Klammerverbindungen.* :1999-11-01.

ÖNORM EN, 14358. :2013-10-01. *Holzbauwerke- Berechnung der charakteristischen 5%-Quantile und Mittelwerte für Erstprüfung und werkseigene Produktionskontrolle.* :2013-10-01.

ÖNORM EN, 1995-1-1. :2009-07-01. *Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1 Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau (konsolidierte Fassung).* :2009-07-01.

ÖNORM EN, 26891. :1991-08-01. *Holzbauwerke, Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln, Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens.* :1991-08-01.

ÖNORM EN, 383. 1993-10-01. *Holzbauwerke - Prüfverfahren - Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit und Bettungswerte für stiftförmige Verbindungsmittel.* 1993-10-01.

ÖNORM EN, 300. :2006-09-01. *Platten aus langen, flachen, ausgerichteten Spänen (OSB) - Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen.* :2006-09-01.

Schmid, M. 2002-11-08. *Anwendung der Bruchmechanik auf Verbindungen mit Holz.* Karlsruhe : Dissertation, 2002-11-08.

Schnell, W und Czerwenka, G. 1967. *Einführung in die Rechenmethoden des Leichtbaus.* Mannheim : Bibliographisches Institut, Hochschultaschenbücher Verlag, 1967.

Thommen, D. 2009. *Aussteifung von Hallenkonstruktionen mittels vorgefertigter Leichtbaudachelemente.* Biel, Schweiz : Bachelor Thesis, 2009.

Werner, G. und Zimmer, K. 2010. *Holzbau 2, Dach und Hallentragwerke nach DIN 1052.* Dresden : Springer, 2010.