

# Überprüfung und Optimierung der Regelungen für streifen- und plattenförmige Schraubpress- verklebungen in ÖNORM B-1995-1-1

M-4-01/2019



**Hannes Fürst**

Institut für Holzbau und Holztechnologie  
Technische Universität Graz



Hannes Matthias Fürst, BSc.

# **Überprüfung und Optimierung der Regelungen für streifen- und plattenförmige Schraubpressverklebungen in ÖNORM B 1995-1-1**

## **MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Begutachter

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer  
Institut für Holzbau und Holztechnologie

Betreuer

DI Katarina Bratulič  
holz.bau forschungs gmbh

DI Manfred Augustin  
holz.bau forschungs gmbh

Graz, Jänner 2019



# EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

## AFFIDAVIT

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

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

---

Datum / Date

---

Unterschrift / Signature





# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich speziell während meines Studiums und dem Verfassen dieser Arbeit unterstützt haben.

Für die zugekommene finanzielle Unterstützung bei der Erstellung dieser Masterarbeit darf ich mich beim Österreichischen Ingenieurholzbauverband (IHBV) für die Finanzierung der Material- und Prüfkosten und beim Fachverband der Holzindustrie Österreichs für die Übernahme eines unterstützenden Beitrages bedanken.

Dank für die Zurverfügungstellung der in dieser Arbeit verwendeten Schrauben geht zu dem an die Tenz GmbH und an die Würth Handelsges.m.b.H.

Auf Seiten der Universität gilt mein Dank vor allem Herrn Univ. Prof. Dr. techn. Dipl. –Ing. Gerhard Schickhofer. Im Zuge verschiedener Lehrveranstaltungen hat er mein persönliches und berufliches Interesse am Holz (-Werkstoff) geweckt.

Ausdrücklich möchte ich mich bei Herrn Dipl. –Ing. Manfred Augustin bedanken, der mich auf die Thematik dieser Arbeit aufmerksam machte. Zusammen mit Frau Dipl. –Ing Katarina Bratulič hat er mir immer wieder „unterschiedliche“ Herangehensweisen und Lösungswege gezeigt und mich mit seinem (Allgemein-) Wissen fasziniert.

Generell gilt mein Dank dem gesamten Team der holz.bau forschungs gmbh für das angenehme Miteinander. Bei Herrn Bernd Heissenberger möchte ich mich für die Unterstützung der experimentellen Untersuchungen und den damit verbundenen Vorbereitungsmaßnahmen bedanken.

Ein spezieller Dank geht an meine Kollegen/innen des Geotechnik Zeichensaals. Durch die unzähligen Lernstunden und Diskussionen aber auch das gemeinsame Feiern bleibt mir diese Zeit unvergessen.

Ein großer Dank geht an meine Eltern, meine Schwester und meinen Bruder. Durch die finanzielle Unterstützung und den familiären Zusammenhalt war es möglich mein Studium abzuschließen.

Zu guter Letzt bedanke ich mich bei meiner Freundin Judith für die ununterbrochene Ermutigung, die verständnisvolle Nachsicht und den sicheren Rückhalt den sie mir während meiner Studienzeit zugesprochen hat.



# Kurzfassung

Die Schraubpressverklebung (SPV) findet im Holzbau Anwendung für die Verklebung von Voll- und/oder Brettschichtholzquerschnitten und/oder Holzwerkstoffen zu leistungsfähigen lastabtragenden Baukomponenten (z. B. zu Rippen- und Kastenquerschnitten oder Elementen des Holzleichtbaus). Eine weitere Anwendung sind Verstärkungsmaßnahmen nicht mehr ausreichend tragfähiger Bauteile oder im Bereich lokal hoch beanspruchter Bereiche (z. B. von Durchbrüchen). Der zum Verkleben erforderliche Pressdruck wird dabei mittels Holzbauschrauben in einem definierten Raster aufgebracht.

Das Ziel der vorliegenden Masterarbeit besteht in der kritischen Betrachtung und Optimierung der aktuellen Regelungen zur Schraubpressverklebung in ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1]. Die dort festgelegten Regelungen sehen eine, den Schraubenabstand parallel und rechtwinklig zur Decklagenrichtung determinierende, maximale Einflussfläche pro Schraube von max. 15.000 mm<sup>2</sup> vor. Gleichzeitig ist die Dicke des aufzuklebenden Fügeteils limitiert und es wird nicht nach dem Typ des verwendeten Produktes unterschieden. Die Regelungen sind empirisch festgelegt und es fehlt damit ein Nachweismodell zur differenzierten Berücksichtigung beeinflussender Parameter.

Im Zuge dieser Masterarbeit wurden, als Basis für weitere Betrachtungen, rund 700 Einzelprüfungen zur Ermittlung des Kopfdurchziehparameter für Schrauben mit Senk- und Tellerkopf und unterschiedliche Holz und Holzwerkstoffe (ein- und dreischichtige Massivholzplatten, Baufurnier-schichtplatten aus Fichte und Buche sowie OSB) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Differenzierung zwischen Senk- und Tellerkopfschrauben sowie für die einzelnen Produkte aus Fichte nicht erforderlich ist. Die Ergebnisse für Baufurnierschichtholz aus Buche und OSB unterscheiden sich demgegenüber signifikant und sind auch von der Dicke des aufgetragenen Holzwerkstoffes abhängig. Der charakteristische Wert des Kopfdurchziehparameters hängt weiters von der Auswertemethode ab. Das in EN 1383 festgelegte Auswerteverfahren liefert zum einen für die SPV ungeeignete Kenngrößen und ist zum anderen stark von strukturellen Merkmalen des geprüften Produktes abhängig.

Zur Optimierung der Schraubenabstände für streifen- und plattenförmige Schraubpressverklebungen wurden weiters rund 300 Scherprüfungen an Kleinprüfkörpern mit unterschiedlichem Schraubenraster für ein- und dreischichtige Massivholzplatten unterschiedlicher Dicke und Schraubenkopfdurchmesser und -typen durchgeführt. Als Klebstoff diente ein 1K-Polyurethan Klebstoff. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Erhöhung der Einflussfläche pro Schraube von bis zu rund 200%, bezogen auf die aktuell normativ festgelegte max. Fläche, ohne wesentlichen Einfluss auf die Scherfestigkeit und den Faserbruchanteil der Klebefläche, aber auch der Klebefugendicke bleibt.

Den Abschluss dieser Masterarbeit bildet der Vorschlag für ein, auf einem elastisch gebetteten Balken aufgebautes, Nachweismodell der Schraubpressverklebung unter Verwendung der zuvor ermittelten Kopfdurchziehkräfte und einem einzuhaltenden rechnerischen Mindestpressdruckes für die Verklebung. Mit Hilfe dieses Modells gelingt es, eine nach Produkt und Dicke des aufzuklebenden Fügeteils sowie des erforderliche Schraubenkopfdurchmesser und eines Mindestpressdruckes differenzierte, Abstufung der Schraubenabstände parallel und rechtwinklig zur Decklagenrichtung in tabellarischer Form anzugeben. Die Ergebnisse der Masterarbeit bilden die Basis für den Vorschlag einer verbesserten Regelung der SPV in der Neufassung von ÖNORM B 1995-1-1 [1].

# Abstract

Screw-press gluing (SPG) is used in timber engineering for the gluing of solid and/or glulam timber cross-sections and/or wood engineered products to high-performance load-carrying building components (e.g. ribbed plates and box cross-sections or lightweight timber elements). Another application is the reinforcement for members that are no longer sufficiently load-bearing or in areas subject to high local stresses (e.g. openings). The required gluing-pressure is thereby applied in a defined grid by means of partially und fully self-tapping timber screws.

The aim of this master thesis is the critical examination and optimization of the current rules for screw- press gluing in ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1]. The regulations laid down there limit the influencing area per screw of to 15,000 mm<sup>2</sup>, which determines the screw spacing parallel and perpendicular to the top layer orientation. At the same time, the thickness of the adhered part is limited and no distinction is made regarding the type of timber product used. The regulations are empirically determined and therefore a verification model for the differentiated consideration of influencing parameters is missing.

In the course of this master thesis, as a basis for further considerations, around 700 individual tests were carried out to determine the head pull-through parameter for screws with countersunk and washer heads, as well as for the various wood and engineered wood products (single- and three-layer solid wood panels, veneer plywood panels made of spruce and beech as well as OSB). The results show that it is not necessary to differentiate between countersunk and washer head screws and for the individual spruce products. In contrast, the results for construction veneer plywood made of beech and OSB differ significantly and also depend on the thickness of the wood-based product applied. The characteristic value of the head pull-through parameter also depends on the evaluation method. The evaluation method defined in EN 1383 provides on one hand parameters unsuitable for the SPG and on the other is strongly dependent on structural characteristics of the tested product.

In order to optimize the screw spacing for strip and panel-shaped screw press gluing, about 300 shearing tests were performed on small test specimen with different screw grids for single- and three-layer solid wood panels of different thicknesses and screw head diameters and types. The adhesive used was a 1K polyurethane adhesive. The results show that an increase in the influencing area per screw of up to about 200%, relative to the currently normatively defined maximum surface area, has no significant effect on the shear strength, on the percentage of the wood fibre failure, on the shear surface nor on the bond line thickness.

The final part of this master thesis deals with a proposal for a verification model of screw-press gluing, based on an elastically bedded beam, using the previously determined head pull-through forces and a evenly distributed minimum gluing-pressure to be maintained. With the aid of this model, it is possible to specify screw spacings parallel and perpendicular to the orientation of the cover layer, considering the type of applied wood product, the thickness of the part to be bonded, as well as the required screw head diameter and a minimum pressure in tabular form. The results of this master thesis form the basis for the proposal of improved rules for SPG in the new version of ÖNORM B 1995-1-1 [1].

# Inhaltsverzeichnis

<b>KAPITEL 1: EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1-1 MOTIVATION DER ARBEIT .....	1
1-2 AUFBAU DER ARBEIT .....	3
<b>KAPITEL 2: SCHRAUBPRESSVERKLEBUNG</b> .....	<b>5</b>
2-1 SYSTEMKOMPONENTEN DER SPV .....	5
2-1.1 Allgemeines .....	5
2-1.2 Grundsätzliches zu den Systemkomponenten .....	5
2-2 ANWENDUNGSBEREICHE DER SCHRAUBPRESSVERKLEBUNG .....	16
2-3 STAND DES WISSENS UND DER TECHNIK .....	19
2-3.1 Verfügbare Literaturstellen.....	19
2-3.2 Normative Regelungen zur Schraubpressverklebung in ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1]25	
2-3.3 Grundsätzliche wissenschaftliche Frage im Zusammenhang mit der Schraubpressverklebung.....	27
<b>KAPITEL 3: QUALITÄTSMANAGEMENT</b> .....	<b>28</b>
3-1 WAS IST QUALITÄT? .....	28
3-2 QUALITÄTSMANAGEMENT .....	28
3-3 QUALITÄTSKONTROLLE IM ZUSAMMENHANG MIT DER SCHRAUBPRESSVERKLEBUNG .....	29
3-4 QUALITÄTSSICHERUNG .....	31
3-4.1 Vor der Verklebung .....	32
3-4.2 Während der Verklebung .....	32
3-4.3 nach der Verklebung.....	32
<b>KAPITEL 4: VERWENDETE MATERIALIEN/BAUSTOFFE UND PRODUKTE</b> .....	<b>36</b>
4-1 VERWENDETE MATERIALIEN/BAUSTOFFE UND PRODUKTE.....	36
4-1.1 Holz .....	36
4-1.2 Holzfeuchte.....	39
4-1.3 Quellen und Schwinden.....	41
4-1.4 Rohdichte.....	42
4-1.5 Holztechnologische Einflüsse bei der Prüfung des Kopfdurchziehparameter.....	43
4-2 HOLZWERKSTOFFE .....	46
4-3 KLEBSTOFF .....	50
4-4 SCHRAUBEN .....	51
<b>KAPITEL 5: METHODE</b> .....	<b>53</b>
5-1 PRÜFDEFINITION .....	53
5-1.1 Prüfziel .....	53
5-1.2 Schraubenkopfdurchziehprüfungen .....	53
5-1.3 Scherprüfungen.....	55
5-1.4 Geräte .....	57

5-1.5	Vorbereitung bzw. Herstellung der Prüfkörper.....	60
5-2	PRÜFSERIEN .....	65
5-2.1	Bezeichnungssystematik .....	65
5-2.2	Vorversuche .....	65
5-2.3	Kopfdurchziehprüfungen der Hauptprüfungen.....	67
5-2.4	Scherprüfungen .....	73
5-3	PRÜFAUSWERTUNG.....	75
5-3.1	Kopfdurchziehprüfungen .....	75
5-3.2	Scherprüfungen.....	80
5-3.3	Ergebnisdarstellung.....	81
<b>KAPITEL 6: ERGEBNISSE .....</b>		<b>82</b>
6-1	ERGEBNISSE DER VORVERSUCHE.....	82
6-1.1	Kopfdurchziehen – Tabellarische Zusammenfassung .....	82
6-2	ERGEBNISSE DER HAUPTPRÜFUNGEN .....	84
6-2.1	Ergebnisse der Kopfdurchziehprüfungen mit Senkkopfschrauben .....	84
6-2.2	Ergebnisse der Kopfdurchziehprüfungen mit Tellerkopfschrauben .....	92
6-2.3	Ergebnisse der Scherprüfungen .....	97
6-2.4	Scherfestigkeit .....	100
6-2.5	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke.....	105
<b>KAPITEL 7: INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....</b>		<b>111</b>
7-1	VORVERSUCHE .....	111
7-1.1	Vorversuche mit Tellerkopfschrauben.....	111
7-1.2	Zusammenhänge zwischen einzelnen Kenngrößen .....	115
7-2	HAUPTPRÜFUNGEN .....	117
7-2.1	Kopfdurchziehfestigkeit von Senkkopfschrauben .....	117
7-2.2	Kopfdurchziehfestigkeit von Tellerkopfschrauben.....	120
7-2.3	Scherprüfungen.....	123
7-3	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE .....	125
7-3.1	Kopfdurchziehprüfungen .....	125
7-3.2	Scherprüfungen.....	130
<b>KAPITEL 8: THEORETISCHER ANSATZ ZUR BERECHNUNG DER SPV .....</b>		<b>132</b>
8-1	EINLEITUNG/ALLGEMEINES.....	132
8-2	ORTHOTROPE ELASTISCH GEBETTETE PLATTE .....	133
8-2.1	Plattengleichung   orthotrop .....	133
8-2.2	Plattengleichung   orthotrop, drillweich.....	133
8-2.3	Plattengleichung   orthotrop, elastisch gebettet.....	135
8-2.4	Plattengleichung   orthotrop, elastisch gebettet, drillweich.....	135
8-3	ELASTISCH GEBETTETER BALKEN.....	135
8-3.1	Balkentheorie .....	135

---

8-3.2	Differentialgleichung   Stab.....	136
8-3.3	Differentialgleichung   elastisch gebetteter Bernoulli-Euler Stab .....	138
8-3.4	Bestimmung der Bettungsziffer.....	144
8-3.5	Mindestpressdruck.....	148
8-3.6	Vorverformung/Verdrehungen der Fügeiteile .....	150
8-3.7	Beispiel 1 .....	151
8-3.8	Beispiel 2 .....	153
<b>KAPITEL 9: ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>		<b>155</b>
9-1	ZUSAMMENFASSUNG .....	155
9-2	SCHLUSSFOLGERUNG  ..... <b>FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.</b>	
9-3	AUSBLICK.....	159





# KAPITEL 1: EINLEITUNG

## 1-1 MOTIVATION DER ARBEIT

---

Der natürlich gewachsene, nachhaltig genutzte Roh- und Werkstoff Holz zeichnet sich in seiner Anwendung durch seine ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften und Bearbeitbarkeit, aber auch seine ästhetischen Eigenschaften und seine Lebendigkeit der Oberfläche aus. Holz ist in weiten Teilen der Erde in ausreichender Menge verfügbar, ist vielerorts ein wichtiger Wirtschaftsfaktor und trägt, im verbauten Zustand, zur Speicherung von Kohlendioxid CO<sub>2</sub> bei.

Zur Erreichung eines abgeschlossenen Bildes sollten in diesem Zusammenhang aber auch nachteilige Eigenschaften, wie seine stark ausgeprägte Richtungsabhängigkeit (Anisotropie) einer Reihe physikalischer, insbesondere mechanischer Eigenschaften, Herausforderungen mit der Dauerhaftigkeit im Falle unsachgemäßer Anwendung und dessen prinzipieller Brennbarkeit genannt werden.

Die „Rohstoffquelle“ Baum wächst in der Natur in baum- bzw. holzartspezifischen Abmessungen. Die Abmessungen der daraus erzeugten (Schnitt-) Holzprodukte sind für viele technischen Anwendungen nicht ausreichend. Einerseits besteht zur Beseitigung dieses Umstandes die Möglichkeit Produkte mit entsprechenden Abmessungen durch Addition von Grundelementen (z. B. Brettern) und geeignete Fügung (z. B. Keilzinken) herzustellen, wie dies bei wichtigen Holzbauprodukten wie Brettschichtholz (BSH) und Brettsperrholz (BSP) der Fall ist. Andererseits besteht eine besondere Herausforderung, und ist damit eine Grundaufgabe, des Holzbaus darin, Holzbauteile möglichst leistungsfähig zu Bauteilen mit größeren Abmessungen mittels geeigneter Verbindungstechniken zu verbinden. Holzbauprodukte werden in stationären Produktionsanlagen hergestellt und müssen, zum Ort ihrer späteren Verwendung, transportiert werden. Die damit einhergehenden Beschränkungen in den Abmessungen stellen in der Praxis ebenfalls oftmals eine Herausforderung dar.

In dieser Masterarbeit werden normative Regelungen zur sogenannten „Schraubpressverklebung“ (SPV) einer eingehenden, kritischen Betrachtung und Optimierung unterzogen. Diese findet im Holzbau Anwendung für die Verklebung von Voll- und/oder Brettschichtholzquerschnitten und/oder Holzwerkstoffen zu leistungsfähigen lastabtragenden Baukomponenten (z. B. zu Rippen- und Kastenquerschnitten oder Elementen des Holzleichtbaus). Eine weitere Anwendung sind Verstärkungsmaßnahmen nicht mehr ausreichend tragfähiger Bauteile oder im Bereich lokal hoch beanspruchter Bereiche (z. B. von Durchbrüchen). Der zum Verkleben erforderliche Pressdruck wird dabei mittels Holzbauschrauben in einem definierten Raster aufgebracht.



**Abbildung 1-1:** *Schraubpressverklebung einer Rippenplatte (li) und Prüfung eines schraubpressverklebten Verstärkung eines kreisrunden Durchbruchs in einem Brettschichtholz-Träger (re)*

Das Ziel der vorliegenden Masterarbeit besteht in der kritischen Betrachtung und Optimierung der aktuellen Regelungen zur Schraubpressverklebung in ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1]. Die dort festgelegten Regelungen sehen eine, den Schraubenabstand parallel und rechtwinklig zur Decklagenrichtung determinierende, maximale Einflussfläche pro Schraube von max. 15.000 mm<sup>2</sup> vor. Gleichzeitig ist die Dicke des aufzuklebenden Fügeteils limitiert und es wird nicht nach dem Typ des verwendeten Produktes unterschieden. Die Regelungen sind empirisch festgelegt und es fehlt damit ein Nachweismodell zur differenzierten Berücksichtigung beeinflussender Parameter.

Im Zuge dieser Masterarbeit wurden, als Basis für weitere Betrachtungen, rund 800 Einzelprüfungen zur Ermittlung des Kopfdurchziehparameter für Schrauben mit Senk- und Tellerkopf und unterschiedliche Holz und Holzwerkstoffe (ein- und dreischichtige Massivholzplatten, Baufurnier-schichtplatten aus Fichte und Buche sowie OSB) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Differenzierung zwischen Senk- und Tellerkopfschrauben sowie für die einzelnen Produkte aus Fichte nicht erforderlich ist. Die Ergebnisse für Baufurnierschichtholz aus Buche und OSB unterscheiden sich demgegenüber signifikant und sind auch von der Dicke des aufgetragenen Holzwerkstoffes abhängig. Der charakteristische Wert des Kopfdurchziehparameters hängt weiters von der Auswertemethode ab. Das in ÖNORM EN 1383 [2] festgelegte Auswerteverfahren liefert zum einen für die SPV ungeeignete Kenngrößen und ist zum anderen stark von strukturellen Merkmalen des geprüften Produktes abhängig.

Zur Optimierung der Schraubenabstände für streifen- und plattenförmige Schraubpressverklebungen wurden rund 300 Scherprüfungen an Kleinprüfkörpern mit unterschiedlichem Schraubenraster für ein- und dreischichtige Massivholzplatten unterschiedlicher Dicke und Schraubenkopfdurchmesser und -typen durchgeführt. Als Klebstoff diente ein 1K-Polyurethan Klebstoff. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Erhöhung der Einflussfläche pro Schraube von bis zu rund 200%, bezogen auf die aktuell normativ festgelegte max. Fläche, ohne wesentlichen Einfluss auf die Scherfestigkeit und den Faserbruchanteil der Klebefläche, aber auch der Klebefügendicke bleibt.

Den Abschluss dieser Masterarbeit bildet der Vorschlag für ein, auf einem elastisch gebetteten Balken aufgebautes, Nachweismodell der Schraubpressverklebung unter Verwendung der zuvor ermittelten Kopfdurchziehkräfte und einem einzuhaltenden rechnerischen Mindestpressdruckes für die Verklebung. Mit Hilfe dieses Modells gelingt es, eine nach Produkt und Dicke des aufzuklebenden Fügeteils sowie des erforderliche Schraubenkopfdurchmesser und eines Mindestpressdruckes differenzierte, Abstufung der Schraubenabstände parallel und rechtwinklig zur Decklagenrichtung in tabellarischer Form anzugeben. Die Ergebnisse der Masterarbeit bilden die Basis für den Vorschlag einer verbesserten Regelung der SPV in der Neufassung von ÖNORM B 1995-1-1 [1].

## **1-2 AUFBAU DER ARBEIT**

---

Die vorliegende Arbeit lässt sich im Wesentlichen in folgende Kapitel gliedern.

### **Kapitel 1: Einleitung**

Zu Beginn werden die Motivation und das Ziel dieser Arbeit beschrieben. Außerdem wird auf die Gliederung der Arbeit eingegangen.

### **Kapitel 2: Allgemeines zur Schraubpressverklebung**

Es wird die Verbindungstechnik der Schraubpressverklebung (SPV) näher erklärt. Dabei werden neben dem Anwendungsbereich der SPV und den dafür notwendigen Systemkomponenten, auch die Herstellung und aktuelle Regelungen nach ÖNORM B 1995-1-1:15 besprochen. Außerdem wird mit Hilfe verschiedener Literaturquellen auf den Stand der Technik sowie dem Stand des Wissens eingegangen.

### **Kapitel 3: Material**

Neben dem Roh- und Werkstoff Holz als Ausgangsmaterial und dessen Besonderheiten wie etwa die Rohdichte oder die Holzfeuchte, werden die verwendeten Holzwerkstoffen, der Klebstoff und die beanspruchten Schrauben, welche in dieser Arbeit untersucht wurden, beschrieben.

### **Kapitel 4: Qualitätsmanagement**

In Kapitel 4 dieser Arbeit werden das Prinzip des Qualitätsmanagements und damit einhergehende, wichtige Begriffe besprochen. Es werden Methoden zur Bestimmung der Qualität einer Klebeverbindung vorgestellt und qualitätssichernde Maßnahmen erläutert, welche als Basis für schraubpressverklebte Bauteile dienen.

Es wird auch die Problematik der Qualitätsüberprüfung einer Klebeverbindung angesprochen.

### **Kapitel 5: Prüfmethode**

In diesem Kapitel wird der empirische Teil dieser Masterarbeit erläutert. Im Wesentlichen wird auf die Definitionen der Kopfdurchziehprüfungen und der Scherprüfungen eingegangen. Es werden die Prüfmethode der Vorversuche und der Hauptversuche erläutert. In diesem Zusammenhang werden die verwendeten Materialien, die Prüfgeräte sowie die Vorbereitung bzw. Herstellung der Probekörper erklärt.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in diesem Kapitel die Prüfserien sämtlicher Schraubkopfdurchzieh- und Scherprüfungen erklärt und kompakt dargestellt. Ein wichtiger Teil dieses Kapitels stellt die Auswertung der Prüfdaten dar, welche aufgrund einer alternativen Auswertemethode für die Bestimmung der Kopfdurchziehfestigkeit ausführlich erklärt wird.

### **Kapitel 6: Ergebnisse**

Es werden die gewonnenen Daten ausgewertet und anhand von Tabellen und Grafiken veranschaulicht. Aufgrund der chronologischen Reihenfolge der experimentellen Untersuchungen werden zunächst die Ergebnisse der Schraubkopfdurchziehprüfungen gezeigt. Dabei wird der Kopfdurchziehparameter beispielsweise in Abhängigkeit von der Rohdichte oder des Schraubkopfdurchmessers gebracht.

Die Ergebnisse aus den Scherprüfungen werden ebenso durch Einbeziehen verschiedener Aspekte besprochen. Dabei wird speziell auf den Schraubenabstand, den Faserbruchanteil und die Klebefugendicke eingegangen.

Im Anhang dieser Arbeit werden zusätzliche Bilder, Grafiken und Tabellen der geprüften Serien gezeigt.

**Kapitel 7: Interpretation der Ergebnisse**

In diesem Kapitel werden die abgeleiteten Erkenntnisse des empirischen Teils diskutiert. Es werden die Ergebnisse der Vorversuche, des Kopfdurchziehparameters sowie der Scherfestigkeit besprochen. Speziell die Kopfdurchziehfestigkeit wird anhand von Prüfdaten aus unterschiedlichen Literaturquellen kritisch betrachtet.

**Kapitel 8: Theoretischer Ansatz zur Berechnung der Schraubpressverklebung**

Der theoretisch entwickelte Ansatz dieses Kapitels, stellt eine mögliche Herangehensweise zur Berechnung der Schraubpressverklebung dar. Dabei werden die Schraubenabstände in x- und y- Richtung bestimmt. Als Basis dient hier die Differentialgleichung der orthotropen Platte, welche in einigen Schritten zum vereinfachten System eines elastisch gebetteten Balkens führt. Unter Verwendung dieses Modells und den Angaben der Materialkenngrößen lassen sich in diesem Kapitel auch Beispiele mit realistischen Zahlenwerten finden.

**Kapitel 9: Zusammenfassung und Ausblick**

In Kapitel 9 werden die wichtigsten Erkenntnisse dieser Arbeit zusammengefasst und erklärt. Es wird ein Ausblick gegeben, welche weiteren Schritte aus jetziger Sicht für die Verbindungstechnik der Schraubpressverklebung notwendig sind.

## KAPITEL 2: SCHRAUBPRESSVERKLEBUNG

Im vorliegenden Kapitel wird die Schraubpressverklebung als Möglichkeit zur Fügung von Holzbauteilen oder zur Anwendung als Verstärkungsmaßnahmen vorgestellt und erläutert.

### 2-1 SYSTEMKOMPONENTEN DER SPV

#### 2-1.1 ALLGEMEINES

Um eine Schraubpressverklebung ausführen zu können, benötigt man vier Komponenten bzw. Baustoffe (Abbildung 2-1). Zunächst bedarf es eines **Basisbauteils (2)** und eines **aufzuklebenden Fügebauteils (1)**, welche in weiterer Folge kraftschlüssig miteinander verbunden werden sollen. Dazu dient, als Verbindungsmittel im eigentlichen Sinn, ein den Anforderungen genügender **Klebstoff (3)**. Bei Vorliegen einer ausreichend ebenen Oberfläche der Fügebauteile soll die Klebefugendicke nachweislich  $\leq 0,3$  mm betragen, dann ist die Verwendung von nach EN 301 oder EN 302 geprüften und zugelassenen Klebstoffen möglich oder es sind Klebstoffe mit fugenfüllenden Eigenschaften mit Klebstoffdicken von 1 bis 2 mm erforderlich. Prinzipiell kann die Verklebung der Fügebauteile auch mit hydraulischen Pressen oder mittels Vakuumpressen erfolgen. Diese sind jedoch vielfach sowohl technisch als auch wirtschaftlich unattraktiv bzw. zu umständlich, sodass eine gängige Methode darin besteht den erforderlichen Pressdruck mittels Nagel-, oder zeitgemäßer, mittels Holzbauschrauben zu erzeugen. Die Aufgabe der eingebrachten **Schrauben**, der vierten Komponente der SPV, besteht darin den, zur Erzeugung einer ausreichenden Verklebung erforderlichen, über die Einflussfläche pro Schraube möglichst konstanten Pressdruck während der Zeit der Aushärtung des Klebstoffes zuverlässig aufzubringen. In Abhängigkeit von Schraubenparametern, insbesondere des Kopfdurchmessers  $d_{\text{head}}$ , sind die Schrauben in einem Abstand bzw. Raster anzuordnen, der den erforderlichen Pressdruck sicherstellt. Nach der Aushärtung können die Schrauben bei Bedarf aus dem gefügten Bauteilen herausgedreht werden oder auch in diesem verbleiben.

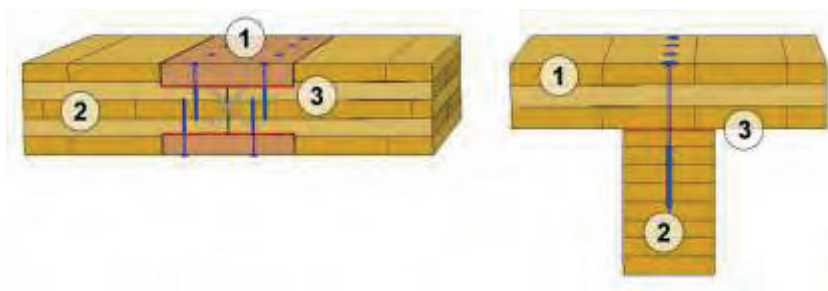


Abbildung 2-1: Symbolbild der Systemkomponenten [2]

#### 2-1.2 GRUNDSÄTZLICHES ZU DEN SYSTEMKOMPONENTEN

##### 2-1.2.1 Basisbauteil

Als Basisbauteile für SPVen dienen zumeist massive Holzbauteile aus Voll- und Brettschichtholz sowie Brettsperrholz. Auch Furnierschichtholz (LVL) kann zu diesem Zweck eingesetzt werden. Wesentlich ist, dass die einzuleitende Schraubenkraft im Basisbauteil verankert werden kann. Daraus ergeben sich Anforderungen an die Mindestabmessungen in Dicken- und Breitenrichtung.



### Aufzuklebender Bauteil

Für den aufzuklebenden Bauteil kann der Großteil der am Markt verfügbaren Holz- und Holzwerkstoffe verwendet werden. Grundsätzlich ist bei der Auswahl des Produktes für den aufzuklebenden Teil auch zu beachten, welche Beanspruchungen mit diesem übertragen werden sollen. Während bei einer Beanspruchung auf Querkraft (z. B. zur Beschränkung von Querkraftgrößen) unidirektionale Produkte sinnvoll sind, tritt bei einer Schubbeanspruchung in gesperrten Holzwerkstoffen eine, die mögliche Beanspruchbarkeit limitierende Rollschubbeanspruchung auf. Für den Zweck der SPV werden daher vor allem Vollholzbretter aus Nadel- und Laubhölzern (vor allem aus Fichte, Buche und Birke), einschichtige Massivholzplatten und unidirektionale Holzwerkstoffe (unidirektionale Furnierschichthölzer; z. B. KERTO-S), aber vor allem auch gesperrte Produkte wie drei- und fünfschichtige Massivholzplatten, Sperrholz aus Nadel- (Fichte) und Laubholz (Buche, Birke) sowie Oriented Strand Boards (OSB) mit geschliffener Oberfläche zum Zwecke der Verklebbarkeit verwendet. Bei massiven Rippenplatten und Kastenquerschnitten kommt natürlich als Deckplatte auch drei- und fünfschichtiges Brettsperrholz (BSP) in Dicken von rund 90 bis 200 mm zum Einsatz.

Grundsätzlich ist zur Übertragung einer möglichst hohen Beanspruchbarkeit auf Kopfdurchziehen (durch Querkraftbeanspruchung) eine möglichst hohe Steifigkeit und Festigkeit in Dickenrichtung, aber auch eine hohe Biegesteifigkeit parallel und, möglichst auch, rechtwinklig zur Decklagenrichtung zum Zweck der Querverteilung der durch die Schraubkraft eingebrachten Schraubkraft sinnvoll. Werden diese Voraussetzungen erfüllt, kann einerseits eine hohe Kraft zur Erzielung eines ausreichenden Pressdruckes und andererseits ein größerer Schraubenabstand zur Optimierung erreicht werden.

Bei geringen Dicken des aufzuklebenden Bauteils wird die über den Schraubenkopf eingebrachte Beanspruchung mehr oder weniger ohne Lastausbreitung und -verteilung in den darunterliegenden Basisbauteil eingeleitet. Als Folge davon sind die Schraubenabstände in geringen Abständen anzuordnen um den erforderlichen Pressdruck in der Klebefuge über die volle Einflussfläche pro Schraube zu erreichen. Als sinnvolle Mindestdicke kann, in Abhängigkeit von der Steifigkeit des verwendeten Baustoffes und dem Verhältnis der Biegesteifigkeiten in Längs- und Querrichtung (parallel und rechtwinklig zur Decklagenrichtung) eine Dicke von  $t \geq 12$  mm, zielführend aber  $t \geq 19$  mm, für Furnierschichthölzer und OSB sowie von rund  $t \geq 20$  mm für Vollholzbretter und ein- und mehrschichtige Massivholzplatten angegeben werden. Demgegenüber wird die maximale Dicke des aufzuklebenden Teils durch die aufbringbare Schraubkraft zur Erreichung eines ausreichenden Pressdruckes und insbesondere durch die in der Praxis unvermeidbaren, vorhandenen Vorverformungen und Vorkrümmungen etc. definiert. Hier zeigt sich, dass mit den am Markt erhältlichen Durchmesser der Schraubenköpfe der Abstand der Verschraubung für die SPV determiniert wird. Bei gesteigerten Durchmesser und hohen Kopfdurchziehparametern (z. B. bei BFU-Bu) wird die erreichbare Schraubkraft auch hinsichtlich deren Ausziehtragfähigkeit und bei entsprechender Gewindelänge deren Zugtragfähigkeit begrenzt.

Im Kapitel 3 wird noch konkreter auf die Eigenschaften und verfügbaren Abmessungen für die verwendbaren Produkte des Basis- und aufzuklebenden Fügebauteils eingegangen.

### 2-1.2.2 Klebstoffe

„Klebstoffe (für allgemeine Zwecke, für Keilzinkenverbindungen oder fugenfüllende Klebstoffe) für tragende Zwecke müssen so feste und dauerhafte Verbindungen herstellen, dass die Unversehrtheit der Klebung in der entsprechenden Nutzungsklasse während der erwarteten Lebensdauer des Bauwerks erhalten bleibt“ [3]. Dieser in ÖNORM EN 301 verankerten Definition kann man die große Bedeutung, aber auch Erwartung, welche an den Klebstoff und weiterführend an die Klebefuge bzw. Klebstoffverbindung im Ganzen gestellt werden, entnehmen.

Zumindest in einem gewissen Zeitraum des Fügeprozesses, müssen Klebstoffe auf molekularer Ebene beweglich sein, d.h. sie müssen eine gewisse Viskosität aufweisen, um sich an das Fügebauteil anschmiegen zu können und um eine bestmöglich stoffschlüssige Verbindung zu entwickeln. Um die in weiterer Folge diskutierten Kräfte übertragen zu können, wird an den Klebstoff des Weiteren die Anforderung gestellt, nach der Verklebung nur noch geringe Bewegungen in der Klebefuge zuzulassen [4].

Klebstoffe müssen nachstehende Anforderungen und technische Bedingungen erfüllen.

**Tabelle 2-1: Anforderungen an Klebstoffe [5]**

	Anforderungen an Klebstoffe
<b>Festigkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ hohe Adhäsion</li> <li>▪ Kohäsion Klebstoff &gt; Kohäsion Holz</li> </ul>
<b>definierte Wasserbeständigkeit</b>	abhängig von Typ und Einsatz <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nicht beständig</li> <li>▪ beständig gegenüber kaltem Wasser (<math>\leq 20^{\circ}\text{C}</math>)</li> <li>▪ beständig gegenüber warmem Wasser (<math>\leq 70^{\circ}\text{C}</math>)</li> <li>▪ beständig gegenüber kochendem Wasser</li> </ul>
<b>definierte Beständigkeit gegenüber Luftfeuchte</b>	kein Quellen hydrophiler Klebstoffbestandteile durch Luftfeuchtigkeit
<b>Temperaturbeständigkeit</b>	definiertes Verhalten bei höheren Temperaturen
<b>biologische Beständigkeit</b>	gegenüber Schädlingen, Mikroorganismen & Pilzen
<b>Dauerhaftigkeit</b>	definiertes Verhalten gegenüber $\text{O}_2$ , UV-Strahlung, Wasser
<b>neutrales Verhalten gegenüber Holz</b>	keine Verfärbung und/oder Zerstörung der Holzsubstanz
<b>Umweltverträglichkeit</b>	keine schädlichen Emissionen bei Herstellung, Applikation, Gebrauch & Entsorgung

Insbesondere hinsichtlich klimatischer Bedingungen werden in der ÖNORM EN 301 [6] und ÖNORM EN 302 [7] zwischen zwei Typen von Klebstoffen unterschieden:

- Typ I
- Typ II

Typ I Klebstoffe sind für die Verwendung in der Nutzungsklasse (NKL) 1, 2 sowie 3 geeignet, wohingegen der Typ 2 Klebstoffe ausschließlich unter Umgebungsbedingungen, die der NKL 1 zugeordnet werden, zur Anwendung kommen dürfen. Eine weitere wichtige Gliederung der Klebstoffe berücksichtigt die Anwendung. Gemäß ÖNORM EN 301 [6] wird zwischen drei unterschiedlichen Verwendungszwecken unterschieden:

- Klebstoffe für allgemeine Zwecke (GP)
- Klebstoffe für Keilzinkenverbindungen (FJ)
- fugenfüllende Klebstoffe (GF)

Klebstoffe für allgemeine Zwecke kommen vorrangig bei Flächenverklebungen und Keilzinkenverbindungen zum Einsatz, wohingegen Klebstoffe für Keilzinkenverbindungen ausschließlich für diesen Zweck verwendet werden dürfen. Fugenfüllende Klebstoffe werden dann attraktiv, wenn eine Anwendung zu Klebungen parallel zur Faserrichtung und für Universal-Keilzinkenverbindungen kommt. Unter der Begriffsbestimmung Typ GP kann dieser Klebstoff auch bei Flächenverklebungen und Keilzinkenverbindungen angewandt werden. Eine wichtige Unterscheidung, welche ebenfalls in ÖNORM EN 301 geregelt ist, befasst sich mit der Klebefugendicke. Im Wesentlichen wird zwischen dicken und dünnen Klebstofffugen unterschieden. Bei einer Nenndicke zwischen 0,3 mm und 2,0 mm zum Zeitpunkt der Verklebung, handelt es sich um eine dicke Klebstofffuge. Hingegen darf eine dünne Klebefuge maximal 0,1 mm dick sein. Für die Verwendung dicker Klebstofffugen bedarf es des Aneinanderklebens zweier ebener Holzteile ohne zusätzlicher Beanspruchung. Eine dünnen Klebefuge kann dann erzielt werden, wenn beim Zusammenpressen zweier ebener Holzbauteile ein Pressdruck von  $0,8 \pm 0,1 \text{ N/mm}^2$  aufgebracht wird [6].



Unterteilt man Klebstoffe hinsichtlich ihrer chemischen Basis, werden sie in organisch und anorganisch gruppiert. Klebstoffe auf organischer Basis sind sehr weitläufig und werden oft verwendet, wobei in dieser Gruppe synthetisch hergestellte Klebstoffe am Häufigsten zum Einsatz kommen. Dementsprechende Klebstoffe heben sich auf Grund ihrer Festigkeit und Beständigkeit von anorganischen Klebstoffen ab, wobei sie im Vergleich dazu hinsichtlich der thermischen Belastung sowie in weitere Folge der Verarbeitungs- und Anwendungstemperatur weniger gute Eigenschaften aufweisen [8].

An dieser Stelle wird der allgemeine Begriff des Klebstoffs und des umgangssprachlich oft verwendeten Leims, mittels Definition erläutert.

### Klebstoff

„Produkte, die gemäß ihrer jeweiligen chemischen Zusammensetzung und dem vorliegenden physikalischen Zustand zum Zeitpunkt des Auftragens auf die zu verbindenden Füge­teile oder während ihrer Erwärmung (z. B. Klebstoff­folien) eine Benetzung der Oberflächen ermöglichen und in der Klebefuge die für die Kraftübertragung zwischen den Füge­teilen erforderliche Klebschicht ausbilden“ [9].

### Leim

„Klebstoff, bestehend aus tierischen und/oder pflanzlichen Grundstoffen (ggf. auch gemischt mit synthetischen Anteilen) sowie Wasser als Lösungsmittel“ [9]. Demnach ist ein Leim ein Klebstoff auf organischer Basis.

Im Allgemeinen lassen sich Klebstoffe vor allem dahingehend unterteilen, welcher Abbinde- bzw. Erhärtungsprozess vorliegt. Die wichtigste Gruppierungen stellen zum einen physikalisch abbindende und zum anderen chemisch abbindende Klebstoffe dar. Der nachstehenden Tabelle kann man die wichtigsten Klebstoffe in Abhängigkeit des Abbindemechanismus entnehmen [5].

**Tabelle 2-2: Einteilung nach Abbindemechanismus [5]**

<b>Physikalisch abbindend synthetisch</b>	<b>chemisch abbindend synthetisch</b>
Polyvinylacetat (PVAc)	Harnstoff-Formaldehyd (UF)
Polyvinyläther	Melamin-Formaldehyd (MF)
Polyvinylchlorid	Phenol-Formaldehyd (PF)
Polyacrylat	Kresol-Formaldehyd
Polymethacrylat	Resorcin-Formaldehyd (RF)
Polyäthylen	Polyurethane (PUR)
Polystyrol	Epoxidharze EP
Synth. Kautschuk	

Eine weitere Untergliederung wird bei den chemisch reagierenden Klebstoffen vorgenommen. Hierbei werden kalthärtende und wärmhärtende Klebstoffen differenziert betrachtet [8]. Möchte man eine möglichst gute adhäsive Bindung zwischen dem Klebstoff und der Oberfläche des Füge­teils schaffen, so sind neben physikalischen Verbindungen speziell chemische Wechselwirkungen von großer Bedeutung [4]. Um eine ungefähre Vorstellung zu ermöglichen und Vergleiche ziehen zu können liegen die theoretischen Festigkeiten von chemische Bindungen bei rund 5000 N/mm<sup>2</sup>, während die Festigkeitswerte von physikalischen Verbindungen, genauer van Van-der-Waals – Kräften, etwa 200 N/mm<sup>2</sup> und Wasserstoffbrücken-Bindungen rund 500 N/mm<sup>2</sup> erreichen [5]. Sind Klebstoffe chemisch reaktiv, also verfestigen sie sich in der Klebefuge und an Füge­teilerflächen, passiert dies aufgrund chemischer Wechselwirkungen. Nachdem Kontaktklebstoffe sowie Schmelzklebstoffe meistens nur in geringem Maße benetzt werden, kann man davon ausgehen, dass diese Klebstoffe inert sind, d.h. sie sind chemisch nicht reaktiv. Vereinfacht ausgedrückt, gehören diese zu den physikalisch abbindenden Klebstoffen. Sie haben

die Eigenheit, dass sie durch physikalische Prozesse wie z. B. Diffusions-, Verdampfungs- oder Schmelzvorgänge von einem viskosen Charakter in einen festen Zustand transformieren [4].

Wie Klebstoffe im Detail aufgebaut sind und wie ihre chemische Ausgangsbasis ist, ähnelt der Struktur von Kunststoffen. Entstehende Klebeschichten kann man aufgrund ihres vorherigen chemischen Zusammenspiels organischen Polymerverbindungen gleichsetzen [8]. Bei chemisch härtenden Klebstoffen handelt es sich um niedrigviskose Mittel. Wie angedeutet beinhalten sie Substanzen, welche chemisch reagieren können und in weiterer Folge aus molekularer Basis polymere Systeme schaffen. Diese weisen eine massige Molekularstruktur auf und sind äußerst widerstandsfähig gegen mechanische Beanspruchungen [4]. Der Begriff „vernetzen“ beschreibt den chemisch abbindenden Prozess von Klebstoffen. Bei der Vernetzung kommt es zur Änderung vom Ausgangszustand in einen duroplastischen Zustand. Dieser Zustand ist nicht mehr umkehrbar, daher nicht lösbar. Aus diesem Grund werden Duroplaste auch Reaktionsklebstoffe genannt [5]. Festigkeitsbildende Eigenschaften des Klebstoffs dürfen erst einsetzen, nachdem der Klebstoff aufgebracht wurde und die zu verklebenden Teile entsprechend zusammengesetzt wurden. Ansonsten würde es zu keiner Vernetzung kommen und der chemisch erhärtende Klebstoff könnte seine Eigenschaften nicht reflektieren. Chemisch abbindende Klebstoffe können durch unterschiedliche Anreger zum Verfestigen führen. Im Zuge des Zusammenfügens ist es notwendig, dass die Fügeiteile über eine definierte Zeitdauer in der gewünschten Position gehalten werden, bis sich in der Klebeschicht ein makromolekulares System entwickelt. Mittels Wärmezufuhr kann man diese Zeitspanne in der Regel beeinflussen bzw. verkürzen [4].

In Zusammenhang mit den Besonderheiten rund um den Abbindemechanismus und um wichtige Eigenschaften eines Klebstoffs differenzieren zu können, spricht man oft von Einkomponenten-Systemen (1K) und Zweikomponenten-Systemen (2K). Beim erstgenannten System ist es nicht anforderlich den Klebstoff zu vermischen, d.h. dieser Klebstoff ist sofort gebrauchstauglich und muss nicht zusätzlich aufbereitet werden. Als nachteiligen Aspekt soll erwähnt sein, dass die Lagerfähigkeit dieser Klebstoffe zum Teil beschränkt ist.

Den Unterschied bei 2K – Systemen macht die Trennung zwischen Harz und Härter. Demnach müssen diese zwei Komponenten unmittelbar vor der Anwendung vermischt werden. Zu diesem Zeitpunkt beginnt bereits die chemische Reaktion, was in der Regel die Verarbeitbarkeit stark beschränkt [5]. Binden Klebstoffe physikalisch ab, so kommt grundsätzlich das 1K – System zur Anwendung. In diesen Klebstoffen befinden sich bereits vollständig ausgebildete Polymere und unter anderem auch Zusatzstoffe wie Weichmacher oder Füllstoffe. Um mittels chemisch abbindenden Klebstoffen die gewünschte Klebeschicht und Haftwirkung zu erzielen, brauchen diese Stoffe Systempartner um reagieren zu können. Es gibt hier wiederum zwei unterschiedliche Herangehensweisen: Entweder werden die Reaktionspartner direkt vermengt, um die chemische Reaktion hervorzurufen oder die beiden Komponenten finden erst unmittelbar im Kontakt (in der Klebefuge) die gewünschte Reaktion [8]. Damit eine chemische Bindung entstehen kann, benötigen derartige Verbindungen eine Aktivierungsenergie. Diese Energie wird aus der Wärme gewonnen, welche bei der Adsorption entsteht. Mit dieser Erkenntnis und der Tatsache, dass es keine alternativen Energiequellen gibt, ist darauf zurückzuschließen, dass eine chemische Adhäsion nur mit vorangegangener exothermer Adsorption entstehen kann. Im Allgemeinen kann festgehalten werden, dass der Vorgang der Adsorption relativ zügig abläuft (innerhalb weniger Minuten), wohingegen die Chemiesorption eine Dauer von rund 20 bis 60 Minuten in Anspruch nimmt. Vergleicht man chemische- und physikalische Bindungen so ist die für die Lösung dieser Verbindungen notwendige Energie bei einer chemischen Fügung deutlich höher als bei einer Physikalischen [4].

Klebstoffsysteme und darin enthaltene Komponenten, weisen hinsichtlich ihrer Verarbeitung spezielle Anforderung auf. Als ein Vertreter besonderer Beschichtungen werden Primer angesehen. Die Oberflächen der Fügeiteile werden vor dem Aufbringen des Klebstoffs mit diesem versehen, um die Flächen zusätzlich vor Umwelteinflüssen zu schützen oder aber um die Anhaftung des Klebstoffs zu verbessern [4]. Kommen die Kunststoffe Polyethylen und/oder Polypropylen in der Zusammensetzung des zu verwendenden Klebstoffs vor, so benötigen die Oberflächen der Fügeiteile jedenfalls eine spezielle Behandlung. Die soeben genannten Kunststoffe weisen unpolare Eigenheiten auf. Aus diesem Grund kommen Primer oder auch Aktivator zum Einsatz. Nur wenn diese Produkte an den Fügeiteilflächen ihre Anwendung finden, kann die zu erzeugende Klebeschicht eine ausreichend hohe Festigkeit entwickeln. Primer oder Aktivator

sind zumeist basisch und können dadurch die Parameter der Haftung an den Oberflächen der Füge­teile er­giebig verbessern [8]. Um eine möglichst gleichverteilte Vernetzung zu erlangen, bestehen Primer meistens aus verdünnten Polymerlösungen. Diese Eigenschaft verleiht ihnen die Fähigkeit sich gut an der Oberfläche des Füge­teils zu verteilen [4].

Es gilt, dass in Abhängigkeit diverser Anforderungsbedingungen, Klebefugen sowie den Spezifikationen des Holzes, im Vorhinein ein passender Klebstoff ausgewählt wird. Dieses Klebstoffsystem, welches die Randbedingungen bestmöglich erfasst, ist für das Zusammenfügen zweier Teile zuständig [4]. Im Bauwesen bzw. bei der Anwendung einer schraubpressverklebten Verbindung sind das im Wesentlichen die nachstehenden Klebstofftypen:

- Polyurethan Klebstoffe (PUR)
- Phenol-Resorcin-Formaldehyd Klebstoffe (PRF)
- Melamin-Urea-Formaldehyd Klebstoffe (MUF)
- Melamin-Urea Klebstoffe (MU)

Im Zuge der Verwendung von Klebstoffen werden oftmals verschiedene zeitabhängige Begriffe gebraucht. Nachstehend soll die Definition der jeweiligen Zeitspanne erklärt werden.

#### offene Wartezeit

Als offene Wartezeit wird jene Dauer verstanden, die zwischen dem Beginn des Klebstoffauftrags und dem Zusammenfügen entsteht. Diese Zeitspanne kann durch die folgenden Parameter stark beeinflusst werden:

- Klebstoffzusammensetzung
- Auftragsmenge
- Umgebungsbedingung
- Oberflächeneigenschaft der Füge­teile

#### geschlossene Wartezeit

Die Zeit zwischen dem Beginn des Fügens und dem Aufbringen des Pressdrucks wird hingegen als geschlossene Wartezeit beschrieben [5].

#### Abbindezeit

Als Abbindezeit wird die Dauer nach dem Zusammenfügen der Teile verstanden, innerhalb der die Klebung eine für die bestimmte Beanspruchung notwendige Festigkeit erreicht [8].

#### Topfzeit

Die Topfzeit ist bei der Verwendung von Reaktionsklebstoffen von großer Bedeutung. Damit wird jene Zeitspanne beschrieben, in der die fertige Klebstoffmischung gebraucht und verarbeitet werden kann [8].

#### Presszeit

Die Presszeit ist während des Abbindens am Stärksten von der Umgebungstemperatur beeinflusst. Diese Zeitspanne wird mit dem Erreichen des Mindestpressdruck bis zum Erreichen der Mindestfestigkeit beschrieben [8].

#### Aushärtezeit

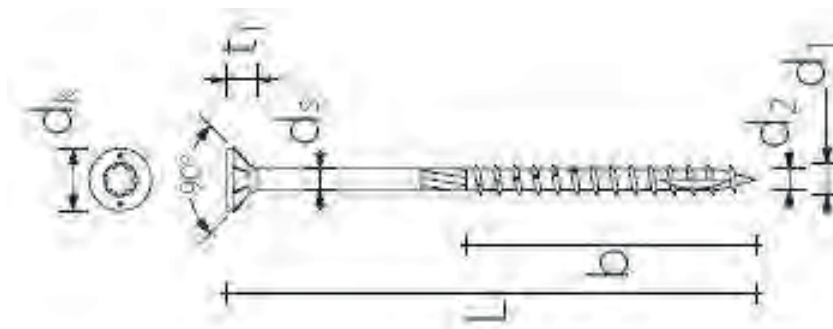
Die Dauer ab dem Erreichen der Mindestfestigkeit bis hin zur Endfestigkeit wird mit der Aushärtezeit definiert [4]

## 2-1.2.3 Schrauben

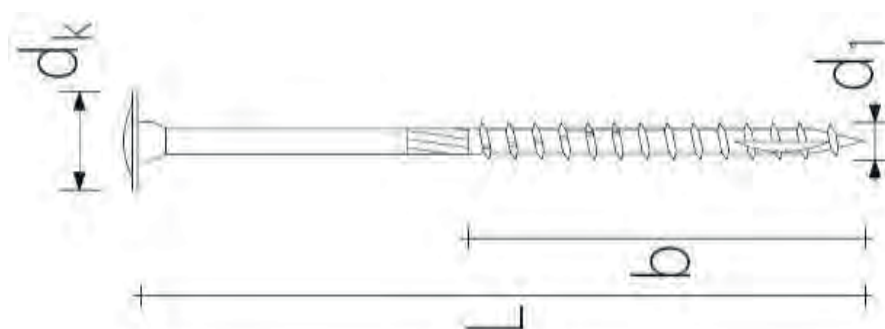
(Holzbau-) Schrauben zählen zu den vorwiegend in Richtung der Schraubenachse beanspruchbaren, mechanisch wirkenden, stiftförmigen Verbindungsmitteln und haben als selbstbohrende Voll- und Teilgewindeschrauben in den letzten rund 20 Jahren auf Grund ihrer universellen Anwendbarkeit, einfachen Applikation, hohen Beanspruchbarkeit und Wirtschaftlichkeit ein breites Anwendungsspektrum im Holzbau für lastabtragende und nicht lastabtragende Zwecke erreicht.

Holzbauschrauben bestehen meist aus niedrig gekohltem Stahl- oder Kohlenstoffstahlendraht, es sind aber auch Schrauben aus Edelstahl für spezielle Anwendungen in exponierterem Umfeld (z. B. in Schwimmbädern) am Markt erhältlich [10].

In der folgenden Abbildung ist eine Schraube und deren Geometrieparameter dargestellt.



**Abbildung 2-2: Geometrie einer Senkkopfschraube [11]**



**Abbildung 2-3: Geometrie einer Tellerkopfschraube [11]**

Die im Holzbau verwendeten Schraubentypen weisen z. T. mittlerweile umfangreiche Differenzierungen und Features auf. Es gibt verschiedenste Kopfformen- und Durchmesser, unterschiedlichste Längen- und Gewindefizifikationen sowie spezielle Komponenten der Spitze und im Gewindebereich (z. B. Reibschäft, u.ä.) aber auch Beschichtungen. Die wesentlichen geometrischen Parameter in Abbildung 2-2 und Abbildung 2-3 sind der Nenndurchmesser  $d$ , der Gewindeinnendurchmesser  $d_1$  und der Kopfdurchmesser  $d_k$  bzw.  $d_{\text{head}}$  sowie die (Gesamt-) Schraubenslänge  $l$  und die Gewindelänge  $l_g$ .

Die Wirkungsweise von Holzbauschrauben wird hinsichtlich der Art ihrer Beanspruchung unterschieden: Relevant ist dabei der Winkel zwischen Lastangriff und Schraubenachse. Bei einem Winkel zwischen den beiden Achsen von  $90^\circ$ , also rechtwinklig zur Schraubenachse, werden die Schrauben einer Abscherbeanspruchung unterzogen, im Falle einer Belastungsrichtung parallel zur Schraubenachse bzw. in axialer Richtung auf Herausziehen- bzw. Hineindrücken [12]. Für Winkel dazwischen treten beiden Beanspruchungen kombiniert auf, wobei auf Grund der höheren Steifigkeit auf Herausziehen zumeist dieser Anteil dominiert. Bei der SPV wird über die Pressung des Schraubenkopfes an der Oberfläche des aufzuklebenden Teiles und der damit im Gleichgewicht stehenden Beanspruchung auf Herausziehen im Gewindeteil ein Eigenspannungszustand in der Schraube aktiviert. Damit ist nur die axiale Beanspruchbarkeit von Relevanz, d. h. die Schrauben werden gleichzeitig auf Herausziehen und Kopfdurchziehen beansprucht.

Die Beanspruchbarkeit einer in axialer Richtung belasteten Schraube, in der Reihenfolge der Relevanz für die SPV, ist durch die Versagensmodi

- Kopfdurchziehen,
- Herausziehen und
- Zugtragfähigkeit der Schraube

bestimmt.

Im Folgenden wird auf die jeweiligen Versagensmodi und die sie beeinflussenden Parameter sowie beschreibenden Kenngrößen eingegangen:

### 2-1.2.4 Kopfdurchziehparameter

In ÖNORM EN 14592 [10] ist der Kopfdurchziehparameter wie folgt definiert:

„Parameter zur Messung des Widerstands eines Prüfkörpers aus Holz gegen das Durchziehen des Kopfes eines Holzverbindungsmittels oder des Rückens einer Klammer“ [10].

Der Widerstand, den ein Schraubenkopf gegen das Durchziehen im angrenzenden Holz bzw. Holzwerkstoff aufzubringen vermag, wird mit dem Kopfdurchziehparameter beschrieben [13]. Der Kennwert der Kopfdurchziehfestigkeit  $f_{head,k}$  wird entscheidend von der Rohdichte und Jahrringstellung unter dem Schraubenkopf sowie den geometrischen Abmessungen in Form des Kopfdurchmessers  $d_{head}$  und der Form (z. B. Senk- und Tellerkopf) des Schraubenkopfes beeinflusst [10]. Demnach kann die Widerstandskraft gegen das Schraubenkopfdurchziehen durch entsprechende Wahl des Baustoffes, Variation des Kopftyps und durch Verwendung einer geeigneten Unterlagscheibe deutlich erhöht werden [12]. Im Allgemeinen kann man diesem Versagensmechanismus durch den entsprechenden Nachweis sowie unter Verwendung konstruktiver Regelungen hinsichtlich von Mindestholzdicken entgegenwirken [14].

Der charakteristische Wert einer Schraube auf Kopfdurchziehen ergibt sich in angepasster Bezeichnung und unter Vernachlässigung der effektiven Verbindungsmittelanzahl  $n_{ef}$  bzw. mit  $n_{ef} = 1$  nach ÖNORM EN 1995-1-1 [1] zu:

$$F_{ax,head,Rk} = f_{head} \cdot d_{head}^2 \cdot \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \quad (1)$$

Dabei sind:

$F_{ax,head,Rk}$	charakteristischer Wert einer Schraube auf Kopfdurchziehen, in N
$f_{head,k}$	charakteristischer Wert des Kopfdurchziehparameters (abhängig vom verwendeten Produkte und dessen Dicke), in N/mm <sup>2</sup>  Anmerkung: In ÖNORM EN 1995-1-1 sind für $f_{head,k}$ keine Werte angegeben. Diese sind bei Bedarf bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. Europäisch Technischer Bewertungen der Schraubenhersteller zu entnehmen.)
$d_{head}$	Durchmesser des Schraubenkopfes, in mm
$\rho_k$	charakteristischer Wert der Rohdichte auf den $f_{head,k}$ bezogen wird, in kg/m <sup>3</sup>
$\rho_a$	zugehöriger charakteristische Wert der Rohdichte des verwendeten Produktes (z. B. einer Prüfserie) in kg/m <sup>3</sup>

### 2-1.2.5 Herausziehen

Ähnlich wie beim Kopfdurchziehen ist auch für die Beanspruchung einer Schraube auf Herausziehen eine Definition aus ÖNORM EN 14592 [10] zu entnehmen. Diese lautet

„Parameter zur Messung des Widerstands eines Prüfkörpers aus Holz gegen das Herausziehen eines Holzverbindungsmittels“ [10].

Wird eine Schraube auf Herausziehen (oder Hineindrücken) beansprucht, kommt es zu einer Scher- bzw. Schubbeanspruchung des umliegenden Holzbereiches um das Schraubengewinde. Außerdem kann die Schraube beim Hineindrücken ausknicken und somit versagen [14]. Der Widerstand einer Holzbauschraube auf Herausziehen wird durch die Rohdichte des Holzes, den (nominellen) Schrauben (nenn-) durchmesser  $d$  und die effektive Einschraubtiefe  $l_{ef}$  beeinflusst. Die beschreibende Kenngröße ist durch den Ausziehparameter  $f_{ax}$  definiert. Für diesen existieren mehrere Ansätze in Abhängigkeit der erwähnten Parameter.



In ÖNORM B 1995-1-1 [1] ist für den charakteristischen Ausziehparameter  $f_{ax,k}$  einer Schrauben auf Herausziehen folgende Gleichung verankert.

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} \quad (2)$$

Dabei sind:

$f_{ax,k}$	charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung, in N/mm <sup>2</sup>
d	Nenn Durchmesser (i. Allg. Außendurchmesser) einer Schraube, in mm Anmerkung: Der Nenn Durchmesser d und dessen Verhältnis zum Schraubenkerndurchmesser $d_1$ für Schrauben in Nadelhölzern darf nach EN 14592 betragen: $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$ und $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$
$l_{ef}$	Eindringtiefe des Gewindeteils, in mm
$\rho_k$	charakteristischer Wert der Rohdichte auf den $f_{ax,k}$ bezogen wird, in kg/m <sup>3</sup>

Der charakteristische Wert des Ausziehwiderstandes einer Schraube  $F_{ax,Rk}$  ergibt sich mit angepassten Bezeichnungen und unter Vernachlässigung der effektiven Verbindungsmittellanzahl  $n_{ef}$  bzw. mit  $n_{ef} = 1$  sowie des Faktors  $k_d$  nach ÖNORM EN 1995-1-1 [1] für eine, unter einem Winkel  $\alpha = 90^\circ$  eingedrehte, Schraube zu:

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \quad (3)$$

Dabei sind:

$F_{ax,k}$	charakteristischer Wert des Ausziehwiderstandes einer Schraube unter einem Winkel zwischen Faserrichtung des Holzes und der Schraubenachse $\alpha = 90^\circ$ , in N
$f_{ax,k}$	charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung, in N/mm <sup>2</sup> (Diese auch bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. Europäischen Technischen Bewertungen der Schraubenhersteller entnommen.)
d	Nenn Durchmesser (i. Allg. Außendurchmesser) einer Schraube, in mm Anmerkung: Der Nenn Durchmesser d und dessen Verhältnis zum Schraubenkerndurchmesser $d_1$ für Schrauben in Nadelhölzern darf nach EN 14592 betragen: $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$ und $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$ .
$l_{ef}$	Eindringtiefe des Gewindeteils, in mm
$\rho_k$	charakteristischer Wert der Rohdichte des verwendeten Produktes, in kg/m <sup>3</sup>
$\rho_a$	zugehöriger charakteristische Wert der Rohdichte des verwendeten Produktes (z. B. einer Prüferie) in kg/m <sup>3</sup>

### 2-1.2.6 Zugtragfähigkeit einer Schraube

Die Zugtragfähigkeit einer Schraube  $F_{t,Rk}$  (in N) ist durch deren Festigkeit hinsichtlich des Abreißwiderstandes des Schraubenkopfes und dem Zugwiderstand des Schaftes oder Gewindes definiert.

Der charakteristische Zugwiderstand  $f_{tens,k}$  (in N; für die SPV:  $f_{tens,k} = F_{t,Rk}$ ) einer Schraube wird in bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. Europäischen Technischen Bewertungen der Schraubenhersteller angegeben und kann diesen entnommen werden

Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit einer Schraube ergibt sich aus dem Kleinstwert der angeführten Versagensmodi, wobei für die Ermittlung des Bemessungswertes  $F_{ax,d}$  der Tragfähigkeit einer Schraube auf Herausziehen zu beachten ist, dass diese durch das Versagen des Holzes bestimmt sind, während die Zugtragfähigkeit der Schraube ein Stahlversagen darstellt. Während beim Versagen im Holz der Modifikationswert  $k_{mod}$  und der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  des Holzes auf der Baustoffseite zu berücksichtigen sind, ist für das Stahlversagen ein anderer Teilsicherheitsbeiwert zu berücksichtigen. Hinsichtlich  $k_{mod}$  und  $\gamma_M$  existieren für die SPV keine eigenen Regelungen. Vorgeschlagen wird daher den Modifikationswert  $k_{mod} = 1$  und für den Teilsicherheitsbeiwert des Holzes  $\gamma_M = 1,3$  in der Berechnung zu

berücksichtigen. Für das Versagen der Schraube auf Zug ist der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M2} = 1,25$  zu verwenden.

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,head,Rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \\ F_{ax,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \\ \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M2}} \end{array} \right\} \quad (4)$$

Es bedeuten:

$F_{ax,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit einer axial beanspruchten Schrauben, in N
$F_{ax,head,Rk}$	charakteristischer Wert einer Schraube auf Kopfdurchziehen, in N
$F_{ax,k}$	charakteristischer Wert des Auszieh Widerstandes einer Schraube unter einem Winkel zwischen Faserrichtung des Holzes und der Schraubenachse $\alpha = 90^\circ$ , in N
$F_{t,Rk}$	Zugtragfähigkeit einer Schraube, in N
$k_{mod}$	Modifikationsbeiwert des Holzes bzw. Holzwerkstoffes (für die SPV wird $k_{mod} = 1$ vorgeschlagen)
$\gamma_M$	Teilsicherheitsbeiwert für Verbindungen im Holzbau ( $\gamma_M = 1,3$ )
$\gamma_{M2}$	Teilsicherheitsbeiwert für zugbeanspruchte Stahlbauteile ( $\gamma_{M2} = 1,25$ )

### 2-1.2.7 Sonstige bei der SPV zu berücksichtigende Effekte

Für die SPV ist unter Umständen, besonders beim Produkt BFU-Bu, auch das Verhältnis zwischen Eindrehwiderstand und Torsionsfestigkeit der Schraube von Bedeutung. Dieses Verhältnis ist bei den am Markt befindlichen Schrauben jedoch im Allgemeinen mit einer ausreichender Sicherheit gegeben, sodass darauf nicht weiter eingegangen wird.

Ein Merkmal bei der SPV ist die zeitlicher Veränderung der aufgetragenen Schraubenkraft, d. h. es treten, aufgrund der Beanspruchungen durch den Schraubenkopf von der Zeit abhängige (rheologische) Verformung im Holz/Holzwerkstoff auf, die zu einer signifikanten Verminderung der Schraubenkraft nach kurzer Zeit führen. Dieser als kombinierter Kriech/Relaxationvorgang zu bezeichnende Effekt führt dazu, dass der erforderliche Pressdruck während der Aushärtung des Klebstoffes stark abfällt.

Wie Bratulić in [2] berichtet, beträgt der nutzbare Anteil der aufgetragenen Schraubenkraft einer Schraube mit dem Nenndurchmesser  $d = 8$  mm und dem Schraubenkopfdurchmesser  $d_{head} = 22$  mm im aufzuklebenden Füge teil aus Fichte mit einer Dicke von  $t = 25$  mm bereits nach rund 2 Stunden nur mehr rund  $2/3$  des Anfangswertes.

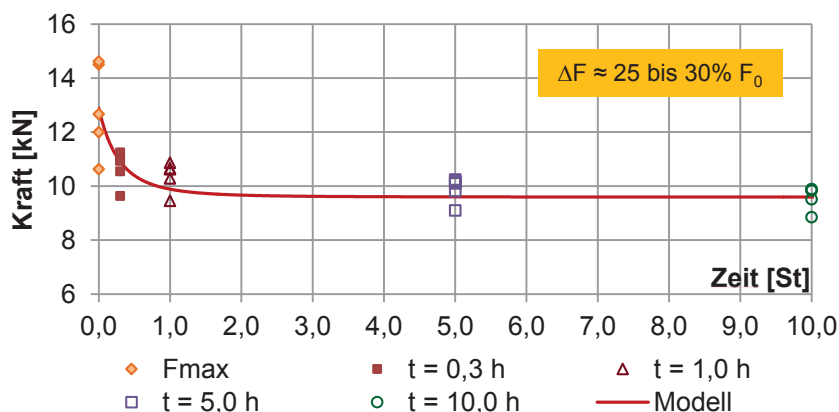


Abbildung 2-4: Abfall der Schraubenkraft im aufzuklebenden Teil in Abhängigkeit der Zeit [2]

Diesem Effekt wird in der Berechnung der SPV durch den Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  des Holzes Rechnung getragen. Dieser berücksichtigt neben den üblichen Materialstreuungen auch Modellunsicherheiten und entspricht mit  $1/1,3 = 0,769$  (rund 76,9%) in etwa dem angesprochenen Abfall der wirksamen Schraubenkraft.

Bei in schraubpressverklebten Bauteilen verbliebenen Schrauben (mit ausgehärteter Klebefuge) darf deren (geringe) Tragfähigkeit bei deren Beanspruchung auf Schub bzw. Abscheren, bedingt durch die hohe Steifigkeit der ausgehärteten Klebeverbindung im Vergleich zur Beanspruchbarkeit der Schraube, nicht gleichzeitig als lastabtragend berücksichtigt werden.



## 2-2 ANWENDUNGSBEREICHE DER SCHRAUBPRESSVERKLEBUNG

Im Vergleich zur Verbindungstechnik mit mechanischen Verbindungsmitteln sind Klebeverbindungen im Holzbau generell sehr leistungsfähig hinsichtlich Tragfähigkeit und Steifigkeit, jedoch kaum duktil und damit relativ anfällig bei unsachgemäßer Verklebung und lokal wirkenden, mechanischen Stoßbelastungen sowie bei Feuchtezutritt. Klebeverbindungen erfordern daher in der Praxis ein relativ umfangreiches Qualitätsmanagement mit Eigen- und Fremdüberwachungsmaßnahmen, sowie strikter Einhaltung der vom Klebstoffhersteller bekanntgegebenen Verarbeitungshinweise sowie Umgebungsbedingungen bei der Herstellung.

Der Anwendungsbereich der Schraubpressverklebung deckt, dank der flexiblen und einfachen Handhabung, einen breiten Bereich des Holzbaus ab. Mit dieser Verklebungstechnik ist beispielsweise eine dauerhaft schubsteife Verbindung von Kasten- oder Rippelementen, aus z. B. BSH-Trägern in Kombination mit verschiedenen Holzwerkstoffprodukten, wie z. B. BSP, aber auch ein- und mehrschichtigen Massivholzplatten, Furnierschichtholz aus Fichte und Buche oder auch OSB zu Verbundbauteilen möglich. Es resultieren daraus unter anderem Anwendungsbereiche mit den Anforderungen an große Spannweite, gepaart mit optimiertem Materialeinsatz, Forderungen an ästhetische, gleichbleibende Untersichten mit der vorteilhaften Unterbringung nicht sichtbarer gebäudetechnischer Installationen [15].



**Abbildung 2-5:** *Querschnitt eines mittels Schraubpressverklebung hergestellten Brückendeckes einer Fußgänger- und Radwegbrücke (li), Rippendecke aus schraubpressverklebten BSH-BSP-Bauteilen im Bautechnikzentrum der TU Graz (re)*

Die im Produktionswerk in transportgerechten Abmessungen produzierten Baukomponenten werden, in Ausnahmefällen und i. Allg. zur Herstellung einer kontinuierlichen Momentenübertragung in Querrichtung, mittels streifenförmiger Laschen verbunden. Einerseits kann dies mittels mechanischer Verbindungsmittel wie Holzbauschrauben erfolgen. Sind hohe mechanische Anforderungen hinsichtlich Tragfähigkeit und Steifigkeit zu erfüllen, bietet sich dazu auch die Schraubpressverklebung an. Dabei sind die Herstellbedingungen penibel zu kontrollieren und die Vorgaben der Klebstoffhersteller einzuhalten und es ist eine entsprechende Ebenheit und Sauberkeit der Klebefuge einzuhalten.

Neben den angeführten Aspekten kommt diese Art der Bauteilfügung auch bei Holzbauteilen mit besonderer Formgebung zum Einsatz. In solchen Fällen ist eine Herstellung mit standardisierten hydraulischen Pressen oft nicht möglich bzw. auch unwirtschaftlich. Als Beispiel für diese Anwendung der Schraubpressverklebung kann z. B. die „Leonardo Da Vinci Brücke“ (Abbildung 2-6) herangezogen werden.



Abbildung 2-6: *Leonardo da Vinci Brücke, Norwegen (li) und Schraubpressverklebung im Detail (re)*

Im Zuge dieses Projektes wurden spezielle Schrauben eingesetzt, über welche der Pressdruck aufgebracht wurde. Die einzelnen Elemente der geschwungenen BSH-Träger wurden mit diesem Universalbefestiger und dem entsprechenden Klebstoff kraftschlüssig verbunden. Ein wesentlicher Vorteil war dabei auch die erreichte Zeitersparnis, weil aufgrund dieser Verbindungstechnologie das Warten auf das Abbinden jeder Klebeschicht nicht erforderlich war [16].

Ein weiteres, imposantes und bekanntes Beispiel der Schraubpressverklebung wurde mit dem Expo-Dach in Hannover verwirklicht.

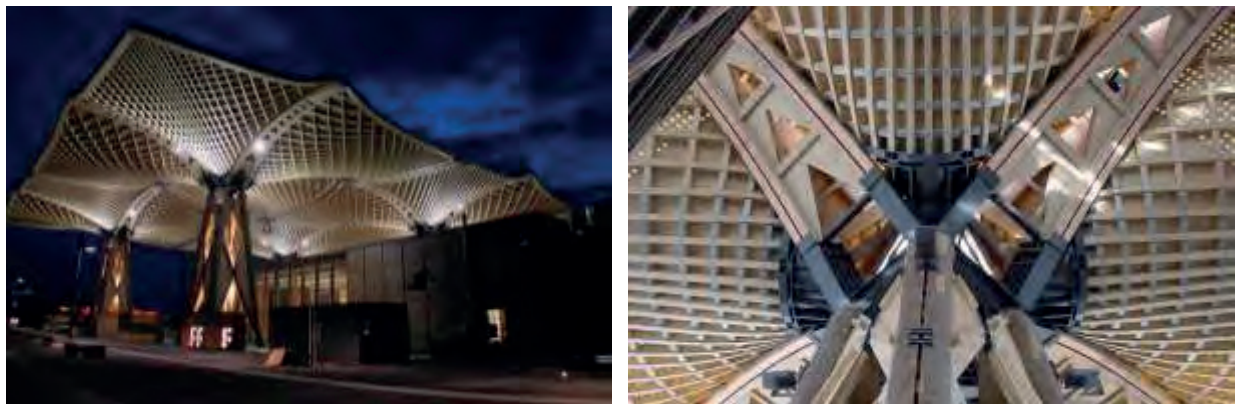
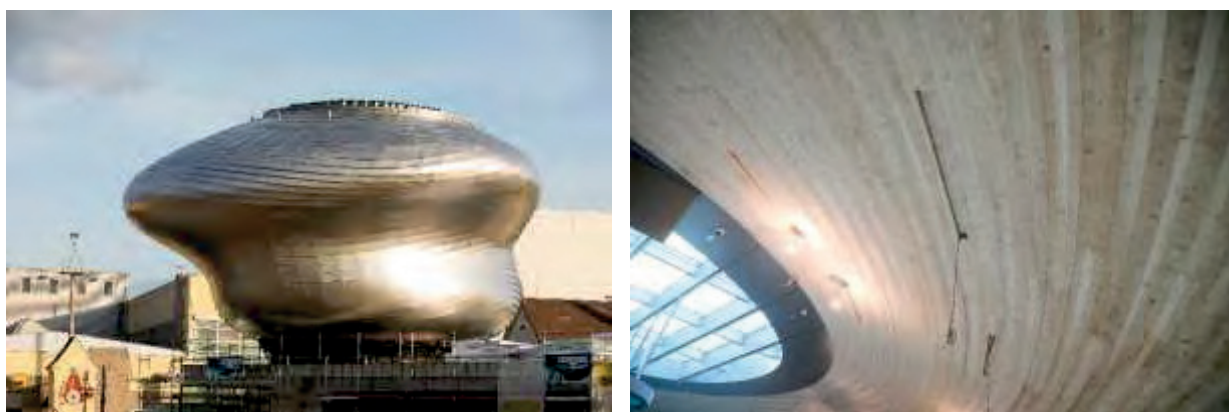


Abbildung 2-7: *Expo-Dach Hannover 2000 (li) [17] mit Detailaufnahme des Turmknotenpunktes (re) [18]*

Wie in Abbildung 2-7 zu erkennen ist, handelt es sich dabei um ein Schalenträgerwerk. Dieses besteht aus insgesamt zehn Schirmen, welche sich jeweils in eine Turmkonstruktion, einen Stahlknoten, vier Kragträger und eine doppelt gekrümmte Gitterschale gliedern lassen. Jeder dieser Kragträger besteht aus zwei Kastenträgern, welche mittels Schraubpressverklebung miteinander verbunden sind [17].

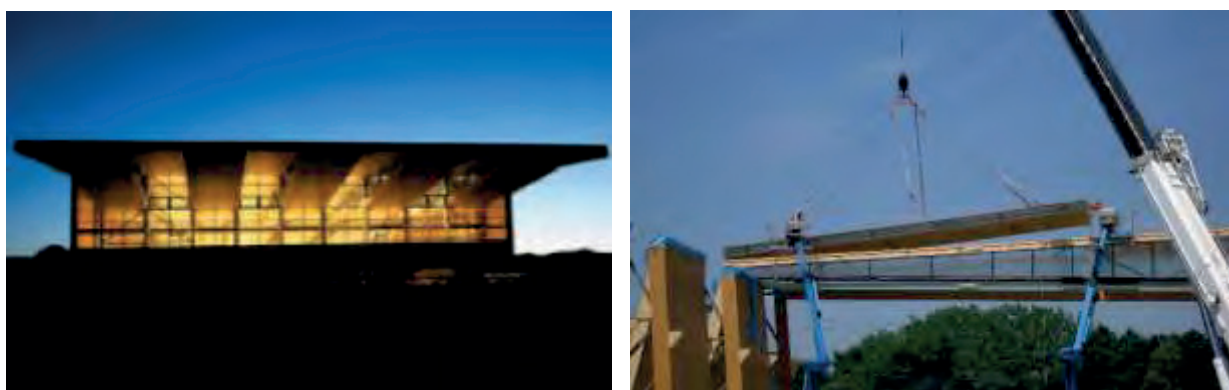
Ein weiteres Bauwerk bei dem die Schraubpressverklebung angewandt wurde, stellt das sowohl architektonisch als auch ingeniermässig interessante „Paneum – Wunderkammer des Brotes“ in Asten / Oberösterreich dar.



**Abbildung 2-8:** *Paneum – Wunderkammer des Brotes in Aasten/OÖ, Außenansicht (li), Innenansicht der Oberfläche im Bauzustand (re)*

Bei diesem imposanten Bauwerk wurden die zuvor mittels Robotertechnik gefräste, lagenweise geschichtete Brettsperrholzelemente mittels Schraubpressverklebung zu einer raumbildenden, lastabtragenden Schalenstruktur mit der charakteristischen, eigentümlichen Form verbunden.

Die Schraubpressverklebung findet weiters Anwendung bei der Produktion von Holzleichtbauelementen. Die üblicherweise dazu eingesetzten mechanischen Verbindungsmittel wie Klammern, (Sonder-) Nägel oder Schrauben weisen eine wesentlich geringere Steifigkeit auf, als dies bei einer Verklebung der Fall ist. Insbesondere Deckenelemente sollten daher sinnvollerweise verklebt werden.



**Abbildung 2-9:** *Produktionshalle (li) mit vorgefertigten, schraubpressverklebten Holzleichtbauelementen (beim Einheben) (re) [19]*

Ein besonders großes Anwendungsgebiet für die Schraubpressverklebung stellt auch die (lokale) Verstärkung bestehender Holzkonstruktionen bzw. die Sanierung von Holzbauteilen dar [20]. Die bekannteste materialspezifische „Schwäche“ von Holz in der Verwendung als Baustoff, ist die relativ gering ausgeprägte Querkzugfestigkeit. Holzkonstruktionen sollten prinzipiell so geplant und ausgeführt werden, dass die Zugbeanspruchungen rechtwinkelig zur Faserrichtung, gegebenenfalls in Kombination mit einer Schubbeanspruchung, möglichst gering bleibt oder bestenfalls völlig vermieden werden. In manchen Fällen lassen sich solche konstruktiven Situationen statisch-konstruktiv planmäßig und/oder feuchteinduziert aber nicht vermeiden. Dort und selbstverständlich bei vorliegenden Schäden bzw. Rissbildungen sind diese Bereiche zur Aufrechterhaltung ausreichender Zuverlässigkeit zu verstärken. Neben der Möglichkeit innenliegender Verstärkungsmaßnahmen mit Schraubstangen, Holzbauschrauben u. ä., kann eine solche auch mit außenliegenden Holz- und Holzwerkstoffprodukten umgesetzt werden. Die zur kraftschlüssigen Verbindung erforderliche Verklebung erfolgt dabei zumeist mittels einer Nagel- oder, zeitgemäßer, einer Schraubpressverklebung.



## 2-3 STAND DES WISSENS UND DER TECHNIK

---

### 2-3.1 VERFÜGBARE LITERATURSTELLEN

#### 2-3.1.1 „Versuche über die Verwendung von Nägeln zur Erzeugung eines ausreichenden Pressdrucks“

Diese erste bekannte Literaturquelle [21] aus dem deutschen Sprachraum zur Nagelpressverklebung beschäftigte sich mit dem, mittels Nägeln aufbringbaren Pressdruck. Dazu wurden Nägel mit unterschiedlichen Parametern (28/65, 34/90, 42/110, 60/180) und unterschiedliche Schaftlänge in Fichtenholzbretter mit Dicken von 20 mm, 26 mm, 35 mm, 60 mm und 6.000 mm<sup>2</sup> (Platten A) bzw. 12.000 mm<sup>2</sup> (Platten B) Pressfläche „schwach“ (Nagelkopf bündig) und „kräftig eingeschlagen“ (Versenkung nicht eruierbar). Auf den Pressdruck wurde mit Hilfe eines zuvor kalibrierten Moosgummis durch Messung der Zusammendrückung rückgeschlossen. Bei den bündig mit der Oberfläche eingeschlagenen Nägeln konnte eine mittlere Prüfkraft der Nägel von max. rund 0,8 kN festgestellt werden, wobei bei den „kräftig eingeschlagenen“ Nägeln eine, mit größeren Nageldurchmesser, kontinuierlich steigende Nagelkraft beobachtet werden konnte, die maximale Nagelkraft wurde mit dem Nageltyp 60/180 bei rund 110 mm Einschlagtiefe festgestellt und betrug rund 1,6 kN. Das Verhältnis der mittleren aufbringbaren Nagelkraft zwischen „schwach“ und „kräftig eingeschlagenen“ Nägeln betrug laut Autor rund die Hälfte bis  $\frac{3}{4}$ . Die Streuungen der Kräfte war erheblich Es wurde auf die Abhängig von der Rohdichte und Jahrringlage der Hölzer hingewiesen. Die mittlere Anpresskraft für Nägel 31/80 wurde vom Autor mit rund 7,5 N/mm<sup>2</sup> (?) angegeben.

Weiters schildert Kolb Ergebnisse von Scherprüfungen von mit fugenfüllenden Kauritleim W und Kauritleim WHK verklebten Prüfkörpern. Diese wurden mittels einer dreiteiligen Prüfkonfiguration (belastetes Mittelholz mit Übertragung auf zwei Seitenhölzer) geprüft. Es wurden annähernd dieselben Scherfestigkeiten wie mit Zwingen gepressten Prüfkörpern erreicht. Mit zunehmenden Nagelabstand (es wurden unterschiedliche Nagelabstände untersucht) fielen Scherfestigkeitswerte ab. Mit Ausnahme eines Prüfkörpers ( $f_v = 2,6 \text{ N/mm}^2$ ) lagen alle übrigen Scherfestigkeiten über  $f_v = 3,0 \text{ N/mm}^2$ .

Weiters wurden von Kolb Bauteilversuche mit schraubpressverklebten Biegeträgern gefahren. Dabei wurde festgestellt, dass bei sorgfältiger Herstellung der SPV mit einem im Mittel lediglich 0,1 N/mm<sup>2</sup> bis 0,14 N/mm<sup>2</sup> hohen Pressdruck genügend hohe Schubfestigkeiten der Träger beobachtet werden konnten. Abschließend erwähnt Kolb publizierte Prüfungen aus den USA bei denen Nägel in einem Abstand von 100 mm<sup>2</sup> bzw. 10.000 mm<sup>2</sup> Einflußfläche je Nägel in Voll- und Sperrholz zum Zweck einer SPV mit Kaseinleim eingetrieben wurde. Die empfohlene Nagellänge beträgt für 24 mm dicke Bretter 64 mm. Mit den von Kolb ermittelten Diagramm wird damit ein Pressdruck von rund 0,09 N/mm<sup>2</sup> erreicht.

#### 2-3.1.2 „Abklärung der sicherheitstechnisch maßgebenden Faktoren bei der Herstellung von kostensparenden Nagelpressverleimungen“

Diese Forschungsarbeit [22] bildet die Grundlage für die späteren Regelungen zur Schraubpressverklebung in DIN 1052, deren Ergebnisse in wesentlichen Teilen auch in ÖNORM B 1995-1-1:2015 übernommen wurde.

Im Rahmen von insgesamt 80 Prüfserien mit je 20 Prüfkörpern wurde die Pressverklebung mittels Aufbringung des Pressdruckes durch glattschaftiger Nägel, Sondernägeln und Schrauben (eine Serie) untersucht. Methodisch wurde in ähnlicher Weise vorgegangen wie bei den durchgeführten Scherprüfungen (Kleinprüfkörper mit einer Scherfläche von 50 x 50 mm) dieser Masterarbeit. Auf Brettschichtholzträger wurden einerseits Fichtenbrettern mit einer mittleren Rohdichte von 465 kg/m<sup>3</sup> und einem Variationskoeffizienten COV = 6,15% sowie einer Holzfeuchte von  $u = 10\% \pm 2\%$  mit Dicken von  $t = 20 \text{ mm}$  und  $t = 30 \text{ mm}$  geklebt. Die Bretter unterlagen einer Rohdichtesortierung nach DIN EN 28970 (Verfahren 2) und wurden nach DIN 4074 festigkeitssortiert. Andererseits wurden Baufurnierschichtholzplatten BFU-Bu nach DIN 68705, Teil 5 mit den Dicken  $t = 18 \text{ mm}$  und  $t = 30 \text{ mm}$  als aufzuklebende Fügebauteile verwendet. Als Klebstoff wurden zwei fugenfüllende Klebstoffe (Dynosol S-

204 mit Härter H-627 im Mischungsverhältnis 1:5 und Kauresin 460 mit Härter H-669 im Mischungsverhältnis 1:5) mit einer Klebstoffauftragsmenge von 600 g/m<sup>2</sup> verwendet.

Der Pressdruck für die SPV wurde mittels glattschaftiger Nägel (31/70 und 34/90 jeweils händisch und manuell eingetrieben), Sondernägel der Klasse III (31/70 und 34/90), Passlode Ringplex Nägel (Typ A und B) sowie Holzschrauben (ABC Spax-S, Typ 5/70 und Typ 5/90) verwendet.

Die Einflussfläche je Nagel bzw. Sondernagel wurde mit einem Raster 80/80 mm und 120/120 mm definiert. Die Schrauben wurden in einem Raster von 120 x 120 mm und 200 x 200 mm angeordnet.

Als Resultat der unterschiedlichen Prüfserien gibt der Autor bekannt, dass keine eindeutig zu bevorzugende Kombination aus Nägeln, Klebstoff und aufgeleimten Material identifiziert werden konnte. Für etwa 5% der Serien ergaben sich geringe Festigkeiten, wobei auf einen charakteristischen Scherfestigkeitswert von  $f_{v,k} = 3,00 \text{ N/mm}^2$  Bezug genommen wurde. Über 50% der Serien erreichten charakteristische Scherfestigkeiten von mehr als  $f_{v,k} = 6,00 \text{ N/mm}^2$ . Hohe Festigkeiten wurden besonders bei den aufgeklebten Brettern erreicht, wobei nur in wenigen Ausnahmen ein Scherversagen in der Leimfuge auftrat. Geringe Scherwerte waren in der Regel auf eine nicht vollständige Verklebung infolge zu geringen Pressdrucks bei „verworfenen“ Brettern zurückzuführen. Explizit wird vom Autor darauf hingewiesen, dass bei den Prüfkörpern mit Baufurnierschichtholz aus Buche (BFU-Bu) im Allgemeinen Rollschubbrüche auftraten, wobei trotzdem charakteristische Werte der Scherfestigkeiten von  $f_{v,k} \geq 3,00 \text{ N/mm}^2$  erreicht wurden.

Bei einer kritischen Betrachtung der Ergebnisse von Brüninghoff fallen folgende Ungereimtheiten auf:

- bei den Ergebnissen der aufgeklebten Bretter

Bei gleichem Raster traten bei den Brettern mit geringer Dicke ( $t = 20 \text{ mm}$ ) überwiegend signifikant höhere charakteristische Scherfestigkeiten auf, als es bei den Brettern mit höherer Dicke ( $t = 30 \text{ mm}$ ) der Fall war. Dies ist insofern unplausibel, als dass bei den Brettern mit höherer Dicke eine deutlich höhere Steifigkeit mit entsprechend höherer Verteilwirkung der aufgebrauchten Nagelkraft erwartet werden kann. Als Begründung kann folgender Umstand dienen: Obwohl sich die Mittelwerte durchwegs in ähnlicher Größenordnung befinden, fällt auf, dass bei den Prüfserien mit höherer Dicke im Allgemeinen wesentlich höhere Variationskoeffizienten errechnet werden konnten. Es kann vermutet werden, dass die aufgebrauchten Schraubenkräfte streuen. Bei den dünneren Brettern wird sich die Schraubenkraft auf einen kleineren Bereich verteilen, als bei den dickeren sodass sich die Abweichungen dadurch erklären lassen. Weiters gilt es die Effekte der Lastverteilung auf Grund der Anisotropie parallel und rechtwinklig zu beachten.

Durchgehend traten bei den Prüfkörpern mit größerem Raster (120 x 120 mm) und mit kleinerem Raster (80 x 80 mm) annähernd gleich Mittelwerte der Scherfestigkeiten auf (min  $f_{v,mean} = 8,68 \text{ N/mm}^2$  und max  $f_{v,mean} = 10,1 \text{ N/mm}^2$ ), auf Grund der höheren Variationskoeffizienten für jedoch für die Prüfkörper mit kleinerem Nagelraster durchwegs geringere charakt. Scherfestigkeitskennwerte erreicht, als bei den Prüfserien mit größerem Raster (120 x 120 mm). Ein Rückschluss auf die Rasterabmessungen kann daher aus den Ergebnissen dieser Arbeit – zumindest für Bretter als aufzuklebender Füge teil – nicht vorgenommen. Trotzdem wurden die nachfolgenden normativen Regelungen in DIN 1052 auf eine Einflußfläche von 15.000 mm<sup>2</sup> pro Nagel bzw. Schraube festgelegt (zum Vergleich: 120 x 120 = 14.400 mm<sup>2</sup>).

- bei den Ergebnisse der aufgeklebten Baufurnierschichplatten BFU-Bu

Die Ergebnisse zeigen zum einen im Vergleich zu den aufgeklebten Brettern auffallend tiefe Werte der Scherfestigkeit, sowohl für den Mittelwert, als auch den charakteristischen Wert. Die Variationskoeffizienten sind trotz streuenden Charakters in ähnlicher Größenordnung wie bei den Brettern. Im Allgemeinen kann ein annähernd gleicher charakteristischer Wert unabhängig von der Dicke der BFU-Bu ( $t = 18 \text{ mm}$  und  $t = 30 \text{ mm}$ ) Platten beobachtet werden. Bei größeren Rasterabmessungen (120 x 120 mm) treten durchwegs höhere Scherfestigkeitswerte auf, als bei den Kleineren (80 x 80 mm). Dieser Umstand ist erstaunlich.

Für die beiden Prüfserien mit Schrauben wurden Raster von 120 x 120 mm und 200 x 200 mm untersucht. Obwohl die Einflußfläche der Schraube ein Verhältniss von  $14.400 \text{ mm}^2$  zu  $40.000 \text{ mm}^2 = 1 : 2,78$  aufweisen traten annähernd gleich Mittelwerte und charakteristische Werte mit, im Vergleich zu den Prüfserien mit Nägeln geringeren Variationskoeffizienten von rund 12 % (11,9% und 12,8%) auf.

Die Ergebnisse sind insofern mit großen Zweifeln zu betrachten, als das der Autor selbst feststellt, dass bei den meisten Prüfkörpern mit BFU-Bu als aufzuklebenden Teil ein Rollschubversagen dokumentiert wurde. Damit wird aber auch klar, dass in dieser Arbeit nicht das Versagen der Scherfuge der SPV untersucht wurde, sondern die Festigkeit des angrenzenden Baustoffes (auf Rollschub). Die Ergebnisse müssen daher als unbrauchbar für die Beurteilung der Zuverlässigkeit der SPV und der sie beeinflussenden Parameter betrachtet werden. Umso erstaunlicher ist es, dass die gültigen normativen Regelungen in Deutschland und Österreich auf dieser Forschungsarbeit beruhen.

### 2-3.1.3 „Screw Gluing KERTO-LVL Structures With Polyurethane Adhesives“

M. Kairi et. al. [23] haben die mittels Schraubpressverklebung erfolgte Verklebung von Furnierschichtholz (KERTO-S) mit Polyurethan Klebstoff untersucht. Die Untersuchungen erfolgten in zwei Teilen: Zum einen wurden Prüfkörper mit einem gleichmäßig aufgebracht Pressdruck in der Höhe von  $0,01 \text{ N/mm}^2$  bis  $0,80 \text{ N/mm}^2$  betrachtet. Diese wurden anschließend einer Scherprüfung unterzogen, wobei auch die Klebefugendicke erhoben und dokumentiert wurde. Die Ergebnisse zeigten, dass zwischen den Serien mit einem „geringem“ Pressdruck zwischen  $0,03 \text{ N/mm}^2$  und  $0,10 \text{ N/mm}^2$  keine nennenswerten Unterschied zu dem, üblicherweise in der Produktion verwendeten, Pressdruck von  $0,80 \text{ N/mm}^2$  nachgewiesen werden konnten.

Im zweiten Teil der Forschungsarbeit wurden Rippenplattenquerschnitte aus dem Furnierschichtprodukt KERTO-S mittels Schrauben (Nenndurchmesser  $d = 6 \text{ mm}$ , Kopfdurchmesser  $d_{\text{head}} = 10,6 \text{ mm}$ ) geprüft. Dabei wurde sowohl der Schraubenabstand (von  $300 \text{ mm}$  bis  $650 \text{ mm}$ ), der Randabstand (von  $100 \text{ mm}$  bis  $200 \text{ mm}$ ), die Klebstoffauftragsmenge (von  $200 \text{ g/m}^2$  bis  $300 \text{ g/m}^2$ ) sowie die Holzfeuchte der Fügeiteile ( $u = 9\%$  bis  $u = 14\%$ ) systematisch variiert. In der Folge wurden den Rippenplatten Kleinprüfkörper entnommen und einer Scherprüfung unterzogen. Die Parameterkombination: Schraubenabstand  $400 \text{ mm}$ , Randabstand  $100 \text{ mm}$  bis  $150 \text{ mm}$  und die Klebstoffauftragsmenge  $250 \text{ g/m}^2$  stellte sich dabei als am Effektivsten für das Erreichen einer guten Klebefugenfestigkeit heraus. Als wesentlich wurde weiters das Vorliegen einer ebenen, glatten Verklebungsoberfläche identifiziert.

### 2-3.1.4 „Srew Gluing – Theoretical and Experimental Study on Screw Pressure Distribution and Glue Line Strength“

Dieser Beitrag setzt sich mit möglichen Mess- und Prüfverfahren zur Beurteilung des mittels Schrauben aufgebracht Pressdruckes auseinander [2] [24]. Dabei wurde der Einfluss der (a) Fügeiteilstärke, (b) Holzart und (c) Schraubenköpfe mittels Druckmessfolien qualitativ untersucht. Solche Folien bestehen aus drei Schichten mit dazwischen liegenden farbgefüllten Mikrokapseln. Die Mikrokapseln platzen in Abhängigkeit der Höhe des aufgebracht Pressdrucks auf und sind für unterschiedliche Pressdruckbereiche erhältlich. Aus der Intensitätsabstufung ihrer Färbung kann ein qualitativer Rückschluss auf den Pressdruck gezogen werden. Wie in Abbildung 2-10 gezeigt, wurden die Folien vor dem Einschrauben zwischen zwei Holzelementen eingesetzt. Die in Abbildung 2-11 bis Abbildung 2-14 dargestellten Ergebnissen haben den vermuteten Einfluss der Steifigkeit/Dicke des aufzuklebenden Teils bestätigt: die sehr lokalisierte Pressdruckkonzentration unter einer Schraube bei aufzuklebendem Teil aus Fichte sind bei Verwendung von Brettern aus Birke auf Grund deren, im Vergleich zu Fichte, höherer Steifigkeit (E-Moduln) in beide Faserrichtungen erkennbar vergrößert. Bei Verwendung von BSP mit einer Plattendicke von  $t_{\text{BSP}} = 100 \text{ mm}$  ist der Pressdruck gleichmäßiger, aber auf Grund der größeren Lastverteilungsfläche zugleich geringer. Der Einsatz von Schrauben mit größeren Schraubenköpfen (Abbildung 2-14), wirkt sich erwartungsgemäß positiv auf die Pressdruckhöhe aus.



Abbildung 2-10: Druckmessfolien zwischen den nichtverklebten Fügeteilen [2]

Den nachfolgenden Abbildungen ist der qualitative Verlauf der Verteilung der Schraubenkraft in der Klebefuge zu entnehmen. Die in der pinkfarbenen Farbbereiche wurden mittels Druckmessfolien mit einem Druckbereich zwischen  $0,05 \text{ N/mm}^2$  und  $0,2 \text{ N/mm}^2$  erhalten, während die darunterliegenden Folien für einen Druckbereich zwischen  $0,2 \text{ N/mm}^2$  und  $0,6 \text{ N/mm}^2$  ausgelegt sind.



Abbildung 2-11: Fichte |  $t = 15 \text{ mm}$  |  $d_{\text{head}} = 22 \text{ mm}$  [24]



Abbildung 2-12: Birke |  $t = 25 \text{ mm}$  |  $d_{\text{head}} = 22 \text{ mm}$  [24]

- BSP |  $t = 100 \text{ mm}$  |  $d_{\text{head}} = 22 \text{ mm}$



Abbildung 2-13: BSP |  $t = 100 \text{ mm}$  |  $d_{\text{head}} = 22 \text{ mm}$  [24]





Abbildung 2-14: **BSP** |  $t = 100 \text{ mm}$  |  $d_{\text{head}} = 35 \text{ mm}$  [24]

Als weiteres Ergebnis wurde von Bratulič der zeitliche Verlauf der aufgetragenen Schraubenkraft mittels DMS-Messtechnik auf Stahlhülsen untersucht. Nach Kalibrierung dieser Hülsen ist es möglich, die aufgetragene Kraft mit einer Genauigkeit von rund  $\pm 20\%$  (je nach Kraftbereich) zu messen. Zusätzlich kann der Durchmesser des Schraubenkopfes mittels Adapter mit unterschiedlichem Durchmesser simuliert werden. Als Ergebnis wurde erhalten, dass die aufgetragene Schraubenkraft, aufgrund eines kombinierten Kriech-/Relaxationseffektes bereits nach rund drei Stunden um bis 35% ihres Ausgangswertes abfällt. Dieser Effekt sollte bei der Auslegung einer SPV berücksichtigt werden, weil die Aushärtung des Klebstoffes insbesondere in den ersten Stunden nach Aufbringung der Schraubenkraft stattfindet, also in jenem Zeitbereich, in dem die aufgetragene Schraubenkraft besonders stark abfällt.

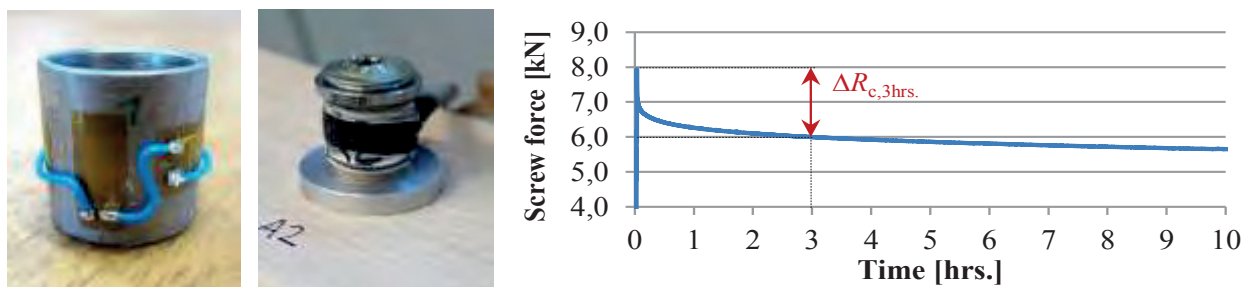


Abbildung 2-15: zur Ermittlung der aufgetragenen Schraubenkraft verwendete Druckmesshülsen und zeitlicher Verlauf der aufgetragenen Schraubenkraft [2]

### 2-3.1.5 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus vorliegenden Forschungsarbeiten zur Schraubpressverklebung

Aus den vorliegenden Forschungsergebnissen können folgende Rückschlüsse auf die vorliegende Masterarbeit gezogen werden.

- Die beeinflussenden Parameter der SPV sind noch nicht systematisch untersucht und aufbereitet worden. Insbesondere liegen bis auf Bratulič keine Angaben hinsichtlich der mittels des Schraubenkopfes aufbringbaren Schraubenkraft in Abhängigkeit von der Dicke des aufzuklebenden Teils und des dafür verwendeten Materials vor. Wie in Bratulič experimentell in qualitativer Weise und anschaulich aufgezeigt, existiert jedoch ein diesbezüglicher Zusammenhang. Grundsätzlich müssen bei der SPV eine Differenzierung bei Verwendung „dünner“ Holzwerkstoffe mit geringer schraubenkraftverteiler Wirkung und damit einhergehend lokal begrenzten Schraubenpressungen und solche mit ausreichender Dicke bzw. Steifigkeit unterschieden werden.
- Für die weitere Betrachtung ist es daher zielführend ein „Steifigkeitskriterium“ und ein „Pressdruckkriterium“ einzuführen. Während bei ersterem neben der, vor allem die Dicke und der E-Modul des aufzuklebenden Teils eine besondere Bedeutung auf den (zu optimierenden) Schraubenabstand bei der SPV haben, tritt diese Abhängigkeit bei „steifen“ aufzuklebenden Fügebauteilen – z. B. insbesondere BSH-Rippen bei BSP-BSH-Rippenplatten – in den Hintergrund. Für solche Bauteile hängt der vorzusehende Schraubenabstand in erster Linie von der aufbringbaren Schraubenkraft und damit vom erreichbaren Pressdruck ab. Dieser wird einerseits durch das verwendete Material und andererseits durch den Schraubenkopfdurchmesser beeinflusst.



- Hinsichtlich des mit einer SPV erreichbaren und für eine Verklebung erforderlichen Pressdruckes kann grob ein „Basispressdruck“ von  $p_{\min,SPV} \approx 0,1 \text{ N/mm}^2$  angegeben werden. Dieser reicht offensichtlich aus, um Klebefugen mit ausreichender Festigkeit herzustellen. Dieser Pressdruck gilt jedoch nur für ebene und glatte Bauteiloberflächen der zu fügenden Teile. Insbesondere bei steiferen, zu verklebenden Füge­teilen ist zusätzlich ein Pressdruck  $\Delta p$  aufzubringen, der dafür sorgt, dass die vorhandenen Klaffungen auf Grund von Vorverformungen, Vorkrümmungen und/oder Schüsselungen an der Bauteiloberfläche geschlossen werden und somit der Kontakt der zu fügenden Teile während der Klebstoffaushärtung ausreichend gegeben ist. Die Höhe dieses zusätzlich aufzubringen Pressdruckes ist in erster Linie von der Steifigkeit und den Toleranzen der Bauteile abhängig und ist dementsprechend zu variieren.
- Wie Bratulic in [2] und [24] fällt die aufgebrachte Schraubenkraft bereits nach drei Stunden auf Grund von Kriech-/Relaxationseffekten um bis zu 35% ab. Dieser Umstand ist bei der Auslegung der Parameter der verwendeten Schraube sowie des Schraubenabstandes zu berücksichtigen. Zielführend ist dies über die Berücksichtigung eines Teilsicherheitsbeiwertes für die Schraubenkraft in ausreichendem Maße und ausreichender Genauigkeit möglich.

## 2-3.2 NORMATIVE REGELUNGEN ZUR **SCHRAUBPRESSVERKLEBUNG IN ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1]**

Den Ausgangspunkt dieser Masterarbeit liefern die Festlegungen zur Schraubpressverklebung und deren derzeitige Verankerung in der ÖNORM B 1995-1-1: 2015, Anhang H [1]. Die Passagen dieses normativen Anhangs wurden großteils aus DIN 1052:2008 übernommen und basieren daher auf den Erkenntnissen der Arbeit von Brünninghoff [22].

Grundsätzlich ist darin geregelt, dass SPV in der Nutzungsklasse 1 und 2 angewendet werden dürfen.

Der Pressdruck zur Verklebung darf mittels SPV aufgebracht werden, wenn folgende Bereiche der Dicken für die aufzuklebenden Teile eingehalten sind:

- bei (Vollholz-) Brettern mit einer Dicke zwischen 20 mm und 45 mm
- bei Holzwerkstoffen mit einer Dicke zwischen 10 mm und 50 mm.

Bei der Herstellung einer Schraubenpressverklebung sollen im Allgemeinen geeignete fugenfüllende Klebstoffe verwendet werden [1]. Kann zuverlässig sichergestellt werden, dass die Klebefugendicke  $\leq 0,3$  mm ist, dürfen zu diesem Zweck auch Klebstoffe verwendet werden, welche die Anforderungen nach ÖNORM EN 15425, ÖNORM EN 301 oder ÖNORM EN 302, Typ I erfüllen.

Um eine Schraubenpressverklebung normgemäß durchzuführen, sind Schrauben (für tragende Zwecke) gemäß ÖNORM EN 14592 und/oder gültiger Europäischer Technischer Bewertung mit einem Nenndurchmesser  $d \geq 6$  mm zu verwenden. Die Verankerungslänge auf der Seite der Schraubenspitze hat mindestens  $7 \cdot d$  ( $d$  ... Nenndurchmesser) zu betragen und muss gleichzeitig größer sein, als die Dicke des aufzuklebenden Teils. Für Dicken des aufzuklebenden Teils  $\geq 30$  mm dürfen nur Schrauben mit einem Kopfdurchmesser  $d_{\text{head}} \geq 2,4 \cdot d$  bzw. Schrauben mit entsprechender Unterlegscheibe verwendet werden. Der maximale Abstand hin zu den Enden und Rändern darf den Abstand  $10 \cdot d$  nicht überschreiten. Die Länge des Schaftes von Teilgewindeschrauben ist so auszuwählen, dass im aufzuklebenden Teil kein Schraubengewinde vorhanden ist. Für den Fall, dass der aufzuklebende Füge teil vorgebohrt wird, darf die Bohrung maximal bis auf eine Resttiefe von 1 mm erfolgen um ein Austreten des Klebstoffes entlang der Bohrung zu verhindern. Die Schrauben sind in einem Abstand anzuordnen, dass im Bereich einer Klebefläche von max. 15.000 mm<sup>2</sup> (Einflußfläche pro Schraube) zumindest eine Schraube angeordnet ist. Dabei darf der maximale Abstand der Schrauben in Längs- bzw. Decklagenrichtung  $a_1$  bzw. quer dazu (rechtwinklig zur Decklagenrichtung)  $a_2$  einen Abstand von 150 mm nicht überschreiten. Diese Regelung ist in Abb. 2.14 veranschaulicht.

Darin bedeuten

- (1) zulässiger Bereich
- (2) nichtzulässiger Bereich
- (3) aufzuklebender Teil
- (4) Tellerkopfschraube: bei  $t \geq 30$  mm; Kopfdurchmesser  $d_h \geq 2,4 \cdot d$
- (5) Klebefuge

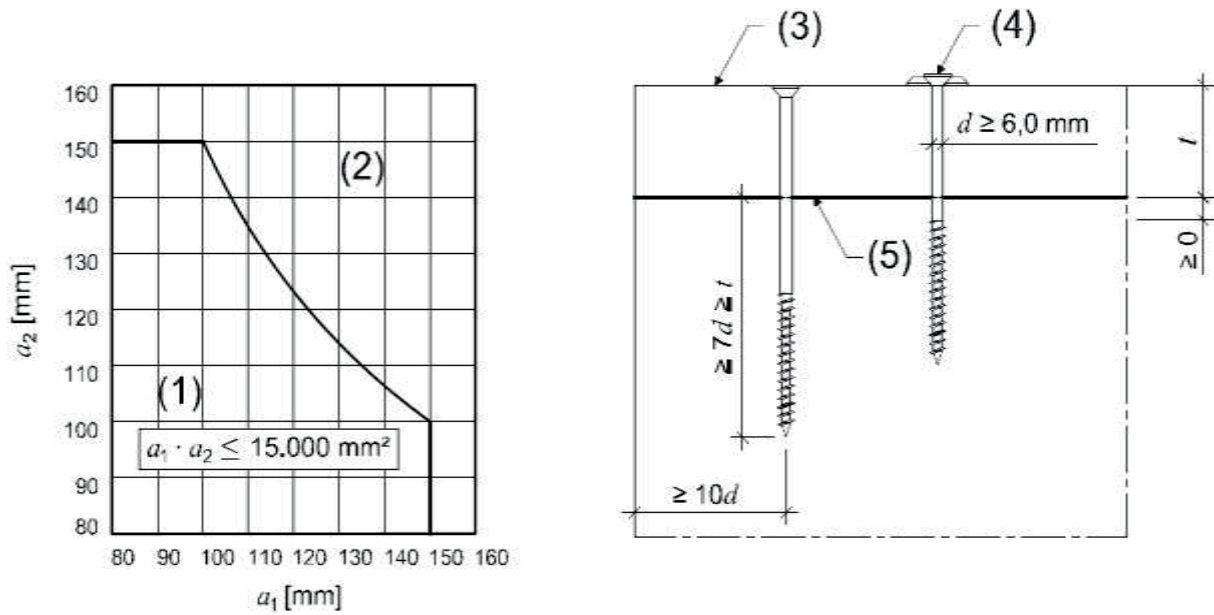


Abbildung 2-16: einzuhaltende Randbedingungen bei einer Schraubpressverklebung nach ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1]

Werden mehrere Lagen aufgeklebt, ist jede Lage für sich zu verschrauben. Die Holzbauschrauben müssen versetzt angeordnet sein, damit das Vorhandensein eines ausreichenden Pressdrucks in allen Fugen sichergestellt ist. Die Schraubenköpfe sind in den Zwischenlagen (zumindest) bündig mit der Oberfläche zu versenken.

Die Fügeiteiloberflächen müssen bei der Verklebung staub- und schmutzfrei sein, wobei die Oberflächen i. Allg. geschliffen oder gehobelt sein und den Anforderungen des Klebstoffherstellers entsprechend vorbereitet werden müssen (z. B. die Oberfläche von OSB). Die Holzfeuchtigkeit der Fügeiteile sind auf den verwendeten Klebstoff abzustimmen (z. B. bei Polyurethanklebstoffen (PU)). Der Holzfeuchtedifferenz  $\Delta u$  der Fügeiteile darf maximal 5% betragen.

Um die Verklebungsqualität zu überprüfen, müssen bei mind. 10% der Klebefugenanzahl bzw. der aufgeklebten Teile, mindestens aber einmal je Produktionsschicht, Bohrkern ( $d \geq 72 \text{ mm}$ ) entnommen werden und anschließend entsprechend den Festlegungen einer Scherprüfung nach ÖNORM EN 14080 [25] unterzogen werden. Der Mindestwert der Klebefugen (scher-) festigkeit einer SPV muss dabei  $f_v \geq 3,0 \text{ N/mm}^2$  betragen.

Prinzipiell gilt die Mindestanforderung der Klebefugenfestigkeit einer Schraubpressverklebung als erreicht bei  $f_v \geq 3,0 \text{ N/mm}^2$  [1]

## 2-3.3 GRUNDSÄTZLICHE WISSENSCHAFTLICHE FRAGE IM ZUSAMMENHANG MIT DER SCHRAUBPRESSVERKLEBUNG

Im Zusammenhang mit der Schraubpressverklebung sind auf Basis des vorliegenden Standes des Wissens und den normativen Regelungen folgende prinzipielle wissenschaftliche Fragen zu klären. Diese bilden gleichzeitig den Schwerpunkt der Bearbeitung im Rahmen dieser Masterarbeit.

Es sind Antworten auf folgende Fragestellungen zu finden:

- Welche Kraft kann mit den marktüblichen Schrauben vom Schraubenkopf in den aufzuklebenden Teil bzw. mit diesem im Gleichgewicht stehenden Schraubenauszugswiderstand in den Basisbauteil eingebracht werden? Diese Frage steht im direkten Zusammenhang mit dem erreichbaren Kopfdurchziehparameter  $f_{\text{head}}$  und dem (rechnerischen) Pressdruck in der Klebefuge.
- Besteht ein Unterschied in der Krafteinleitung bzw. der einbringbaren Schraubenkraft in Abhängigkeit des Typs des Schraubenkopfes (Senk- bzw. Tellerkopf)?
- Welche mechanischen Mechanismen sind hinsichtlich der Mindest- bzw. Maximaldicke des aufzuklebenden Teils zu beachten? Besteht eine Abhängigkeit vom Typ des verwendeten Holzes bzw. Holzwerkstoffes und ist eine diesbezügliche Festlegung erforderlich?
- Wie groß darf der maximale Schraubenabstand sein und durch welche Parameter wird dieser beeinflusst?
- Durch welche Faktoren wird der erforderliche Pressdruck in der Klebefuge beeinflusst? Insbesondere ist abzuklären, welcher „Basispressdruck“ ist für ebene Fügeiteiloberflächen erforderlich und welcher zusätzlicher Pressdruck muss zusätzlich bei vorverformten bzw. vorgekrümmten Bauteilen zur Überwindung der Toleranzen und zur Erreichung einer einwandfreien Verklebung aufgebracht werden?
- Welche qualitätssichernden Maßnahmen sind für eine funktionierende, die Anforderungen erfüllende, Schraubpressverklebung unerlässlich und wie können diese in praxisrelevanter Form durchgeführt werden?

## KAPITEL 3: QUALITÄTSMANAGEMENT

### 3-1 WAS IST QUALITÄT?

---

Obwohl der Begriff „Qualität“ im täglichen Sprachgebrauch häufig verwendet wird, ist oftmals nicht klar, was damit gemeint ist. Nachfolgend soll deshalb auf Definitionen einiger Literaturquellen zurückgegriffen werden:

- „Qualität ist der Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt.“ (ISO 9000:2015) [26]
- „Qualität ist die Fähigkeit Bedürfnisse zu befriedigen.“ (Meyers Konversationslexikon 1978) [27]
- „Qualität ist die Erfüllung festgelegter und vorausgesetzter Forderungen“ (Philip B. Crosby) [26]

Somit wird unter Qualität gewissermaßen ein Vergleich auch immateriell Art verstanden [28]. Qualität kann als die Erfüllung bestimmter Bedürfnisse und auch Anforderungen beschrieben werden [26]. „Wer Wert auf Qualität legt, zeigt damit, dass ihm etwas an den Dingen liegt, die ihn umgeben, an den Menschen, mit denen er es zu tun hat, und an den Verhältnissen, in denen wir zusammen leben und arbeiten“ [29]. Demnach kann auch festgestellt werden, dass Nachlässigkeit bezüglich Qualität ein Zeichen der Verantwortungslosigkeit Dingen und Menschen gegenüber ist [29].

Es gibt folgende verschiedene Sichtweisen auf den Qualitätsbegriff:

- produktbezogen
- anwenderbezogen
- prozessbezogen
- Preis-/ Nutzenbezogen (wertorientiert) [30]

Beim **prozessbezogenen Ansatz** geht es um das ingenieur- und produktbezogene Denken. Hier sind Abläufe bei der Erstellung von Arbeiten festgelegt und bestimmte Standards werden durch die Einhaltung von Regeln und Normen bei der Erstellung gewährleistet. Der **produktorientierte Ansatz** wird als praxisnahe Sichtweise betrachtet, bei welchem für jedes Produkt quantitativ messbare Qualitätsmerkmale definiert werden. Beim **anwenderbezogenen Ansatz** richtet sich Qualität nach den speziellen Bedürfnissen der Kunden. Der **wertorientierte Ansatz** bezieht sich auf das Preis-Leistungs-Verhältnis und ist aus diesem Grund ebenso ein praxisorientierter Ansatz, da dieses Verhältnis häufig als Grundlage einer Kaufentscheidung dient [30].

### 3-2 QUALITÄTSMANAGEMENT

---

Ursprünglich hat das organisationale Qualitätsmanagement, wie es heute in der Produktion und Dienstleistung Anwendung findet, seinen Ursprung in der japanischen Autoindustrie, in welcher man versuchte, jegliche Abweichung und Fehler durch systematische Vorgänge zu vermeiden [29]. Beim Qualitätsmanagement geht es vor allem um planmäßiges, nachvollziehbares Vorgehen, welches eine präventive Wirkung mit sich bringt [31]. Mit dieser Vorgehensweise haben sich die so handelnden Unternehmen einen klaren Wettbewerbsvorteil am Weltmarkt erarbeitet. Der sichtbare Erfolg, motivierte dann auch andere Industrieländer dazu ähnlich vorzugehen [29].

Das heutige sogenannte „Total Quality Management“ (TQM) bildete sich im amerikanischen und europäischen Raum heran. Bei genauer Betrachtung des TQM konnte man jedoch sehr bald erkennen, dass sich keine neuen bzw. bisher völlig unbekanntenen Elemente darin befinden. Es handelt sich um eine

systematische und konsequente Anwendung definierter Methoden, welche klar auf die Qualität sowie die Kundenzufriedenheit ausgerichtet sind. Dabei geht es darum, das gesamte Unternehmen mit allen Mitarbeitern und allen Aktivitäten, sowie die gesamte Unternehmensumwelt miteinzubeziehen und damit vorgegebene Qualitätsziele zu erreichen [31]. Folgende Abbildung soll den Grundgedanken von TQM aufzeigen:

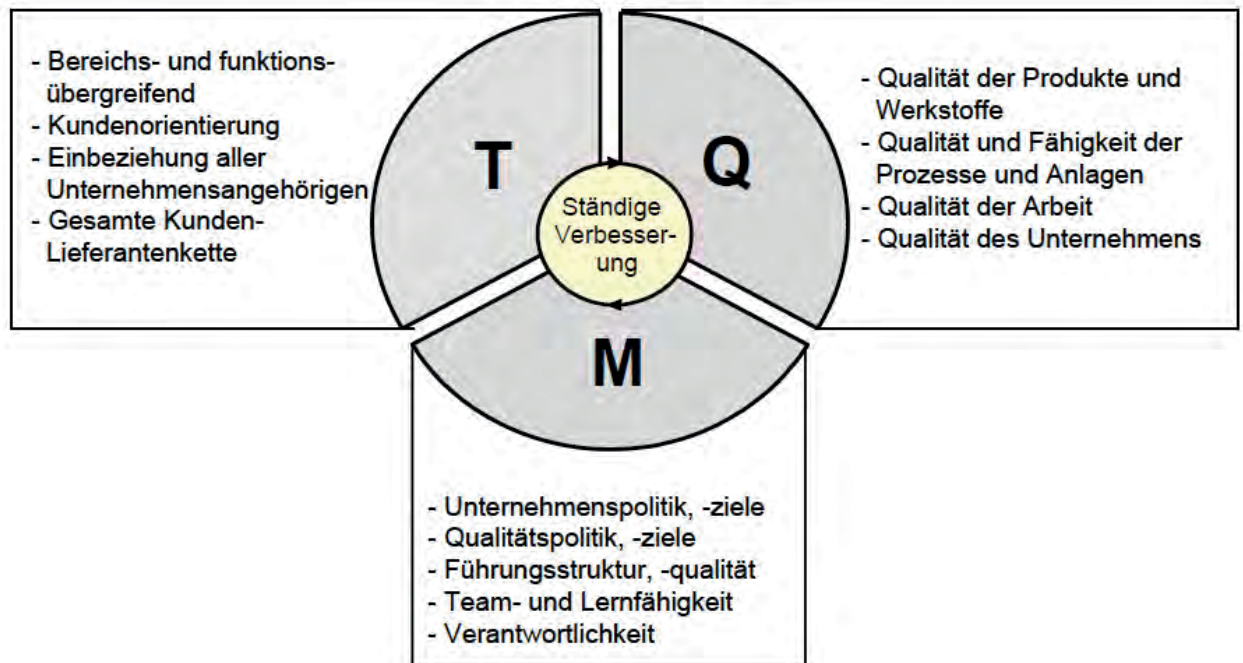


Abbildung 3-1: Übersicht zu den Grundgedanken des Total Quality Management [31]

Bringt ein Unternehmen Produkte sehr guter Qualität auf den Markt und entsprechen diese auch den Kundenanforderungen, dann ist dies kein Zufall, sondern das wertvolle Ergebnis systematischer Vorgehensprozesse [31].

### 3-3 QUALITÄTSKONTROLLE IM ZUSAMMENHANG MIT DER SCHRAUBPRESSVERKLEBUNG

Im Laufe der Zeit hat sich das Qualitätsmanagement immer weiterentwickelt und ausgebaut. Es reicht hier von der Qualitätskontrolle, über die Qualitätssicherung bis hin zum bereits erwähnten „Total Quality Management“. Bei der Qualitätskontrolle geht man davon aus, dass die Qualität des Produktes in einer solchen Weise kontrolliert wird, dass die als Basis für spätere Verwendung definierten Eigenschaften und Kerngrößen z. B. eines Produkts auch zuverlässig eingehalten sind. Qualität und Produktion sind jedoch zwei getrennte Aufgabenbereiche [30]. Bei Qualitätskontrolle wird hier von der Überprüfung bzw. Darlegung von Produkten, aber auch von bestimmten Zertifizierungen gesprochen. Leitlinien sollen von Beginn an berücksichtigt werden, sowie einzelne Prozesse auch dementsprechend dokumentiert. Um die Qualität überprüfen zu können, sollen interne als auch externe Personen herangezogen werden, wobei prinzipiell ein Individuum für die Ergebnisse verantwortlich ist. [32]

Die Qualität einer Verklebung hängt in erster Linie von den in Abbildung 3-2 dargestellten Faktoren ab. Daneben haben auch Einflüsse der Umwelt, der Arbeitsplatzhygiene, aber auch die Dokumentation und Information tragen einen Teil zur Qualitätskette bei.





Abbildung 3-2: qualitätsbestimmende Faktoren einer Klebeverbindung [33]

Beim Kleben handelt es sich um einen sogenannten „speziellen Prozess“. Als „speziell“ werden jene Prozesse bezeichnet, deren Konformität des erzeugten Produktes nur mit zusätzlichem Aufwand bestätigt werden kann. Dieser Ausdruck umfasst zugleich die folgende Problematik: das Ergebnis eines Klebprozesses mittels darauffolgender Qualitäts- und Erzeugnisprüfungen kann nicht zerstörungsfrei bestimmt werden. Eventuelle Fertigungsmängel zeigen sich also erst ab dem Einsatz des hergestellten Produkts.

Die Qualität einer Klebeverbindung ist durch eine nachträgliche zerstörungsfreie Prüfung nicht vollständig zu bestätigen. Damit bleibt stets eine Restunsicherheit vorhanden. Deswegen ist es unbedingt notwendig die Qualität der Verbindung im Zuge der Konstruktion, der Arbeitsvorbereitung und der Produktion zu erzeugen und sicher zu stellen [33].

Dabei sind für die Qualität einer Klebeverbindung laut Angaben der Literatur speziell die folgenden Prozesse entscheidend:

- Herstellungsumgebung
- Vorbereitung der Fügeteil und des Klebstoffs
- Klebstoffauftrag
- Füge- und Fixierprozess
- Aushärtung
- Endkontrolle

Allgemein ist ein umfassendes Qualitätskonzept dann gegeben, wenn ganzheitlich, präventiv, prozessorientiert und kundenbezogen gearbeitet wird. Alle Mitarbeiter sollen bestenfalls in die Prozesse miteinbezogen werden. Durch systematische Planung und damit einhergehender Fehlervermeidung schon im Entwicklungsstadium, kommt es zu fortlaufender Verbesserung. Es gilt dabei auf Kundenwünsche Rücksicht zu nehmen und eine Produktbetreuung bis zu einer Wiederbeschaffung zu gewährleisten [30].

### 3-4 QUALITÄTSSICHERUNG

Wie man der nachstehenden Abbildung 3-3 entnehmen kann, ist die Qualitätssicherung eine von vier wesentlichen Faktoren des Qualitätsmanagements [34]. Damit ein Ingenieur auf eine tragende Klebeverbindung vertrauen kann, gibt es im Holzbau Möglichkeiten zur Bestimmung deren Qualität.

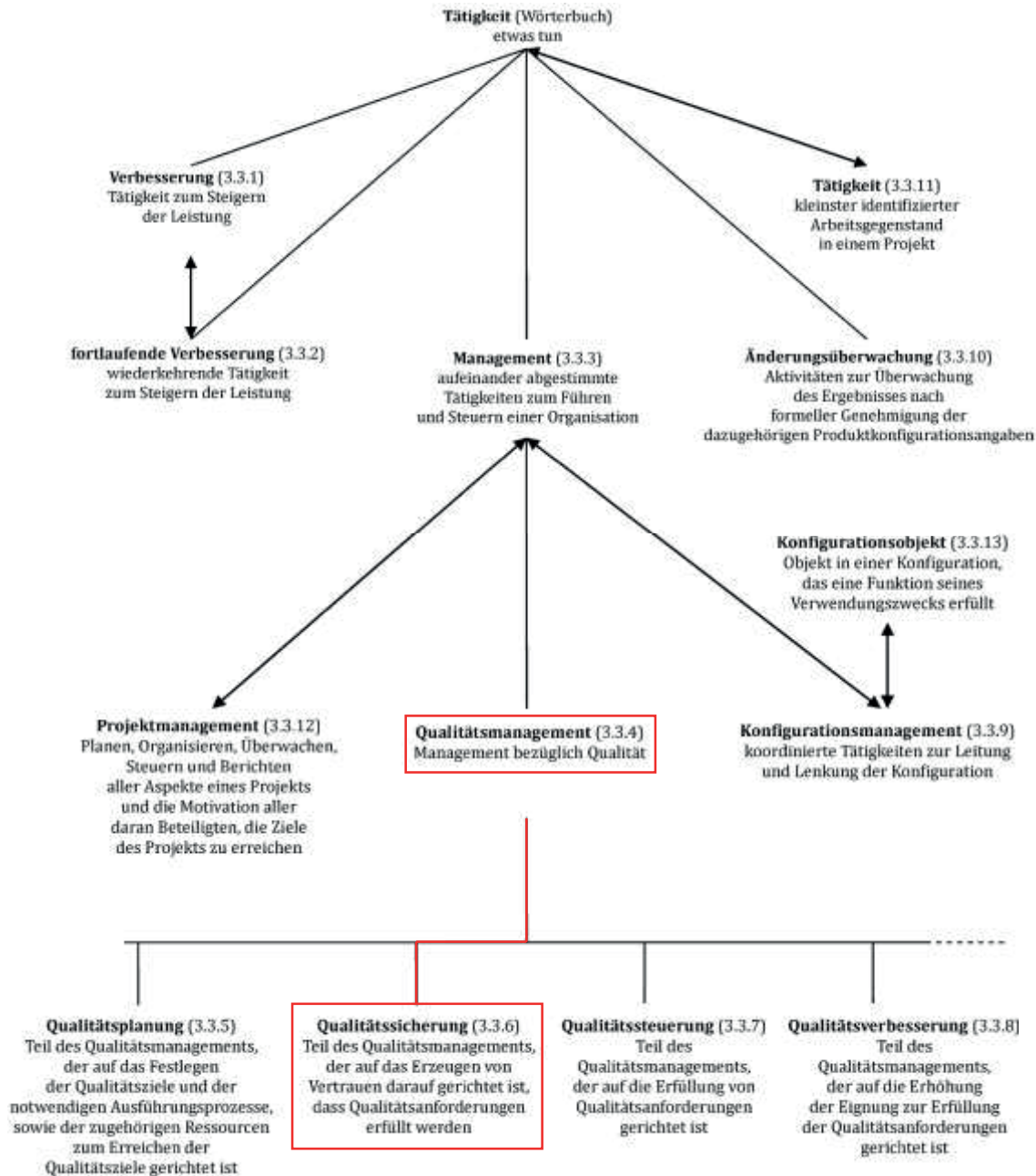


Abbildung 3-3: Definition bzw. Ableitung des Begriffs „Tätigkeit“ [34]



Im weiteren Abschnitt werden ausschließlich qualitätssichernde Maßnahmen mit Fokus auf die Schraubpressverklebung angeführt. In Anlehnung an die Verleimungshinweise von Prof. Ernst Gehri [35] sind diese Maßnahmen vor, während und nach dem Verkleben differenziert zu betrachten.

### 3-4.1 VOR DER VERKLEBUNG

Vor der Verklebung ist die Maßgenauigkeit der zu verbindenden Bauteile zu überprüfen. Dabei sind Vorverformungen mit einer Toleranz von  $\pm 1$  mm zu bestimmen. Wie in 8-3.6 dieser Arbeit angesprochen wird, müssen diese Unregelmäßigkeiten des Basis- und/oder des Fügeteils zum Zeitpunkt des Zusammenfügens berücksichtigt werden. In diesem Punkt wird auch die Ermittlung des zu bestimmenden Mindestpressdrucks für steifen- und plattenförmige Schraubpressverklebungen gezeigt und anhand von Zahlen verifiziert.

Die Holzfeuchte [%] und die Temperatur [°C] der Fügeteile sind ebenso vor der Verklebung zu kontrollieren. Dabei darf nach ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1] die Holzfeuchtedifferenz der Fügeteile nicht mehr als 5 % und nach ÖNORM EN 14080 [25] nicht mehr als 3 % voneinander abweichen. Generell gilt es die Angaben der Holzfeuchte [%] und der Temperatur [°C] in Abhängigkeit des verwendeten Klebstoffs bzw. Regelungen des Klebstoffherstellers zu beachten.

Vor dem Verkleben ist außerdem dafür zu sorgen, dass die Oberflächen staub- und schmutzfrei sind. Allgemein sollten die Bauteiloberflächen geschliffen bzw. gehobelt sein. Außerdem sind diese Flächen den Angaben der Klebstoffhersteller entsprechend vorzubereiten.

### 3-4.2 WÄHREND DER VERKLEBUNG

Im Zuge der Verklebung muss die Klebstoffauftragsmenge den Angaben des Klebstoffherstellers gerecht dosiert werden. Es gilt die Angaben in  $[\text{g}/\text{m}^2]$  möglichst genau einzuhalten und zu dokumentieren. Außerdem sind die zeitlichen Rahmenbedingungen, wie z. B. die offene Zeit, die geschlossene Zeit oder die Abbindezeit in Abhängigkeit des verwendeten Klebstoffs einzuhalten.

### 3-4.3 NACH DER VERKLEBUNG

Im Gegensatz zu ÖNORM B 1995-1-1: Anhang H [1], welcher besagt, dass die Qualitätskontrolle der Verklebung ausschließlich mit Scherprüfungen durchzuführen ist, steht nach DIN 1052-10 [36] dem Hersteller geklebter Holzverbindungen die Auswahl von Scher- oder Delaminierungsprüfungen offen.

#### 3-4.3.1 Scherprüfungen

Es wird festgehalten, dass in ÖNORM EN 1995-1-1:2015 der Mindestwert der Klebefugenfestigkeit mit  $f_v \geq 3,0 \text{ N}/\text{mm}^2$  definiert ist, wohingegen im selben Abschnitt auf die Regelungen der Scherprüfung gemäß ÖNORM EN 14080 [25], mit der charakteristischen Mindestscherfestigkeit  $f_{v,k} \geq 4,0 \text{ N}/\text{mm}^2$  bei einem Faserbruchanteil von 100 %, verwiesen wird.

In Anlehnung an die später durchgeführten experimentellen Untersuchungen wird festgehalten, dass die Bestimmung der Klebefugenfestigkeit in dieser Arbeit mit etwa 300 Scherprüfungen durchgeführt wurde. Dementsprechend wird in 5-1.3 detailliert auf diese Methode zur Bestimmung der Integrität einer Klebeverbindung eingegangen.

Prinzipiell ist die Scher- bzw. Klebefestigkeit von Klebefugen nach ÖNORM EN 14080 [25] entweder mittels Delaminierungs- oder Scherprüfung zu ermitteln. Zur Bestimmung der Scherfestigkeit müssen die Probekörper zerstörend geprüft werden. Dabei werden normierte Prüfkörper hergestellt und in einer normgemäßen Konfiguration auf Abscheren beansprucht.

Die Prüfkörper sind dabei in prismatischer (40 bis 50 mm) oder zylindrischer ( $\text{Ø } 35 \pm 5 \text{ mm}$ ) Form herzustellen. Die Scherfestigkeit ergibt sich aus:

$$f_v = k_v \cdot \frac{F}{A} \quad (5)$$

Dabei sind:

$F$  ..... Bruchlast [N]

$A$  ..... Scherfläche [mm<sup>2</sup>]

$k_v = 0,78 + 0,0044 \cdot t$  [-]

Der Faktor  $k_v$  modifiziert die Scherfestigkeit der Prüfkörper, bei denen die Dicke der Scherflächen in Faserrichtung weniger als 50 mm beträgt.

Die daraus resultierenden Ergebnisse der Prüfungen müssen der ÖNORM EN 14080 [25] entsprechende Mindestfestigkeiten, in Abhängigkeit des prozentualen Faserbruchanteils aufweisen. Dabei ist eine Scherfestigkeit von mindestens 6 N/mm<sup>2</sup> zu erzielen, wobei bei einem Faserbruchanteil von 100 % eine Scherfestigkeit von 4 N/mm<sup>2</sup> zulässig ist.

Der nachstehenden Tabelle 5-2 sind die Prüfkörperabmessungen der Scherprüfkörper zu entnehmen. Dabei wird festgehalten, dass für Schraubpressverklebungen keine prismatischen Abmessungen definiert sind.

**Tabelle 3-1: Abmessungen von Scherprüfkörpern**

Baustoff	Prisma [l/b]	Zylinder
BSH (ÖNORM EN 14080)	40 bis 50 mm	Ø 35 ± 5 mm
Schraubpressverklebung (ÖNORM EN 1995-1-1: Anhang A)	k. A.	Ø ≥ 50 mm Ø ≥ 75 mm in NA
Verstärkungen	k. A.	Ø ≥ 25 mm

#### Faserbruchanteil

Die Bestimmung des Faserbruchanteils erfolgt unmittelbar nach dem Versagen des Prüfkörpers. Dabei wird der Anteil der Faserbruchfläche zur gesamten Scherfläche in Prozent angegeben. Für eine genauere Bestimmung dieses Anteils, kann der Prüfkörper mit der Verwendung von PU-Klebstoffen unter ultraviolettem Licht (UV-Licht) betrachtet werden. Dabei lässt sich der Unterschied zwischen Klebstofffläche und Holzfaserverbruchfläche differenzierter beurteilen.

#### Klebefugendicke

Mit Hilfe der Bestimmung der Klebefugendicke ist es möglich Aussagen über die Qualität der Verklebung zu treffen. Es gibt verschiedene Messmethoden zur Bestimmung der Klebefugendicke. In dieser Arbeit wurde die Dicke mit einer digitalen Mikroskopkamera aufgenommen und dokumentiert. Für die Ermittlung der Klebefugendicke bedarf es in der Regel der Anwendung einer zerstörenden Qualitätsprüfung.

### 3-4.3.2 Delaminierungsprüfungen

Für die Überprüfung der Qualität der Holzverklebung ist neben bzw. ergänzend der Bestimmung der Scherfestigkeit die Untersuchung der Delaminierungsbeständigkeit. Dabei werden die Prüfkörper in Wasser getaucht und abwechselnd mit hohem und niedrigem (Vakuum-) Druck behandelt. Danach folgt die Trocknung bei einem bestimmten Luftstrom und relativ niedriger Feuchte. Das Ergebnis zeigt das Ausmaß der Delaminierung der Klebstoffugen im Verhältnis zur gesamten Klebstoffugenlänge an den Hirnholzflächen des Prüfkörpers [7].

Ähnlich wie zuvor werden in der nachstehenden Tabelle 3-2 die einzuhaltenden Abmessungen der Probekörper für Delaminierungsprüfungen aufgelistet. In vorliegenden Normen und Richtlinien konnten keine konkreten Festlegungen für schraubpressverlebte „Bauteile“ ermittelt werden.

**Tabelle 3-2: Abmessungen der Prüfkörper zur Überprüfung der Delaminierungsbeständigkeit**

Baustoff	Prisma [l/b]	Zylinder
BSH (ÖNORM EN 14080)	75 ± 5 mm   Gesamt Querschnitt <sup>1)</sup>	k. A.
BSP (ÖNORM EN 16351)	100 ± 5 mm bzw. ≥ 10.000 mm <sup>2</sup>	Ø 95 ± 5 mm
Schraubpressverklebung	k. A.	k. A.
Sanierung	k. A.	k. A.

Anmerkung:

<sup>1)</sup>... Teilprüfkörper für b > 300 mm bzw. H > 600 mm

Zusammenfassend sollen mit Hilfe von Tabelle 3-3 verschiedene Verfahren und die daraus resultierenden Ergebnisse zur Überprüfung der Delaminierungsbeständigkeit laut ÖNORM EN 14080 [25] dargestellt werden. In dieser normativen Regelung wird festgehalten, dass unabhängig vom Prüfverfahren, die Anforderungen an die Prüfgeräte eingehalten werden müssen (Druckgefäß; Trockenofen) [25].

**Tabelle 3-3: Übersicht der Delaminierungsprüfungen nach ÖNORM EN 14080 [25]**

Prüfkörper	Verfahren	Ablauf der Zyklen	Ergebnis <sup>1)</sup>	Grenzwerte
Länge (in FR): (75±5) mm; wenn Breite b > 300 mm → Teilprüfkörper mit mind. b = 130 mm; wenn Höhe > 600 mm → Teilprüfkörper mit mind. h = 300 mm; Hirnholzflächen mit glatten Oberflächen	A	2 Zyklen (PK während gesamter Prüfung vollständig mit Wasser bedeckt; Vakuum von 70-85 kPa aufbringen – für 5 min. halten; Druck von 500-600 kPa aufbringen – für 1 h halten; Wiederholung des Zyklus; Dauer beider Zyklen: 130 min.; 21-22 h Trocknen		<u>für BSH, BSH mit Universalkeilzinkenverbindung und Verbundbauteile aus BSH</u>  Verfahren A: nach 2. Zyklus: 5% nach 3. Zyklus: 10%
	B	1 Zyklus (PK während gesamter Prüfung vollständig mit Wasser bedeckt; Vakuum von 70-85 kPa aufbringen – für 30 min. halten; Druck von 500-600 kPa aufbringen – für 2 h halten; 10-15 h Trocknen; tatsächl. Zeit: wenn PK 100 bis 110% der Ausgangsmasse aufweist	<u>Delaminierungsmessung</u> ist spätestens 1 h nach dem letzten Trocknungsvorgang durchzuführen  <u>Gesamtde laminierung [%]</u> $Delam_{tot} = 100 \cdot \frac{l_{tot,delam}}{l_{tot,glueline}}$	Verfahren B: nach 1. Zyklus: 4% nach 2. Zyklus: 8%  Verfahren C: nach 1. Zyklus: 10%
	C	1 Zyklus (PK während gesamter Prüfung vollständig mit Wasser bedeckt; Vakuum von 70-85 kPa aufbringen – für 30 min. halten; Druck von 500-600 kPa aufbringen – für 2 h halten; Wiederholung des Zyklus; Dauer beider Zyklen: insgesamt 5 h; 90 h Trocknen; tatsächl. Zeit: wenn PK 100 bis 110% der Ausgangsmasse aufweist	<u>max. Delaminierung [%]</u> $Delam_{max} = 100 \cdot \frac{l_{max,delam}}{2 \cdot l_{glueline}}$	<u>für Balkenschichtholz mit Lamellendicken von 60 bis ≤ 85 mm</u>  Verfahren A: nach 2. Zyklus: 10% nach 3. Zyklus: 15%  Verfahren B: nach 1. Zyklus: 8% nach 2. Zyklus: 12%  Verfahren C: nach 1. Zyklus: 15%

Anmerkungen:

<sup>1)</sup>...  $l_{tot,delam}$  ... Gesamtdelaminierungslänge in [mm]

$l_{tot,glueline}$  ... Gesamtlänge aller Klebefugen an den beiden Hirnholzflächen des Prüfkörpers in [mm]

$l_{max,delam}$  ... maximale Delaminierungslänge in [mm]

$l_{glueline}$  ... Länge einer Klebefuge in [mm]

## KAPITEL 4: VERWENDETE MATERIALIEN

In diesem Abschnitt werden die Materialien/Baustoffe und Methoden erläutert, welche bei der Durchführung der Prüfungen in dieser Arbeit verwendet wurden. Die experimentellen Prüfungen wurden zur Gänze am LTC (Lignum Test Center) des Instituts für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz durchgeführt.

Mit der Untersuchung der Auswirkung unterschiedlicher Faktoren und Parameter, wie z. B. der Art und Größe des Schraubenkopfes, der Fügeteildicke oder dem Schraubenabstand in Längs- und Querrichtung wird das Ziel verfolgt Basiswerte für die Modellierung der Schraubpressverklebung sowie eine Optimierung der Schraubenabstände zu erreichen. Methodisch wird dies so verfolgt, dass versucht wird einzelne beeinflussende Parameter konstant zu halten (z. B. die Holzfeuchte und nach Möglichkeit die Rohdichte) und andererseits einzelne Kenngrößen gezielt zu variieren.

Um aussagekräftige Ergebnisse des in den mechanischen Eigenschaften streuenden Baustoffes Holz bzw. Holzwerkstoffe erzielen zu können, wurden knapp 800 Kopfdurchziehprüfungen und etwa 300 Scherprüfungen durchgeführt. In diesem Kapitel wird auf die Vorgehensweise, den Aufbau und Umfang der Prüfserien, die Prüfkonfiguration und -durchführung sowie die Auswertung der aufgezeichneten Messdaten eingegangen.

### 4-1 VERWENDETE MATERIALIEN/BAUSTOFFE UND PRODUKTE

---

#### 4-1.1 HOLZ

Holz zählt neben Ton und Stein zu den ältesten Bau- und Werkstoffen der Menschheit. Dieser natürlich vorkommende Verbundwerkstoff ist aufgrund seiner sehr guten mechanischen Eigenschaften, aber auch wegen der guten Bearbeitbarkeit vielseitig anwendbar [37].

Im Folgenden wird überblicksmäßig auf einige, im Zusammenhang mit dem Thema dieser Masterarbeit stehende, holztechnologische Grundlagen und Kenngrößen eingegangen. Für detaillierte Ausführungen zum Aufbau und den mechanischen Eigenschaften des Holzes wird auf die verfügbare Fachliteratur verwiesen.

Die Holzeigenschaften werden im Wesentlichen von der chemischen Zusammensetzung auf mikro- und makroskopischer Ebene beeinflusst. Der nachstehenden Abbildung entsprechend kann zwischen fünf verschiedenen Holzstrukturebenen differenziert werden. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt ausschließlich eine Behandlung auf der Makroebene, d. h. es sind Eigenschaften auf Baustoffebene (Brett, Furnier) und für spezielle Aussagen, auf Jahrringebene, von Interesse.

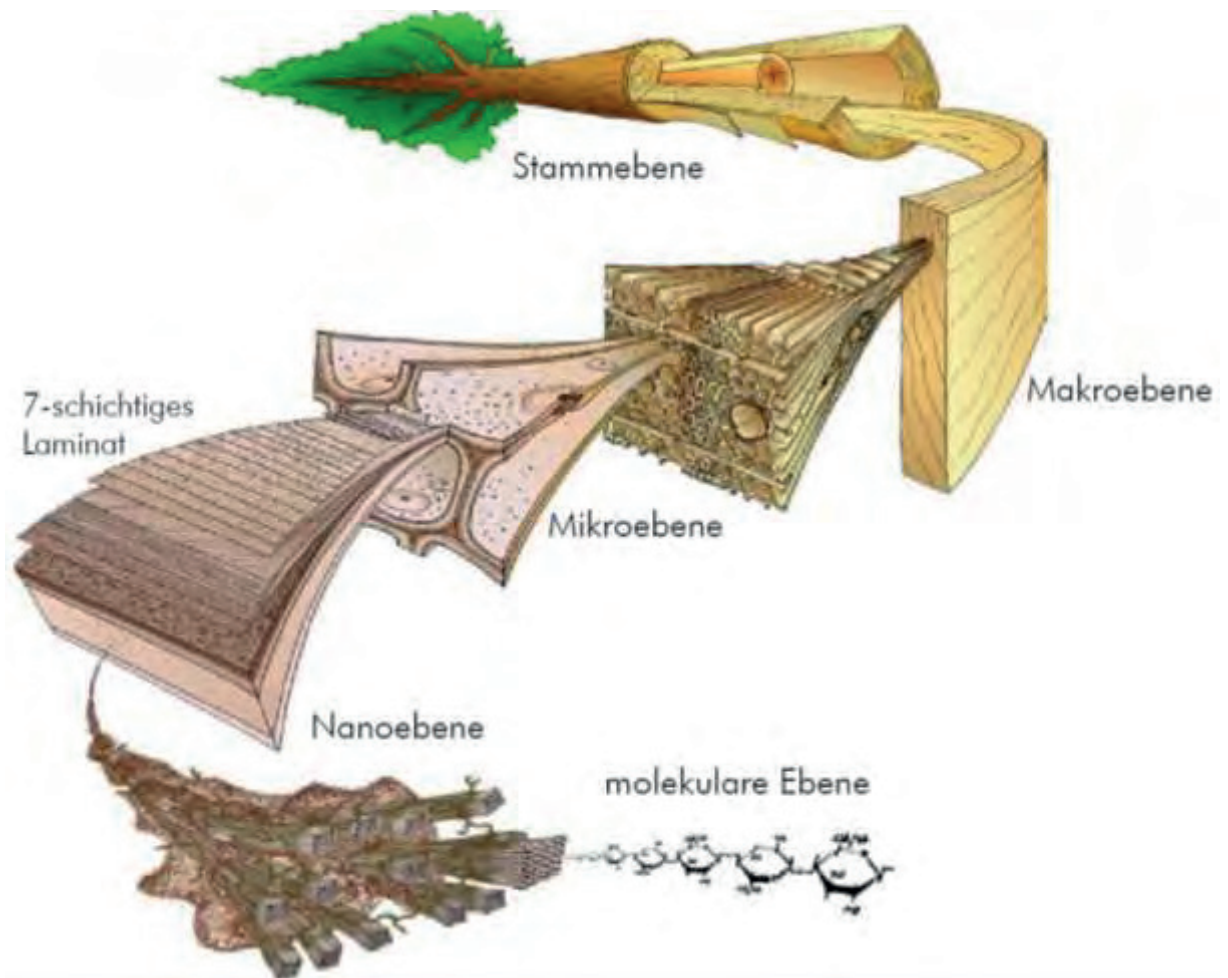


Abbildung 4-1: Strukturebenen des Holzes [14]

Holz besteht vorwiegend aus lang gezogenen, miteinander gekoppelten, in Richtung der Stammachse verlaufenden Zellen. Diese sind im lebenden Baum für den Wassertransport, den Stoffwechsel und die Holzverfestigung verantwortlich [12]. Holz ist ein Dauergewebe, welches sich durch eine ringförmige Schicht ständig erweitert. Diese als Kambium bezeichnete Bildungsschicht vergrößert sich nach „innen“ durch Neubildung von Holzzellen und nach „außen“ aufgrund der Entstehung von Rindenzellen. Dabei ist der Holzzuwachs im Verhältnis zum Rindenzuwachs deutlich größer [14]. Der jährliche Zuwachs wird als Jahrring bezeichnet und besteht in weiterer Folge aus Früh- und Spätholzzonen mit deutlich unterschiedlichen Kenngrößen und Aufbau.

In Abhängigkeit davon, ob es sich um eine Nadel- oder Laubholzart handelt können unterschiedliche Zellgeometrien und -verteilungen identifiziert werden, welche in weiterer Folge maßgeblich für die unterschiedlichen Eigenschaften der einzelnen Holzarten verantwortlich sind.



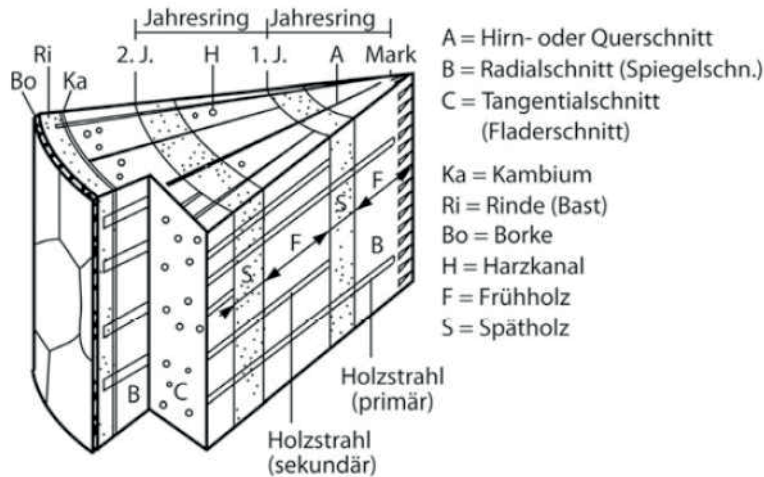


Abbildung 4-2: typische Holzstruktur eines Nadelholzes [38]

Stark vereinfacht ähnelt der Strukturaufbau von Holz einem Röhrensystem, dessen Bündel stammparallel verlaufen. Dementsprechend hat Holz in Faserrichtung (in Richtung der Stammachse) signifikant andere Eigenschaften als quer dazu. Werkstoffe die ein solches richtungsabhängiges Materialverhalten aufweisen werden als anisotrop bezeichnet [12].

Mit Hilfe der nachstehenden Abbildung soll diese Besonderheit veranschaulicht werden. Das Röhrenbündel lässt sich in Querrichtung leicht zusammendrücken und auseinanderziehen, wobei in Längsrichtung eine höhere Zugfestigkeit und eine dazu geringere Druckfestigkeit (zumindest für fehlerfreie Kleinprüfkörper) zu erwarten ist, während dies für Beanspruchungen quer zur „Faserrichtung“ umgekehrt der Fall ist (Verhältnis Querdruck : Querzug rund 10:1)

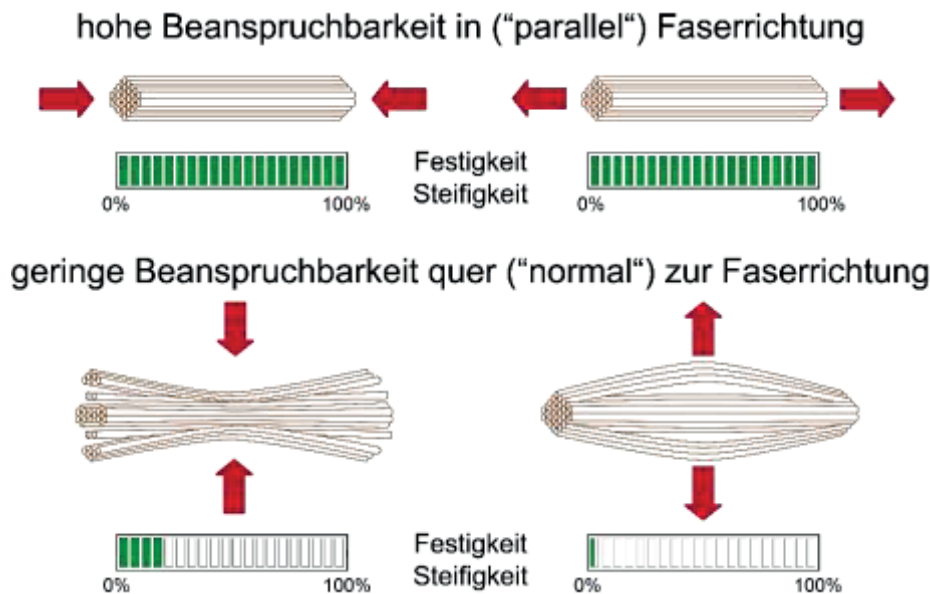


Abbildung 4-3: schematische Darstellung der Beanspruchbarkeiten und des Leistungspotenzials von Holz [12]

Holz hat aufgrund des Zellenaufbaus drei rechtwinklig zueinanderstehende Hauptrichtungen. Dieses Materialverhalten bezeichnet man als **orthotrop** bzw. **orthogonale anisotrop**. Hierbei wird auf makroskopischer Ebene zwischen drei Hauptschnittrichtungen unterschieden. Dabei werden Quer- Radial- und Tangentialschnitte in Bezug auf die Achse des Stammes verwendet. In Abhängigkeit dieser Richtungen ergeben sich beispielsweise unterschiedliche mechanische Eigenschaften (Steifigkeit, Festigkeit), Quell-

/Schwind- bzw. Formänderungsverhalten sowie weitere physikalische Kenngröße wie z. B. Wärmeleitfähigkeiten, elektrische Leitfähigkeit u. a. [38].

In der Ingenieurpraxis wäre eine solche Differenzierung zu komplex. Auf Grund der annähernd vergleichbaren Kenngrößen in radialer und tangentialer Richtung sowie den i. Allg. deutlich höheren Kennwerten in Längsrichtung werden diese daher oftmals in Eigenschaften „rechtwinklig (normal)“ und „parallel“ zur „Faserrichtung“ zusammengefasst.

#### 4-1.1.1 Elastische Eigenschaften

Typische Werte für den Elastizitätsmodul (E-Moduln) und die Schubmoduln (G-Modul) von fehlerfreien Kleinproben der im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Holzarten Fichte und Buche sind der nachfolgenden Tabelle 4-1 zu entnehmen.

**Tabelle 4-1: E- Moduli sowie Schub-Moduli in den drei Hauptrichtungen von Holz**

	$E_L$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_R$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_T$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$G_{TL}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$G_{LR}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$G_{RT}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Fichte <sup>1)</sup>	12.000	818	420	743	623	42
Rotbuche <sup>2)</sup>	14.000	2.280	1.160	1.080	1.640	465

Anmerkungen:

1) [40]...Helmut Neuhaus „Elastizitätszahlen von Fichtenholz“

2) [41]...Matthias Grimsel „Mechanisches Verhalten von Holz“

#### 4-1.1.2 Festigkeiten

**Tabelle 4-2: Festigkeitseigenschaften von Holz [39]**

	Zug		Druck		Biegung	Schub
	$f_{t,0,mean}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{t,90,mean}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{c,0,mean}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{c,90,mean}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{m,mean}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{v,mean}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Fichte	90,0	2,7 ??	50,0	5,8	72,0	6,7

Die mechanischen Eigenschaften einer Holzart sind, einmal von speziellen Strukturmerkmalen wie Ästen und (globalen) Faserneigungen/Drehwuchs u. a. abgesehen, grundsätzlich von der Holzfeuchte und der Rohdichte beeinflusst.

### 4-1.2 HOLZFEUCHTE

Holz ist ein hydrophiler, kapillarporöser Stoff. Je nach Rohdichte beträgt der Porenanteil rund 50 % bis 60 %. Das Hohlraumsystem des Holzes absorbiert Wasser aus der Luft und kann zusätzlich über kapillare Transportprozesse flüssiges Wasser aufnehmen. Aufgrund der Zellstruktur werden beinahe alle Eigenschaften von Holz durch den Holzfeuchtegehalt (kurz: Holzfeuchte) beeinflusst [40]. Die Holzfeuchte  $u$  [%] ist dabei als Prozentsatz, der in der Holzstruktur eingelagerten Masse an Wasser, bezogen auf die sogenannte „Darrmasse“ ( $u = 0$  %) wie folgt definiert

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (6)$$

Dabei sind:

$u$  ..... Holzfeuchtegehalt [%]

$m_u$  ..... Masse des Prüfkörpers bei Entnahme [g]

$m_0$  ..... Masse des Prüfkörpers nach Trocknung [g]



In Abhängigkeit von der Holzfeuchte ist das Wasser in der Holzstruktur wie folgt eingebunden:

- gebundenes Wasser
  - Chemiesorption  $u = 0$  bis 6 %
  - Adsorption  $u = 6$  bis 15 %
  - Kapillarkondensation  $u > 15$  % (bis Fasersättigung)
- ungebundenes Wasser ( $u > 27\%$ -30% (für Fichte))

#### 4-1.2.1 Adsorption/Desorption

Die Sorption von Wassermolekülen in der Matrix poröser Stoffe beruht auf physikalischen Wechselwirkungen mit der Umgebung. Durch diese Prozesse kommt es mit der Zeit zu einem Gleichgewicht zwischen dem Feuchtegehalt der Luft und dem des Holzes. Dieser Gleichgewichtszustand wird als (Holz-) Ausgleichsfeuchte  $u_{gl}$  bezeichnet.

Die physikalische Wirkung und der Zusammenhang zwischen dem Holzfeuchtegehalt und der Temperatur sowie der relativen Luftfeuchtigkeit werden mit sogenannten Sorptionsisothermen beschrieben. Dabei wird unter Adsorption die Aufnahme von Wasserdampf bei steigender Luftfeuchte verstanden, während die Desorption die Abgabe von Wasser bei abfallender Luftfeuchte beschreibt. [38].

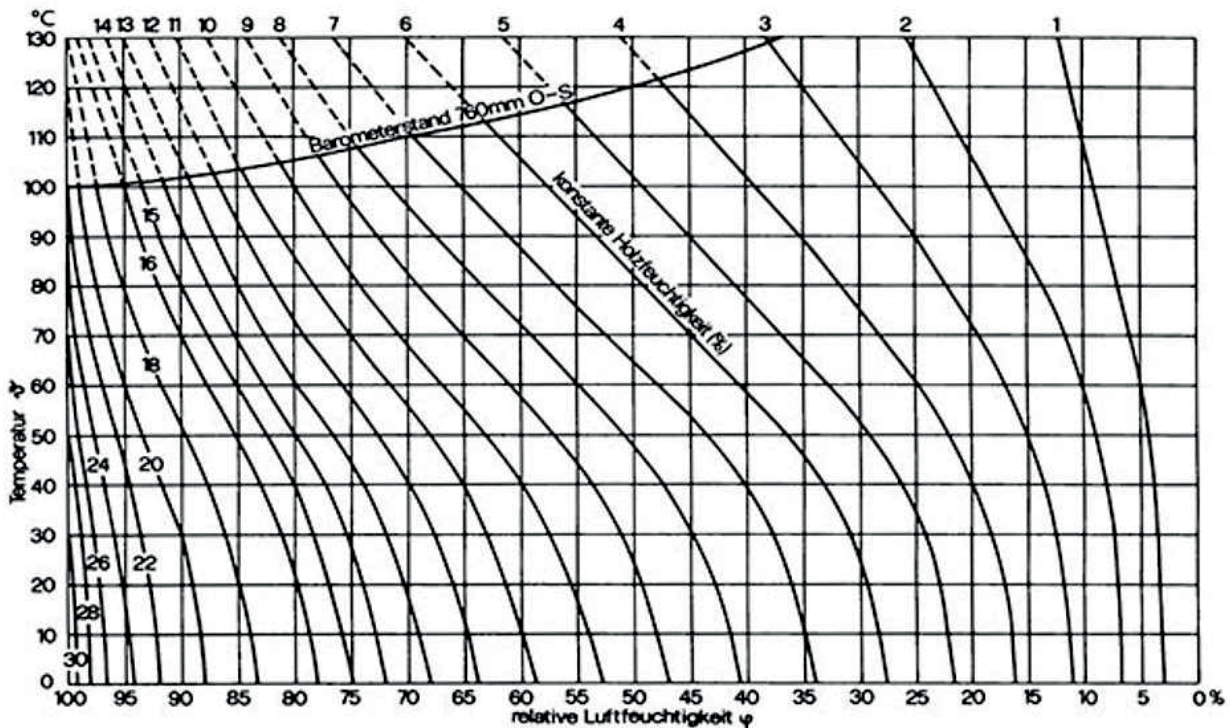


Abbildung 4-4: Sorptionsisothermen (Keywert-Diagramm) für Fichtenholz

Die Prüfkörper für wissenschaftliche Untersuchungen werden i. Allg. ausreichend lange (bis zur Massekonstanz) im sog. „Normalklima“ bei 20 °C Temperatur und 65 % relativer Luftfeuchte gelagert. Wie dem Keywert-Diagramm in Abbildung 4-4 entnommen werden kann, stellt sich bei Fichtenholz dabei eine Holzausgleichsfeuchte  $u_{gl}$  von rund 12% ein.

### 4-1.2.2 Zusammenhang mit mechanischen Eigenschaften

Wie bereits erwähnt wurde, hat der Holzfeuchtegehalt einen wesentlichen Einfluss auf viele Eigenschaften des Werkstoffs. Der nachfolgenden Abbildung 4-5 kann entnommen werden, dass im, für die Anwendung interessierenden, Bereich der Holzfeuchte von rund  $8\% \leq u < 20\%$  von einem annähernd linearen Abfall relevanter mechanischer Kenngrößen (E-Modul, Festigkeiten) ausgegangen werden kann.

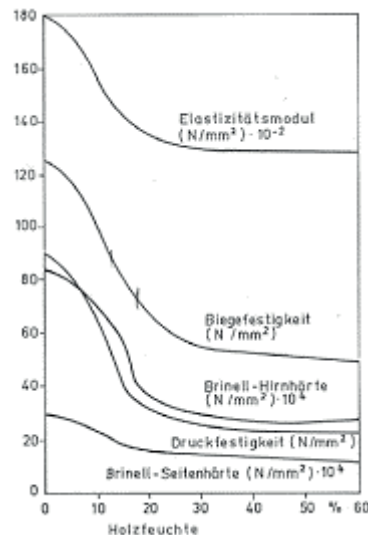


Abbildung 4-5: Zusammenhang zwischen der Holzfeuchte und mechanischen Eigenschaften von Holz [43]

Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt bei einer Querdruckbeanspruchung, bei der eine Abnahme des E-Moduls von rund 3% bis 5% pro Prozent Holzfeuchteanstieg auftritt (siehe Brandner). Bei der SPV ist dieser Umstand infolge der Querdruckbeanspruchung unter dem Schraubenkopf von Relevanz.

### 4-1.2.3 Bestimmung der Holzfeuchte

Die Bestimmung der Holzfeuchte im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde mit der Darmmethode nach ISO 3130 Demnach ist für die normgemäße Bestimmung des Holzfeuchtegehalts eine Waage, ein Trockenschrank und ein Exsikkator mit Silikagel erforderlich. Die Waage soll dabei eine Wägung des Prüfkörpers mit einer Genauigkeit von 0,01 g ermöglichen. Der Trockenschrank muss eine konstante Temperatur von  $103 \pm 2$  °C halten können und der Exsikkator soll den Zustand der Luft möglichst trocken halten. Durch Wägung der Prüfkörper vor dem Trocknen und Wiederholung der Wägung bis zur Massekonstanz kann die Holzfeuchte  $u$  mit Hilfe von Gleichung (6) ermittelt werden. Die Massekonstanz ist dabei erreicht, wenn sich die Masse von zwei Wägungen im Abstand von sechs Stunden nicht mehr als 0,1% voneinander unterscheiden.

## 4-1.3 QUELLEN UND SCHWINDEN

Der aus Zellen aufgebaute, poröse und hydrophile Festkörper Holz passt sich an veränderte Umgebungsbedingungen (Temperatur, rel. Luftfeuchte) an. Infolge der Einbindung von Wassermolekülen in die Zellstruktur verändert es seine geometrischen Abmessungen – es „arbeitet“. Bei einer Feuchtaufnahme kommt es zu einer Vergrößerung des Volumens („Quellen“), während eine Feuchtaufnahme zu einer Volumsverminderung führt („Schwinden“).

Entsprechend der anisotropen Struktur sind die rel. Veränderungen der geometrischen Abmessungen in den anatomischen Hauptrichtungen unterschiedlich stark ausgeprägt. Während in Längsrichtung i. Allg. vernachlässigbare Dimensionsänderungen zu erwarten sind, dürfen die entsprechenden Quell-/Schwinderscheinungen in radialer, vor allem aber, in tangentialer Richtung nicht vernachlässigt werden.

### Relevanz von Quell- und Schwinderscheinungen im Zusammenhang mit der SPV

Im Zusammenhang mit der SPV sind die Quell- und Schwinderscheinungen bzw. -verformungen in folgender Hinsicht von Relevanz:

- In Zuge des Klebstoffauftrages werden die Holzoberflächen mit Klebstoff benetzt. Als Folge stellen sich im unmittelbaren Bereich der Klebstofffuge lokale Quellerscheinungen ein. Für die Ausbildung einer einwandfreien Klebefuge ist das Eindringen des Klebstoffs in die, der Klebefuge naheliegenden, Holzzellen erforderlich. Reicht der aufgebrauchte Pressdruck nicht aus um dieses Eindringen zu ermöglichen, kommt es zu Klebefugen mit geringerer Leistungsfähigkeit.
- In Folge von Quell- und Schwindverformungen treten im Schnittholz (charakteristische) Verformungen des Holzes auf. Beispielsweise sind Vorverformungen, Verkrümmungen und Schlüsselungen des Schnittholzes, neben auftretenden Eigenspannungen, oftmals durch Schwinden/Quellenerscheinungen verursacht. Im Zuge der Hobelung der Hölzer können solche geometrischen Abweichungen oftmals nicht vollständig beseitigt werden. Die zur Kompensation der Unregelmäßigkeiten erforderlichen Pressdrücke können u. U. nicht mehr ausreichen, um eine entsprechende Klebefugendicke zu gewährleisten bzw. deren Integrität auf Dauer zu ermöglichen (durch den Pressvorgang induzierte Eigenspannungen). Andererseits sind diese so hoch zu wählen, dass der angeführte Umstand gesichert verhindert werden kann. Diese führt jedoch zu massiven und damit teuren Pressen. Auf Grund der Tatsache, dass die aufbringbaren Pressdrücke bei der SPV limitiert sind, scheint es daher zielführend auf eine verstärkte Dimensionsstabilität Wert zu legen. Basis dazu sind einerseits eine qualitativ hochwertige und gleichmässige Holz Trocknung und entsprechend hochwertige Hobelanlagen (siehe Kapitel Qualitätsmanagement).

## 4-1.4 ROHDICHTE

Die Rohdichte  $\rho_u$  (bei der Holzfeuchte  $u$ ) ist wie folgt definiert:

$$\rho_u = \frac{m_u}{V_u} \quad (7)$$

Dabei sind:

- $\rho_u$  .....Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>]
- $m_u$  .....Masse des Holzes beim Feuchtgehalt  $u$  [kg]
- $V_u$  .....Volumen des Holzes beim Feuchtegehalt  $u$  [m<sup>3</sup>]

Im Gegensatz zur Reindichte schließt die Rohdichte auch die Poren bzw. die Hohlräume des Holzes ein. Die Rohdichte ist also wesentlich vom Aufbau des Holzes, dessen Zellstruktur, dem Anteil von Früh- und Spätholz und dem Wassergehalt beeinflusst. Aus diesem Grund ist bei der Angabe der Rohdichte auch der entsprechende Wert der zugehörigen Holzfeuchte zu beachten bzw. anzugeben [41].

#### 4-1.4.1 Darrdichte

Die Darrdichte ist die Rohdichte des Holzes bei einem Holzfeuchtegehalt von  $u = 0\%$ . Demnach wird die trockene Holzmasse durch das Volumen des Prüfkörpers oder Bauteils dividiert. Nachdem das Material im trockenen Zustand nicht vom hygroskopischen Verhalten beeinflusst wird, kann die Darrdichte als ein konstanter Materialparameter betrachtet werden. Bei Kenntnis des Volumenquellmaßes besteht zwischen der Rohdichte und der Darrdichte der folgende Zusammenhang [40]:

$$\rho_{\text{dtr}} = \frac{m_{\text{dtr}}}{V_{\text{dtr}}} = \rho_u \cdot \frac{100 + \alpha_{\text{vu}}}{100 + u} \quad (8)$$

Dabei sind:

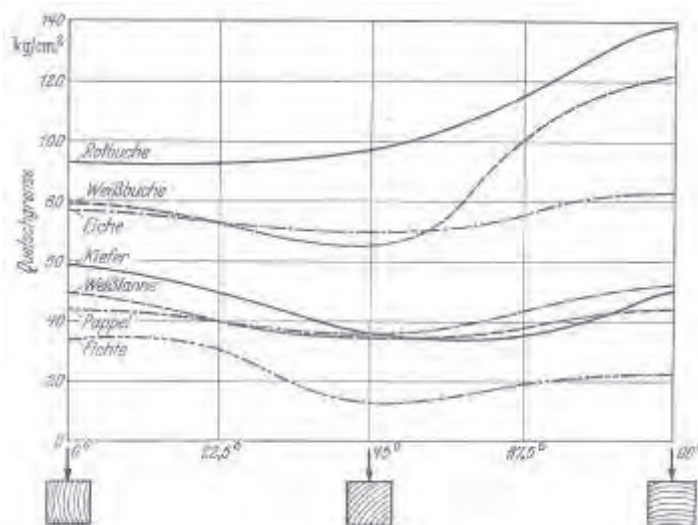
- $\rho_{\text{dtr}}$  ..... Darrdichte [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $m_{\text{dtr}}$  ..... Masse des darrgetrockneten Holzes [kg]
- $V_{\text{dtr}}$  ..... Volumen des darrgetrockneten Holzes [ $\text{m}^3$ ]
  
- $\rho_u$  ..... Rohdichte [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $u$  ..... Feuchtegehalt [%]
- $\alpha_{\text{vu}}$  ..... Volumenquellmaß bei Feuchtegehalt  $u$  [%] (mit:  $\alpha_{\text{vu}} \approx 0,028 \cdot \rho_{\text{dtr}}$ )

#### 4-1.4.2 Bestimmung der Rohdichte

Für die Ermittlung der Rohdichte der untersuchten Probekörper dieser Arbeit, wurde entsprechend der ISO 3131 vorgegangen. Demnach wird zunächst die Masse der Probe durch genaues Abwiegen bestimmt. Hierbei muss eine Waage verwendet werden, welche das Ablesen von 0,01 g genauen Werten ermöglicht. In weiterer Folge wird die Geometrie des Prüfkörpers aufgenommen und dokumentiert. Wie gefordert wurden die untersuchten Körper zuvor mit der jeweiligen Seitenlänge von 50 mm quadratisch zugeschnitten. [42] Um die Qualität der Bestimmung der Rohdichte gewährleisten zu können und um etwaige Fehler zu verhindern, wurden die Längen- und Breitenmaße jeweils zweimal erhoben. Die Wichtigkeit des Einflusses der Rohdichte wird im Kapitel der Ergebnisse näher erläutert.

### 4-1.5 HOLZTECHNOLOGISCHE EINFLÜSSE BEI DER PRÜFUNG DES KOPFDURCHZIEHPARAMETER

Die Beanspruchung auf Kopfdurchziehen erzeugt im angrenzenden Füge teil eine Querdruckbeanspruchung. Um Aussagen für beeinflussende Parameter des Kopfdurchziehens treffen zu können, wird daher nachfolgend auf diese Beanspruchung aus holztechnologischer Sicht eingegangen.



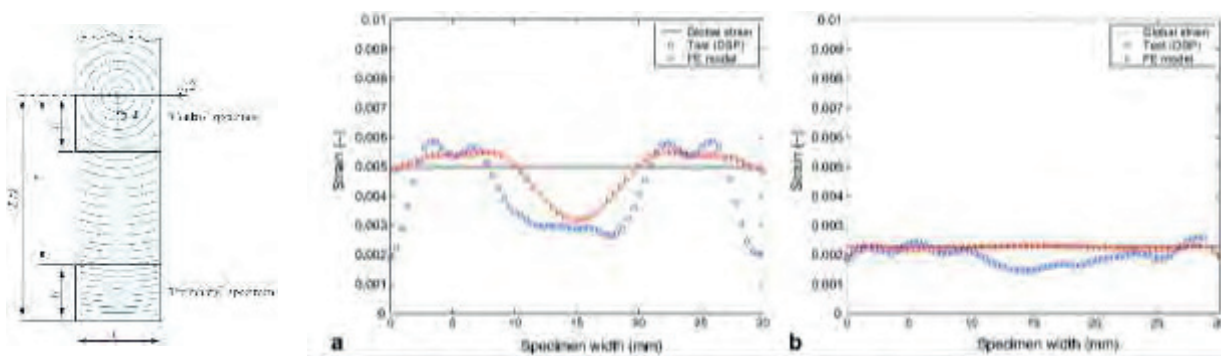


**Abbildung 4-6: Querdruckfestigkeit von Prüfkörpern mit unterschiedlicher Jahrringstellung (für Esche) [39]**

Im Abbildung 4-6 ist die Abhängigkeit der Querdruckfestigkeit an der Quetschgrenze (Proportionalitätsgrenze) in Abhängigkeit von der Jahrringstellung für unterschiedliche Holzarten dargestellt. Darin ist zu erkennen, dass für alle Holzarten eine deutliche Abhängigkeit der Querdruckfestigkeit vom Winkel zwischen der einwirkenden Kraft und der Jahrringstellung besteht. Für Fichte tritt die höchste Festigkeit bei einer Beanspruchung in tangentialer Richtung auf. Mit zunehmenden Winkel zwischen Jahrring und Beanspruchung fällt die Festigkeit ab und erreicht bei rund  $45^\circ$  ihr Minimum. Bei einer Beanspruchung hin zur radialen Richtung ist ein leichter Anstieg auf rund  $2/3$  des Ausgangswertes erkennbar.

Aus der Abbildung 4-6 geht weiters hervor, dass die Querdruckfestigkeit für Holzarten mit höherer Rohdichte grundsätzlich ansteigt. Der zuvor geschilderte Zusammenhang für die maximale Festigkeit dreht sich dabei für manche Holzarten um und erreicht bei radialer Beanspruchung eine Maximum. Unabhängig tritt das Minimum auch für die übrigen Holzarten bei rund  $45^\circ$  auf.

Dieser Effekt kann mit dem Einfluss der Rollschubfestigkeit bzw. -steifigkeit auf die "Systemkennwerte" für Holzprodukte erklärt werden. In realen Brettern tritt bei einer Querdruckbeanspruchung immer ein kombinierter Wert aus den Beanspruchbarkeiten und Steifigkeiten in radialen und tangentialer Richtung, aber auch dem angesprochenen Rollschubeigenschaften auf.



**Abbildung 4-7: Einfluss der Jahrringlage auf die Schubfestigkeit von Holz [43]**

Die für die Bemessung relevanten Werte sind, sofern diese in der Produktion nicht gesondert behandelt werden, konservativ festzulegen. Der Kleinstwert der Querdruckbeanspruchung sollte daher bei einem Winkel zwischen Beanspruchung und Jahrring von rund  $\alpha = 45^\circ$  festgelegt werden. Für die Ermittlung des Kopfdurchziehparameters  $f_{head}$  von Vollholz nach EN 1383 wird diesem Umstand leider nicht Rechnung getragen. Die halbe Anzahl der Prüfkörper muss dort radial zum Jahrring und die andere Hälfte in tangentialer Richtung beansprucht werden. Auf Grund der nicht unerheblichen Streuungen der Schraubenhersteller bei der Festlegung des charakteristischen Wertes für den Kopfdurchziehparameter in Allgemein Bauaufsichtlichen Zulassungen muss daher vermutet werden, dass diesem Umstand nicht immer die erforderliche Aufmerksamkeit gewidmet wird und dieser Effekt zu den teils ausgeprägten Unterschieden der ansonsten ähnlichen Ausprägungen der Schraubenköpfe hinsichtlich Kopfdurchmesser und -form führt. Im Zuge der Durchführung von Kopfdurchziehprüfungen in dieser Masterarbeit wurden einschichtige Massivholzplatten geprüft. Auf Grund der als zufällig zu betrachtenden, im Allgemeinen zwischen  $\alpha =$  rund  $30^\circ$  bis rund  $60^\circ$ , liegenden Jahrringstellung kann damit davon ausgegangen werden, dass als Ergebnis representative, conservative Werte des Kopfdurchziehparameters ermittelt wurden. Neben den Prüfungen an den einschichtigen Massivholzplatten wurde dieser Einfluss auch bei den Prüfungen der dreischichtigen Massivholzplatten beobachtet, wobei dort auch ein lokaler Rohdichteinfluss vermutet werden kann.

Bei den Sperrholzplatten aus Fichte scheint dieser Effekt auf Grund der dünnen Furniere von untergeordneter Relevanz zu sein. Die Streuungen der Kennwerte bei den Prüfserien mit Sperrholzplatten aus Buche sind sehr gering ausgeprägt.

Demgegenüber ist der Variationskoeffizient des Kopfdurchziehparameter der Prüfserien an OSB gegenüber den übrigen deutlich höher. Dies ist wiederum auf die streuende Rohdichteverteilung über den Querschnitt auf Grund der inhomogenen Eigenschaften der Strands zurückzuführen. Dieser Einfluss ist bekannt und es wird in mehreren Literaturstellen darauf hingewiesen.

## 4-2 HOLZWERKSTOFFE

Durch ständige technologische Weiterentwicklung sind mittlerweile unzählige Holzwerkstoffe mit unterschiedlichsten Materialeigenschaften verfügbar. Das Einsatzgebiet von Holzwerkstoffen reicht dabei vom Verkehr- und Transportwesen, über Tragkonstruktionen bis hin zur Anwendung in freibewitterten Bereichen [44]. Bei der Optimierung der industriell hergestellten Produkte werden die Holzeigenschaften gezielt verändert, um sie auf die Nutzung des jeweiligen Werkstoffs abzustimmen. Im Wesentlichen kann man dabei die Geometrie, die Festigkeitseigenschaften, sowie die Oberflächenqualität der Holzwerkstoffe beeinflussen [45].

Im Gegensatz zum Ausgangsmaterial haben Holzwerkstoffe aufgrund der Homogenisierung deutliche geringere Streuungen. Als Folge treten weniger Schwankungen im Bereich der Festigkeitseigenschaften, sowie des Verformungsverhaltens auf. Des Weiteren kann man sagen, dass diese Werkstoffe weniger sensibel auf Umgebungsbedingungen und der damit verbundenen Änderung der Holzfeuchte reagieren. Durch das gerichtete Zusammenführen der zerkleinerten Teile wird die durch Anisotropie bedingte Streuung als besonderes Merkmal von Holz herabgesetzt [44].

Für Holzwerkstoffe kommen Hölzer vom Stammholz bis hin zum Abfallholz aus Recycling zur Anwendung. Neben Holzarten, welche auch als Vollhölzer im Bauen verwendet werden (z. B. Fichte), kommen auch Holzarten wie beispielsweise die Buche zum Einsatz. Hergestellt werden Holzwerkstoffe mit Hilfe des Nass- oder Trockenverfahrens. Beim Nassverfahren wird das im Holz enthaltene Bindemittel Lignin verwendet und bei hohem Druck zum „Fließen“ gebracht. Damit kommt es zum Verfilzen der Bestandteile und weiters zur Verfestigung in den Faserplatten. Beim Trockenverfahren werden holzfremde Bindemittel wie z. B. Kunstharze, aber auch anorganische Stoffe verwendet. Dabei ist auf die Verwendung entsprechender, geprüfter Klebstoffe zu achten [45].

In der nachstehenden Abbildung 4-8 werden die unterschiedlichen Produkte, sowie der Produktionsprozess, vom Ausgangsmaterial bis zum Holzwerkstoff, beschrieben.

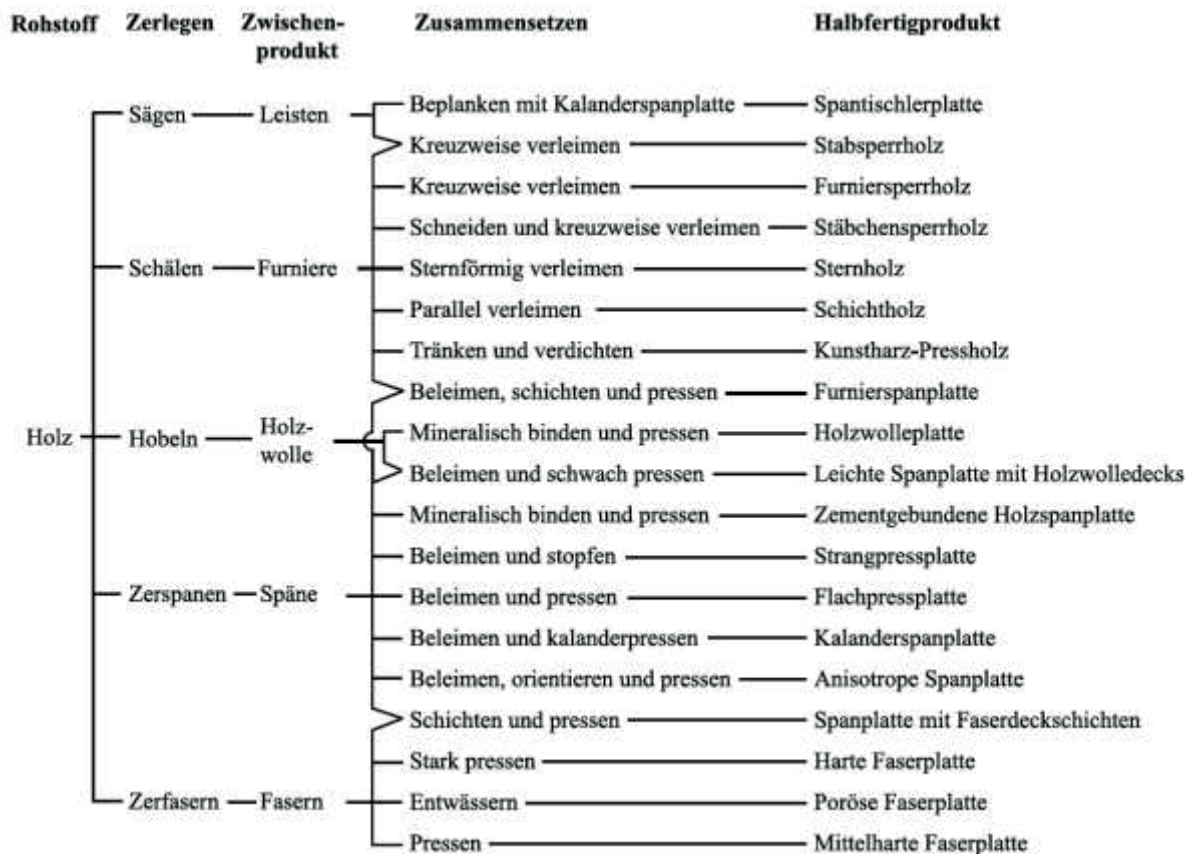


Abbildung 4-8: Übersicht verfügbarer Holzwerkstoffe [38]

Aufgrund der industriellen Produktion können unterschiedliche, auch plattenförmige Produkte in Dimensionen hergestellt werden, die speziell im Bauwesen einen großen Anwendungsbereich erlauben [12].

In dieser Arbeit kamen plattenförmige Holzwerkstoffe zur Anwendung, welche im Vorfeld als für die Schraubpressverklebung geeignet, eingestuft wurden. Diese werden in den nachfolgenden Abschnitten kurz beschrieben.

#### 4-2.1.1 Brettsperrholz

Brettsperrholz (BSP) wird durch die kreuzweise Aneinanderreihung der verklebten Lagen geprägt. Mindestens drei derartige Lagen geben diesem Werkstoff seine besonderen Eigenschaften. Dabei ist auf den symmetrischen Aufbau des Querschnitts zu achten. Unter Verwendung unterschiedlicher Anzahl und Dicken der Brettlagen entsteht ein variantenreicher Holzwerkstoff, welcher entweder als Scheibe oder Platte Anwendung findet [46]. Die Dimensionen von BSP-Elementen reichen mittlerweile von 3,0 m Breite x 16,5 m Länge bei einer Bauteildicke zwischen 60 bis 280 mm [15]. Die nachstehende Abbildung 4-9 zeigt exemplarisch ein 120 mm dickes BSP-Element, welches im Zuge dieser Arbeit zur Anwendung kam.



*Abbildung 4-9: BSP – Element aus Vorversuchen*

#### 4-2.1.2 Einschichtplatten

Einschichtplatten oder auch einschichtige Massivholzplatten (1s-Platten) sind Holzwerkstoffe, welche an der Längsseite parallel mit mehreren Stäben, Brettern oder, in Abhängigkeit der gewünschten Dicke, auch Pfosten verleimt werden. Der Vorgänger dieser Produkte ist das handgefertigte Leimholz, welches bei Tischlern bzw. im Bau von Möbeln heute noch Anwendung findet.

Einschichtplatten werden aus den verschiedensten Holzarten produziert. Im Zuge der Herstellung wird zumeist zwischen drei verschiedenen Oberflächenqualitäten differenziert. Die Kategorisierung in A-, B-, oder C-Qualität erfolgt anhand folgender Kriterien: Anzahl der Äste, Risse und Kernröhren, Farbgleichheit, sowie der Anteil der Harzgallen, wobei die A-Qualität am hochwertigsten ist. In Abhängigkeit dieser Qualitäten werden einschichtige Schnittholzplatten unterschiedlich eingesetzt. Sie finden entweder im Möbelbau oder als Platten im konstruktiven Ingenieurholzbau Anwendung. [44]

Die folgenden Prüfkörper wurden kurz vor dem Einspannen in die Prüfvorrichtung dokumentiert. Es handelt sich hier um ein Produkt der Oberflächenqualität-B.





**Abbildung 4-10:** 18 mm 1S – Platte der Prüfserien A6, A7, O7 und F8 (li) und 27 mm 1S – Platte der Prüfserien B6, A8 und B7 (re)

### 4-2.1.3 Dreischichtplatten

Mehrschichtplatten oder auch Massivholzplatten sind drei- oder fünflagig aufgebaut, wobei die anliegende Lage quer (90°) zur Decklage orientiert ist. In Abhängigkeit der späteren Verwendung wird dieser Holzwerkstoff sowohl aus Nadel- oder Laubholz hergestellt. Für die Verleimung der einzelnen Lagen werden meistens Melamin- und Phenolklebstoffe verwendet [44]. Die mechanischen Eigenschaften können mit der Holzqualität und dem Dickenverhältnis der einzelnen Schicht entscheidend beeinflusst werden. Dreischichtplatten (3s-Platten) werden mit einer Dicke von 16 bis 75 mm und in Formaten von 1000-3000 mm x 5000/6000 mm hergestellt. Diese plattenförmigen Produkte werden sowohl für nichttragende- als auch tragende Elemente für Wände oder Decken in Nutzungsklasse (NKL) 1 und 2 verwendet [45].



**Abbildung 4-11:** 16 mm 3S – Platte der Prüfserien D6 und D7 (li) und 27 mm 3S – Platte der Prüfserien J7, B8, E6, E7 und H8 (re)

### 4-2.1.4 Bausperrholz /Furniersperrholz

Für die Erzeugung dieses Holzwerkstoffs werden vor allem heimische Holzarten (fichte/Birke/Buche) verwendet. Es sind verschiedenste Qualitäten dieses Produkts erhältlich. Aus dem Rohmaterial werden zunächst Furniere geschält, anschließend verklebt und mit der entsprechenden Anzahl an Lagen und deren Orientierung gepresst. Bei Bau- bzw. Furniersperrhölzern handelt es sich um ein Produkt, welches aus mindestens dreilagigen Furnieren besteht, wobei man ab einem fünflagigen Aufbau und einer Dicke auch von Multiplexplatten spricht [44]. Das drei- bis neunlagige Buchenfurnier wird mit einer Furnierdicke von 1,5 bis 3,2 mm erzeugt.

Hergestellt werden diese plattenförmigen Holzwerkstoffe mit Dicken zwischen 8 bis 40 mm und Längs- und Querabmessungen von 2400/3050 mm x 1200/1525 mm [45]. Der Querschnitt von Furniersperrholzprodukten, welcher aus abwechselnd liegenden Längs- und Querlagen besteht, ist zur Mitte stets symmetrisch ausgebildet. Furniersperrhölzer werden sowohl im Innen- als auch Außenbereich verbaut. Zusätzlich gibt es eine Vielzahl an Furniersperrholzprodukten, welche für spezielle Anwendungen wie z. B. wetterfeste Balkonplatten oder schalldämpfende- und durchschussfeste Elemente eingesetzt werden [44]. Baufurniersperrhölzer aus Buche sind speziell für statisch hochbeanspruchte Elemente (Verstärkung von Durchbrüchen und Ausklinkungen) gut geeignet [45].



**Abbildung 4-12:** 9 mm BSPH Fichte der Prüfserien F6 und F7 (li) sowie 30 mm BSPH Buche der Prüfserien P7 und I8 (re)

#### 4-2.1.5 OSB – Platten

Die Abkürzung OSB steht für Oriented Strand Boards, wobei sie teilweise auch unter der Bezeichnung „Triply-Platten“ bekannt sind. Diese Platten werden mittels Flachpressverfahren hergestellt und werden durch ihre langen, schmalen Holzspäne, sogenannte Strands, charakterisiert [38]. Diese Späne sind in der Regel etwa 0,6 mm dick, 75 bis 130 mm lang und 40 mm breit. Vor allem in den Decklagen sind sie in Plattenlängsrichtung orientiert [45]. Die zerspannten Holzteile werden entweder mit Phenol-Formaldehydharzleim oder mit Polymethylendiisocyanat verklebt und anschließend mit kontinuierlichen Pressen produziert [38]. In Abhängigkeit der Orientierung der Späne und der Art und Menge des Klebstoffs weisen OSB-Platten unterschiedliche mechanische Eigenschaften auf. Sie werden in erster Linie mit einer Dicke von 6 - 40 mm hergestellt und haben dabei Abmessungen von 2440-5000 mm x 1220-2620 mm [45].



**Abbildung 4-13:** 12 mm OSB – Platte der Prüfserien H6 und H7

### 4-2.1.6 Kerto – S

Dieses Holzwerkstoffprodukt zählt zu den Furnierschichthölzern oder kurz LVL (Laminated Veneer Lumber). Dieses Holzwerkstoffprodukt ist unter dem Markennamen „Kerto“ sehr bekannt. [44] Im Gegensatz zu Furniersperrholzplatten bestehen diese Werkstoffe im Wesentlichen aus 3 mm dicken Furnieren, welche in erster Linie parallel, d.h. in Richtung der Faser verleimt werden (Kerto-S) [13]. LVL kann entweder plattenförmig oder stabförmig produziert werden, wobei durch Furnierstöße, welche versetzt und geschäftet ausgebildet werden, können bereits Platten mit einer Länge von bis zu 23 m hergestellt werden [44]. Im konstruktiven Holzbau kommen Furnierschichthölzer Entweder in Form eines Biegeträgers oder als Knotenplatten, als Dach-, Decken- oder Wandbeplankung, als tragende- oder aussteifende Scheibenelemente, als Brückenplatten oder aber Hohlkastenkörper zur Anwendung [44].



Abbildung 4-14: 27 mm Kerto – S der Prüfsérie I6

## 4-3 KLEBSTOFF

Wie im Kapitel 2-1.2.2 angesprochen unterscheiden sich Klebstoffe im Wesentlichen durch die Zusammensetzung bzw. das jeweilige Komponentensystem. Die Anwendung von Klebstoffen im Rahmen dieser Masterarbeit begrenzte sich auf die Verklebung der Prüfelemente für die Gewinnung von Scherprüfkörpern. Dazu kam ein 1K-Polyurethanklebstoff zum Einsatz. Die genaue Bezeichnung des Klebers lautet „Loctite HB S709 Purbond“ und wird im Weiteren mit „HB S709“ abgekürzt.

### HB S709

Dieser Kleber wurde vor allem für die Erstellung von BSH und Keilzinkenverbindung entwickelt. Es handelt sich um einen Klebstoff des Typ I nach EN 301, welcher keinerlei Lösungsmittel und/oder Formaldehyd beinhaltet [47]. Laut allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung darf dieser Kleber für tragende Verklebungen verwendet werden, wobei bei flächigen Klebungen eine maximale Fugendicke von 0,3 mm einzuhalten ist. An dieser Stelle wird auch festgehalten, dass die Anwendbarkeit für Schraubpressklebungen und geklebte Tafелеlemente dieses Klebstoffes nicht eindeutig erwiesen ist.

Anhand der Bezeichnung dieses Klebers ist bereits die Standardwartezeit ersichtlich. Die ersten beiden Zahlen in der Produktbezeichnung beschreiben diese Zeit in Minuten. Demnach beträgt die Wartezeit unter normierten Klimabedingungen (bei 20 °C Temperatur, 65 % rel. Luftfeuchtigkeit und  $u = 12\%$  Holzfeuchte) des HB S709, 70 Minuten. In der erwähnten Zulassung ist außerdem festgehalten, dass die Oberflächen der Füge-teile vor der Klebung geschliffen oder gehobelt werden müssen [48]. Wie bereits aus dem Punkt 2-1.2.2 bekannt ist, ist die Beschaffenheit der Oberfläche ein wesentlicher Parameter für die Qualität der Verklebung. Deswegen ist außerdem dafür Sorge zu tragen, dass die Füge-teilflächen so vorbehandelt werden und dass diese passgenau, rein, staub- und fettfrei sind [47]. Zusätzlich ist während des Klebevorgang und dem Aushärten dafür zu sorgen, dass die Raumtemperatur mindestens 20 °C beträgt. Die Holzfeuchte der Füge-teile muss dabei mindestens  $u = 8\%$  betragen, wobei die Temperatur dieser Körper zwischen 18 °C und 35 °C liegen sollt.

Erfolgt eine flächige Verklebung und sind beide Füge­teile aus Fichtenholz, so soll die Klebstoffauftragsmenge zwischen 140 g/m<sup>2</sup> und 180 g/m<sup>2</sup> liegen bzw. ist diese so anzupassen, dass eine vollflächige Benetzung der jeweiligen Oberfläche sichergestellt ist. Beim Klebstoff HB S709 ist neben der Standardpresszeit mit 210 min., auch die Standardaushärtezeit mit 180 min. festgelegt. Diese Zeitspannen beziehen sich zum einen auf die bereits erwähnten klimatischen Bedingungen und zum anderen auf Klebstoff­fugendicken zwischen 0,1 mm und 0,3 mm [48]. Zudem kann die Presszeit aufgrund veränderlicher Temperatur oder anderem Feuchtegehalt beeinflusst werden. So verzögert sich der Abbindeprozess beispielsweise bei niedrigeren Temperaturen und geringerem Feuchtegehalt markant. Der aufzubringende Pressdruck soll für tragende Anwendungen zwischen 0,6 N/mm<sup>2</sup> und 1,0 N/mm<sup>2</sup> liegen und außerdem passgenaue Fugen ermöglichen. Nach dem Abwarten des Pressvorganges sollen die zusammengeklebten Teile für zumindest 10 Stunden bei einer Temperatur von 20 °C gelagert werden [47].

## 4-4 SCHRAUBEN

Die Schraubenkopfdurchziehprüfungen wurden an Holz bzw. Holzwerkstoffen unterschiedlicher Eigenschaften mit insgesamt sieben verschiedenen Schraubentypen durchgeführt. Sowohl für die Schraubenkopfdurchziehprüfungen, als auch für die durchgeführten Scherprüfungen wurden die nachfolgend aufgelisteten Schrauben verwendet. Als Anmerkung wird hier festgehalten, dass im Sinne eines hohen Qualitätsstandards der Untersuchungen für jede Kopfdurchziehprüfung jede Schraube nur einmal verwendet wurde. Dasselbe gilt für alle Schrauben, welche im Zuge der Scherprüfungen verwendet wurden.

Für die Prüfungen wurden marktübliche Schrauben mit Senk- und Tellerkopf verwendet. Die jeweiligen Ausprägungen der Schraubenparameter sind in Tabelle 4-3 aufgelistet.

**Tabelle 4-3:** verwendete Schrauben [49]

Hersteller	d [mm]	d <sub>head</sub> [mm]	Gewindeinnen­durchmesser [mm]	Gewindelänge l <sub>g</sub> [mm]	Art des Schraubenkopfes
A	6	11	3,65	60	SK <sup>1)</sup>
	6	16	3,65	75	TK <sup>2)</sup>
	8	15	5,05	80	SK
B	5	10		62	SK
	6	12		70	SK
	6	14		70	TK
	8	22		80	TK

Anmerkungen:

<sup>1)</sup> SK...Senkkopf

<sup>2)</sup> TK...Tellerkopf

Die in Tabelle 4-3 angeführten Dimensionen wurden direkt vom Hersteller übernommen. Es zeigte sich, dass die Nennabmessungen im Rahmen der möglichen Toleranzen streuten. Daher wurde die Schraubenkopf mit einer Schieblehre vermessen und die Geometriedaten erhoben und aufgezeichnet. Die Daten dieser Aufzeichnungen sind im Anhang A-1.1 zusammengestellt.

Nachstehende Abbildungen sollen einen Überblick der verwendeten Schrauben ermöglichen. Besonders der Unterschied der Schraubenköpfe geht daraus hervor. Außerdem wird der Übergang vom Schraubenschaft zum Schraubenkopf im Detail dargestellt. Dieser markante Bereich wird unter anderem im Punkt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** noch näher angesprochen werden.



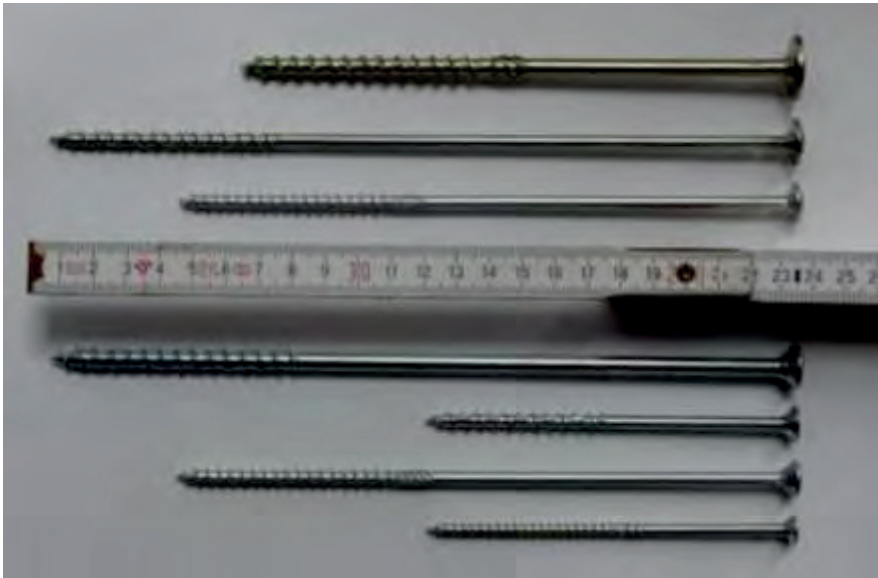


Abbildung 4-15: Übersicht der verwendeten Schraubentypen



Abbildung 4-16: Senkkopfschrauben (li) und Tellerkopfschrauben (re)

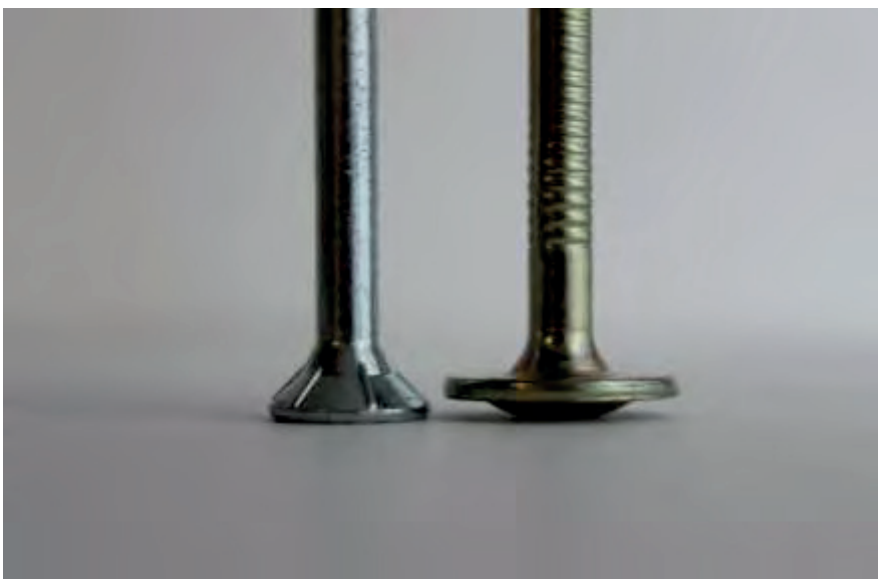


Abbildung 4-17: Übergang vom Schraubenschaft

## KAPITEL 5: METHODE

### 5-1 PRÜFDEFINITION

#### 5-1.1 PRÜFZIEL

Ziel dieser Masterarbeit war es die Regelungen zur Schraubpressverklebung aus ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1] einer kritischen Betrachtung zu unterziehen und ein Modell zur Berechnung der Schraubpressverklebung zu entwickeln. Insbesondere sollen die Einflüsse der Verwendung unterschiedlicher Holzprodukte für den aufzuklebenden Teil, deren Dicke sowie die Abhängigkeit unterschiedlicher Schraubenkopfgeometrien (Senk- und Tellerkopf) und des Kopfdurchmessers auf die Abstände des Verschraubungsrasters längs und quer dazu ( $a_1$  und  $a_2$ ) untersucht werden.

Als Basiskenngröße wurden dazu vorab die Kopfdurchziehparameter für unterschiedliche Holzprodukte und –dicken des aufzuklebenden Teils sowie des Typs des Schraubenkopfes und dessen Durchmesser an Hand von rund 700 Einzelprüfungen untersucht.

Nach ÖNORM EN 14080 [25] kann die Integrität einer Klebefuge mittels Scherprüfungen und/oder Delaminierungsprüfungen an Kleinproben verifiziert werden. Im Zuge dieser Arbeit wurden zu diesem Zweck ausschließlich Scherprüfungen durchgeführt. Für ausgewählte Holzprodukte (1-s -und 3s-Massivholzplatten aus Fichte) mit unterschiedlichen Dicken wurde die Scherfestigkeit für einen PU-Klebstoff, bei einer Variation des Schraubenrasters, mit rund 300 experimentellen Prüfungen untersucht. Ergänzend zu den Scherprüfungen wurden der Faserbruchanteil und die Klebefugendicke aufgenommen und dokumentiert.

#### 5-1.2 SCHRAUBENKOPFDURCHZIEHPRÜFUNGEN

Das anzuwendende Prüfverfahren zur Ermittlung der Kopfdurchziehparameter ist in ÖNORM EN 1383 [50] festgehalten. In dieser Prüfnorm sind sämtliche Randbedingungen für derartige Prüfungen definiert.

In Abhängigkeit des Holzes bzw. des Holzwerkstoffs müssen im Zuge der Vorbereitungsmaßnahmen der Holzfeuchtegehalt und die Rohdichte des Prüfkörpers entsprechend der Regelungen in ISO 130361-1, ISO 13061-2, EN 322 und EN 323 bestimmt werden. Die Prüfkörper sollen so hergestellt werden, dass sie im Zuge der Konditionierung ihre Holzgleichsfeuchte erreichen. Das normierte Referenzklima beträgt dabei  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  und  $(65 \pm 5) \%$  relative Luftfeuchtigkeit. Wenn die Ergebnisse von zwei Wägungen des Prüfkörpers innerhalb von sechs Stunden weniger als 0,1 % voneinander weichen, ist der Probekörper ausreichend konditioniert und die geforderte Massekonstanz wurde erreicht.

In ÖNORM EN 1383 [50] ist die in Abbildung 5-1 (li) gezeigte Prüfeinrichtung angeführt. Die als Gegenplatte des Prüfkörpers zu verwendende Stahlplatte (1) für Schraubenprüfungen und Nägeln muss dabei ein kreisrundes Loch mit dem Durchmesser  $D$  aufweisen. Dieser Durchmesser muss mindestens so groß sein wie der Betrag der zweifachen Dicke  $t$  des Bauteils plus der Durchmesser des Schrauben- bzw. Nagelkopfes. Wie man der nachstehenden Tabelle und der Abbildung 5-1 entnehmen kann, sind für Kopfdurchziehprüfungen auch die Prüfkörperabmessungen definiert. In Abhängigkeit der Art des Werkstoffs, sollen die nachstehenden Maße eingehalten werden.



Tabelle 5-1: Prüfkörperabmessungen gemäß ÖNORM EN 1383 [50]

Werkstoff des Prüfkörpers	Größe des Prüfkörpers (Mindestgröße)
Vollholz	$4 t \times 4 t$ mit $t \leq 7d$
Holzwerkstoffe	$4 t \times 4 t$ mit $t =$ Plattendicke, wie hergestellt

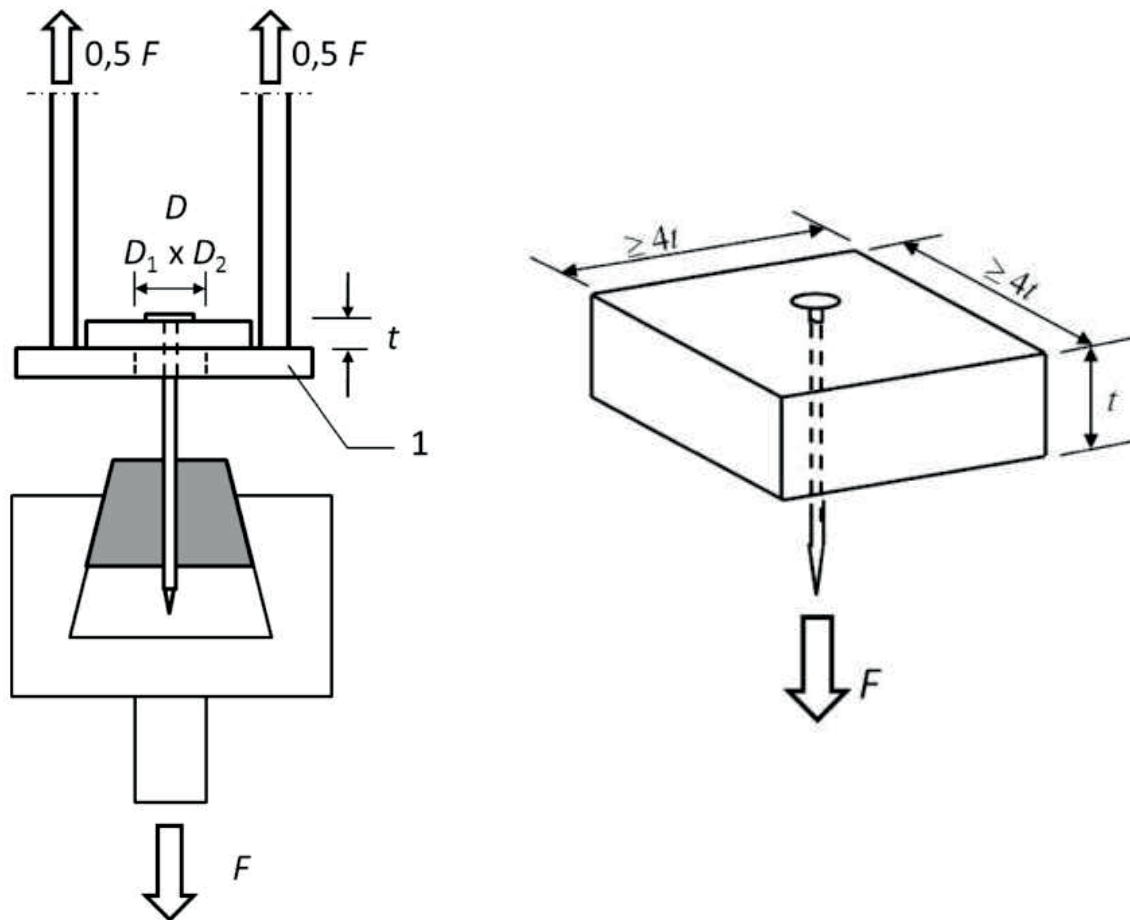


Abbildung 5-1: Prüfeinrichtung (li) und Prüfkörperdimensionen (re) für Schraubenkopfdurchziehprüfungen [50]

Dabei soll der Prüfkörper so eingespannt werden, dass die Kraft  $F$  zentrisch, in axialer Richtung des Verbindungsmittels wirkt. Mit einer möglichst konstanten Vorschubgeschwindigkeit wird das Verbindungsmittel durch den Prüfkörper gezogen. Die Stahlplatte der Prüfeinrichtung soll dabei möglichst unverschieblich gelagert sein. Außerdem soll die Vorschubgeschwindigkeit so gewählt werden, dass die maximale Kraft  $F_{\max}$  nach  $(300 \pm 120)$  s erreicht wird.

Anhand der Kraft-/Weg Beziehung dieser experimentellen Untersuchung und in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers wird auf diese Weise die Kopfdurchziehfestigkeit  $f_{\text{head}}$  bestimmt. Der Durchziehparameter ist laut ÖNORM EN 1383 wie folgt definiert

$$f_{\text{Kopf}} = \frac{F_{\text{max}}}{d_h^2} \quad (9)$$

Dabei sind:

- $f_{\text{Kopf}}$  ..... Durchziehfestigkeit [N/mm<sup>2</sup>]
- $F_{\text{max}}$  ..... maximale Durchziehungskraft [N]
- $d_h$  ..... Schraubenkopfdurchmesser [mm<sup>2</sup>]

Bei der Prüfung der Kopfdurchziehfestigkeit tritt eine Beanspruchung des Holzes durch den Schraubenkopf auf Querdruck auf. Der Kopfdurchziehparameter wird daher vor allem von der Art des Schraubenkopfes, des Kopfdurchmessers und der Art des Holzwerkstoffes (Rohdichte, Jahrringstruktur) sowie dessen Geometrie entscheidend beeinflusst.

## 5-1.3 SCHERPRÜFUNGEN

### 5-1.3.1 Scherfestigkeit

Bei geklebten, auf Abscheren beanspruchten Verbindungen und den daraus gewonnenen Probekörpern, bedarf es der folgenden Vorbehandlung: Die Prüfteile müssen zwischen 7 und 14 Tagen im Normklima ( $20 \pm 5$ ) °C und die ( $65 \pm 5$ ) % relativer Luftfeuchte bis zur Massekonstanz gelagert werden [51].

Um die Integrität bzw. die Festigkeit der Klebefuge einer Schraubpressverklebung bestimmen zu können, bedarf es der Durchführung von Scherprüfungen. In ÖNORM EN 14080 [25] ist die Prüfdurchführung einer Scherbeanspruchung zur Bestimmung der Festigkeit der Klebefuge wie folgt definiert:

Die Prüfkörper von Scherprüfungen werden zerstörend geprüft. Um den Bruch herbeizuführen ist eine normgemäße Prüfmaschine zu verwenden. Dabei sind die Probekörper in der Prüfvorrichtung so anzuordnen, dass der Abstand zwischen der Klebefuge und der Vorrichtung kleiner als 1 mm ist. Die einzelnen Prüfkörper werden mittels monoton ansteigender Last bis zum Eintreten des Bruchs in Faserrichtung belastet. Die Vorschubgeschwindigkeit ist so zu wählen, dass der Bruch nach mindestens 20 s erfolgt. Außerdem soll im Zuge der Versuchsdurchführung die Messung der maximalen Kraftaufbringung im Bereich von  $\pm 3$  % bleiben. In der nachstehenden Abbildung 5-2 wird die zu verwendende Prüfvorrichtung veranschaulicht. Wichtig ist hierbei, dass zylindrische Druckstück, welches sich dem Prüfkörper mit einer Scherfläche von 50 mm x 50 mm so anpasst, dass eine möglichst gleichmäßig verteilte Belastung in dieser erzielt wird [25].

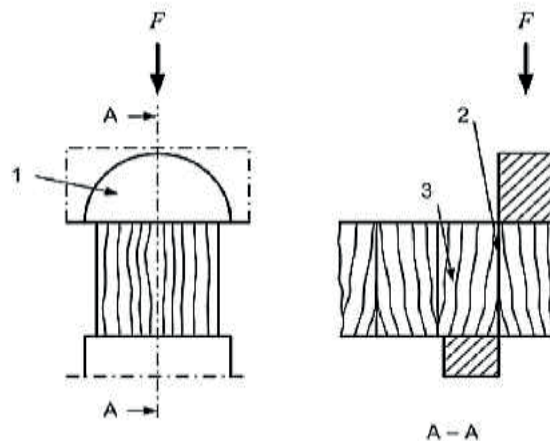


Abbildung 5-2: Schervorrichtung zur Überprüfung der Integrität der Klebefuge gemäß ÖNORM EN 14080 [25]

Dabei sind:

- 1 .....zylindrisches Druckstück
- 2 .....Scherfläche
- 3 .....Prüfkörper

Unter der Annahme, dass die auftretenden Schubspannungen über den Querschnitt gleichmäßig verteilt sind, ist die Scherfestigkeit der Klebefuge wie folgt definiert

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (10)$$

Dabei sind:

- $\tau$  .....Scherspannung in der Klebefuge [N/mm<sup>2</sup>]
- $F$  .....Kraft in der Scherprüfung [N]
- $A$  .....Scherfläche [mm<sup>2</sup>]

### 5-1.3.2 Faserbruchanteil

Bei der Scherprüfung einer Klebeverbindung ist neben der Festigkeit auch der Faserbruchanteil von Bedeutung. Als Faserbruch wird explizit der Bruch im adhäsiven Bereich zwischen Klebstoff und Fügeteil verstanden. Nachdem das Versagen bzw. der Bruch des Probekörpers eingetreten ist, wird der Anteil der Faserbruchfläche in Bezug auf die gesamte Scherfläche gebracht. Dieser prozentuelle Anteil ist, auf den nächsten durch 5 teilbaren Wert, anzugeben. Werden geklebte Verbindungen geprüft, so sind die nachstehenden Anforderungen in Tabelle 5-2 unter Berücksichtigung des Faserbruchanteils für eine zuverlässige und sichere Klebefugenintegrität einzuhalten. Generell besteht das Ziel jeder Klebeverbindung darin, diese so herzustellen, dass es zu keinem Versagen in der Klebefuge kommt, sondern im Bereich der naheliegenden Holzfasern liegt. In Anlehnung an ÖNORM EN 14080 [25] wird explizit festgehalten, dass eine Scherfestigkeit von 4 N/mm<sup>2</sup> nur dann zulässig ist, wenn die Probe 100 % Faserbruchanteil aufweist. [25]

**Tabelle 5-2:** *Grenzwerte zur Einhaltung einer ausreichenden Klebefugenqualität nach ÖNORM EN 14080 [25]*

	Mittelwert			Einzelwerte		
Scherfestigkeit $f_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]	6	8	$f_v \geq 11$	$4 \leq f_v < 6$	6	$f_v \geq 10$
Mindestwert des Faserbruchanteils [%]	90	72	45	100	74	20

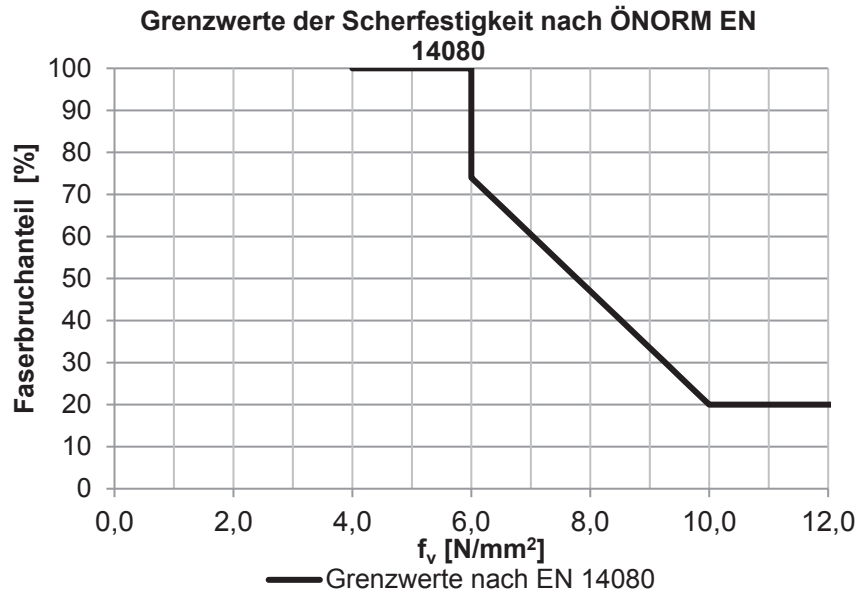


Abbildung 5-3: Grenzwerte der Scherfestigkeit in Abhängigkeit vom Faserbruchanteil nach ÖNORM EN 14080 [25]

## 5-1.4 GERÄTE

### Prüfmaschine Zwick

Sämtliche Prüfungen zur Ermittlung der Kopfdurchziehtragfähigkeit der Scherfestigkeit wurden mit der der Prüfmaschine „Zwick Universal 275“ der Marke Zwick/Roell im Bautechnikzentrum der TU Graz durchgeführt. Bei dieser Prüfeinheit handelt es sich um eine stufenlos steuerbare weg- und/oder kraftgesteuerte Universalprüfmaschine. Es können Prüfungen mit Kräften von bis zu 275 kN durchgeführt werden. Um die Daten einer Prüfung aufzuzeichnen, und für die spätere Verarbeitung zur Verfügung zu haben, ist die Universalmaschine mit einem Messwerterfassungssystem gekoppelt. Mit Hilfe des Messwerterfassungsgerätes Quantum und der Software testXpert V11.02 wurden die Rohdaten jedes Prüfkörpers mit einer Messfrequenz von 5 Hz erfasst. Diese beinhalteten im Wesentlichen Aufzeichnungen der aufgebrachtten Kraft [N], der Prüfzeit in [s] und der Verformung (Weg bei Kopfdurchziehprüfungen) [mm].

Um die Kopfdurchziehprüfungen untereinander vergleichbar zu machen, war es erforderlich einen klar definierten Anfangspunkt zu bestimmen. Aufgrund dessen wurde bei den Voreinstellungen des Computerprogramms eine Vorlast von 50 N festgelegt, d.h. ab dem Zeitpunkt des Erreichens dieser Last begann die eigentliche Prüfung.

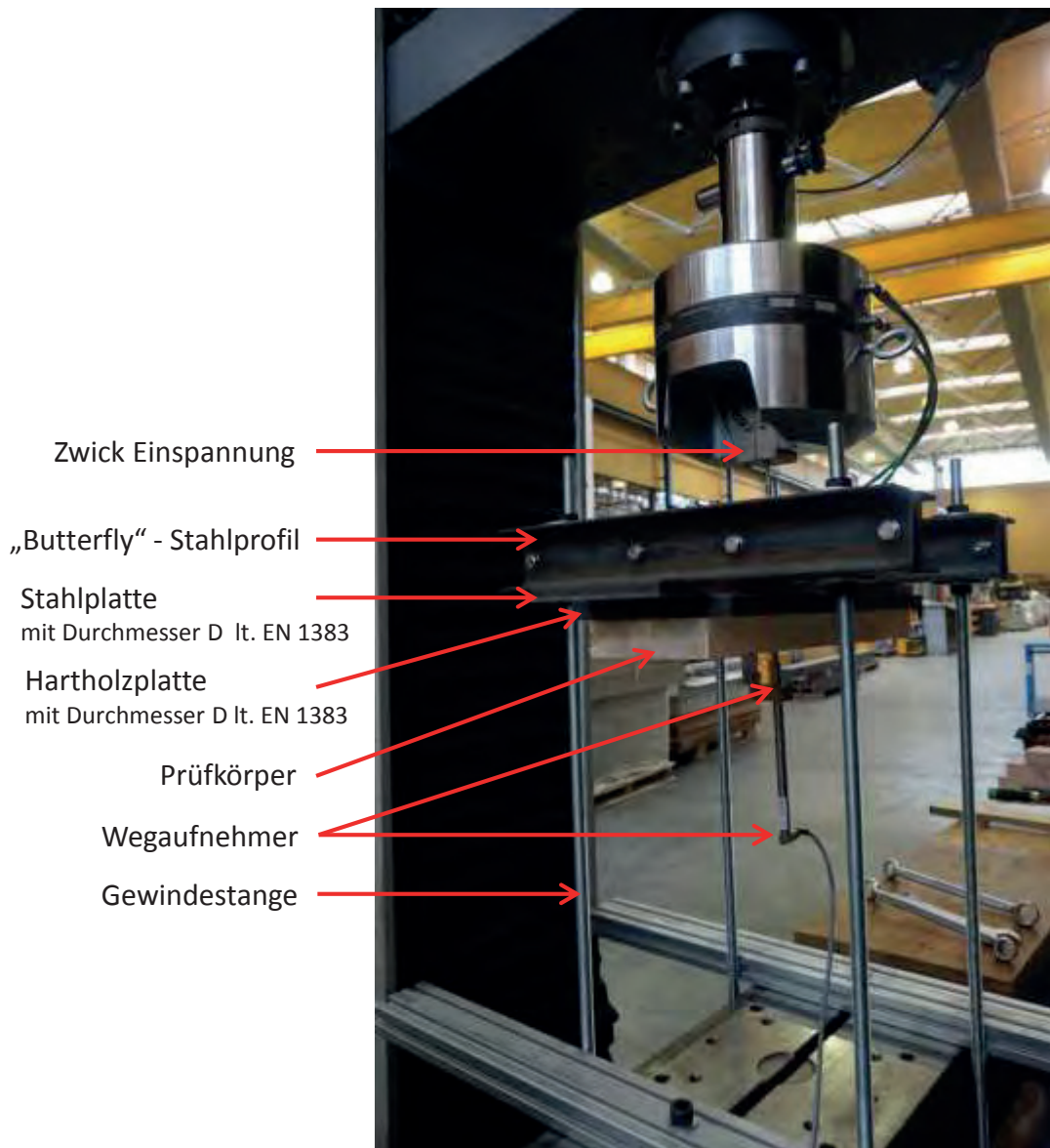
### Wegaufnehmer

Obwohl die Prüfmaschine und das damit gekoppelte Messwerterfassungsprogramm den Weg bzw. die Verschiebung der Prüfung ständig misst und aufzeichnet, kam bei den Kopfdurchziehprüfungen ergänzend ein externer Wegaufnehmer zum Einsatz (HBM WA-T 10-100 mm). Dieser diente einerseits der Kontrolle der gemessenen Werte des Traversenweges und andererseits der Bestimmung des absoluten Weges. Das heißt mit der direkten Messung mit dem Wegaufnehmer am jeweiligen Schraubenkopf wurde eine etwaige Nachgiebigkeit der Prüfkonfiguration minimiert. In Abhängigkeit der wirkenden Durchzugskraft, spiegeln die Aufzeichnungen die Verformung wieder, welche für die Auswertung der Ergebnisse von Bedeutung sind.



**Abbildung 5-4:** *WA-T 10 – 100 mm Wegtaster von HBM (li) und Detailaufnahme der Kontaktpunktes von Wegtaster und Schraubenkopf*

Die Wegaufnehmer von HBM basieren auf dem Prinzip einer induktiven Halbbrücke bzw. dem Differentialdrossel-Prinzip. Im Sensor des Wegaufnehmers wird die Brücke schließlich zur Vollbrücke ergänzt. Es gibt verschiedene Varianten des Wegaufnehmers in Abhängigkeit des erforderlichen Messbereichs. Je nach Dicke des Prüfkörpers wurden Wegaufnehmer verwendet, welche Verformungen bis zu 20 mm bzw. 50 mm aufzeichnen. Dabei liegt die Linearitätsabweichung zwischen 0,1 % und 0,2 %. [52]



**Abbildung 5-5:** für die Kopfdurchziehprüfungen verwendete Prüfkonfiguration

In Abbildung 5-5 ist die, den Anforderungen von ÖNORM EN 1383 [50] genügende, Prüfvorrichtung der Kopfdurchziehprüfungen dargestellt. Diese Konfiguration kam sowohl bei den Voruntersuchungen als auch bei den Hauptprüfungen zum Einsatz.

#### Mikroskop

Im Zuge der Scherprüfungen wurden mit Hilfe einer USB Mikroskopkamera, mit einem Vergrößerungsfaktor von 10 x bis 200 x, die Dicken der Klebefugen mit einer Genauigkeit von 0,05 mm bestimmt [53]. Mit dem damit gekoppeltem Programm „Escape“ war es möglich, die aufgenommenen Bilder zu sichern und in der Folge zu bearbeiten.



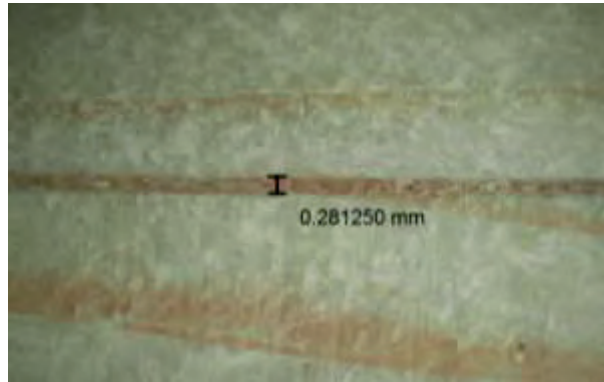


Abbildung 5-6: gemessene Klebfugendicke mit USB – Mikroskopkamera

## 5-1.5 VORBEREITUNG BZW. HERSTELLUNG DER PRÜFKÖRPER

### 5-1.5.1 Prüfkörper für Kopfdurchziehprüfungen

Im Zuge der Vorbereitung für die Untersuchungen der Kopfdurchziehtragfähigkeit wurden die Prüfkörper aus handelsüblichen Platten-Werkstoffen der unterschiedlichen Produkte herausgeschnitten. Die Längs- und Quermaße der Prüfkörper wurden normgemäß hergestellt. Die Abmessungen müssen dabei mindestens so groß sein wie die vierfache Dicke  $t$  des Prüfkörpers. Mit Ausnahme der Serien C6 und C7 wurden, aufgrund der einfacheren Durchführung alle Prüfkörper mit 150 mm x 150 mm zugeschnitten. Abweichend davon wurden die zuvor genannten Serien aufgrund der Bauteildicke von 54 mm auf 220 mm x 220 mm große Stücke vorbereitet. Während dieses Arbeitsschrittes wurden Probekörper mit unregelmäßigen Strukturen und/oder Ästen aussortiert. Generell wurde bei der Prüfkörper Auswahl darauf geachtet, dass sich Äste mit einem möglichst großen Abstand zum Bereich des Kraftangriffspunktes des Schraubenkopfes befinden.



Abbildung 5-7: Zugeschnittene Prüfkörper (li) und BSP – Basiselement für die Vorversuche (re)

Um etwaige Risse beim späteren Durchschrauben zu vermeiden, wurden die Prüfkörper in Anschluss an das Zuschneiden vorgebohrt. In Abhängigkeit der verwendeten Schrauben wurden die Bohrlöcher mit dem

Durchmesser des Schraubennendurchmessers mit  $(d-1 \text{ mm})$  hergestellt. Sämtliche Prüfkörper wurden unter gleichen Umgebungsbedingungen erzeugt. Während dem Herstellungsprozess kam es zu keiner Unterscheidung hinsichtlich der weiteren Verwendung des jeweiligen Probestücks. Erst im Zuge der notwendigen Beschriftung, welche prüfspezifische Informationen beinhaltet, wurden die Prüfkörper zugeordnet. Nachdem die Plattenelemente konditioniert geliefert wurden, betrug die Holzfeuchte im Allgemeinen bereits zwischen  $u = 12 \% \pm 2 \%$ . Um eine hohe Qualität aufrecht zu halten wurden sämtliche Prüfkörper vor der maschinellen Untersuchung in einer Klimakammer mit Normalklima zwischengelagert. Die Holzfeuchte wurde für die jeweiligen Prüfkörper unmittelbar nach durchgeführter Prüfung mittels Darrproben bestimmt. Aufzeichnungen der Holzfeuchte kann man dem **Anhang entnehmen**.

### 5-1.5.2 Scherprüfungen

Um die Probekörper für die Bestimmung der Scherfestigkeit herzustellen, wurde eine Schraubpressverklebung mit unterschiedlichen Schraubenrastern durchgeführt und die einzelnen Proben nach dem Aushärten des Klebstoffs aus dem vollflächig verklebten Bauteil geschnitten. Als Basisbauteil dienten für alle Scherprüfkörper 90 mm dicke BSP-Elemente, welche in Abbildung 5-8 dargestellt sind.



Abbildung 5-8: *Basiselemente aus BSP für die Schraubpressverklebung zur Durchführung von Scherprüfungen*

Wie bereits in Punkt 2-3.2 angesprochen wurde, sind in ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1] Angaben zur Herstellung von Schraubpressverklebungen definiert. Aus Übersichtlichkeitsgründen werden diese hier noch einmal stichwortartig aufgelistet und anschließend näher erläutert.

- Dicke von aufgeklebten Brettlamellen  $20 \text{ mm} \leq t \leq 45 \text{ mm}$
- Dicke von aufgeklebten Holzwerkstoffen  $10 \text{ mm} \leq t \leq 50 \text{ mm}$
- Verwendung fugenfüllender Klebstoffe oder Einhaltung einer Klebefugendicke  $< 0,3 \text{ mm}$  für Klebstoffe nach ÖNORM EN 301
- Schraubendurchmesser:  $d \geq 6 \text{ mm}$
- Einbindetiefe:  $l_E > \min(7 \cdot d; t_{\text{PLATTE}})$
- Verwendung von Schrauben mit Teilgewinde oder Vollgewinde mit Vorbohrung  $(d+1 \text{ mm})$
- das Schraubengewinde darf nicht in das Fügeteil ragen
- wenn  $t \geq 30 \text{ mm}$ : nur Verwendung von Tellerkopfschrauben mit  $d_h \geq 2,4 \cdot d$
- Schraubenabstand:  $\leq 150 \text{ mm}$

- Einflussfläche je Schraube:  $a_1 \cdot a_2 \leq 15.000 \text{ mm}^2$
- Randabstand:  $\leq 10 \cdot d$

Der erste angeführte Punkt der Bauteildicke wurde bei sämtlichen Scherprüfungen normgemäß behandelt. Es wurden Platten auf die BSP-Elemente ( $t_{\text{BSP}} = 90 \text{ mm}$ ; 30-30-30 mm) angebracht, welche 16, 18 oder 27 mm dick waren. Es wird festgehalten, dass die Verwendung von fugenfüllenden Klebstoffen mit dem HB S709 nicht eingehalten wurde. Des Weiteren wurden, den Anforderungen entsprechend, Schrauben mit einem Durchmesser von 6 mm verwendet. Außerdem wurden neben der Berücksichtigung der oben definierten Einbindetiefe sowohl Schrauben mit Teilgewinde verschraubt, als auch darauf geachtet, dass das Gewinde nicht in das aufzuklebende Plattenelement ragt. An dieser Stelle sei festgehalten, dass mit Ausnahme des Randabstands, keine Anforderung der letzten vier angeführten Punkte eingehalten wurden. Zur Verwendung kamen Tellerkopfschrauben der Firma Würth ( $d_h = 14 \text{ mm}$ ), welche der Bedingung  $d_h \geq 2,4 \cdot d \rightarrow 2,4 \cdot 6 = 14,4 \text{ mm}$  mit geringfügiger Abweichung nicht genügen. Außerdem wurde der maximale Schraubenabstand, bis auf die beiden Serien A0 und B0, zu deren Optimierung bewusst nicht eingehalten. Dies führt im Weiteren dazu, dass auch die maximal zulässige Klebefläche von  $15.000 \text{ mm}^2$  bis auf die Referenzserien (A0 und B0) nicht normgemäß sind. Die Schraubenabstände und Einflussflächen je Schraube der Prüfserien sind der Tabelle 5-9 zu entnehmen. Wie angedeutet, wurden sämtliche Anforderung von zwei Serien (A0 und B0) der „Versuchsreihe 0“ eingehalten. Diese Prüfungen stellen daher die normgemäßen Referenzwerte dar.

Die Holwerkstoffplatten wurden eingangs serienspezifisch zugeschnitten, der Klebstoff in definierter Menge laut Hersteller aufgebracht und anschließend verschraubt. Im Zuge dieses Arbeitsschritts wurden die Klebstoffauftragsmenge sowie der zeitliche Rahmen (offene Zeit) dokumentiert. Wie in Tabelle 5-3 zu erkennen ist, konnte dadurch die offene Zeit des Klebstoffs bei jeder Serie eingehalten werden.

**Tabelle 5-3: Informationen zum Klebprozess**

	Auftragsmenge „soll“ [g/m <sup>2</sup> ]	Auftragsmenge „ist“ [g/m <sup>2</sup> ]	Beginn des Auftrages	Ende des Auftrages	offene Zeit [min]
<b>Serie A0</b>	80,4	84	10:53	11:02	9
<b>Serie B0</b>	80,4	80	11:08	11:16	8
<b>Serie C0</b>	113	116	11:19	11:26	7
<b>Serie D0</b>	113	114	11:29	11:36	7
<b>Serie A1</b>	109	110	11:39	11:46	7
<b>Serie B1</b>	109	112	12:52	12:59	7
<b>Serie C1</b>	154	158	13:05	13:13	8
<b>Serie D1</b>	154	164	13:15	13:23	8
<b>Serie B2</b>	142	144	13:28	13:36	8
<b>Serie D2</b>	166	172	13:43	13:51	8

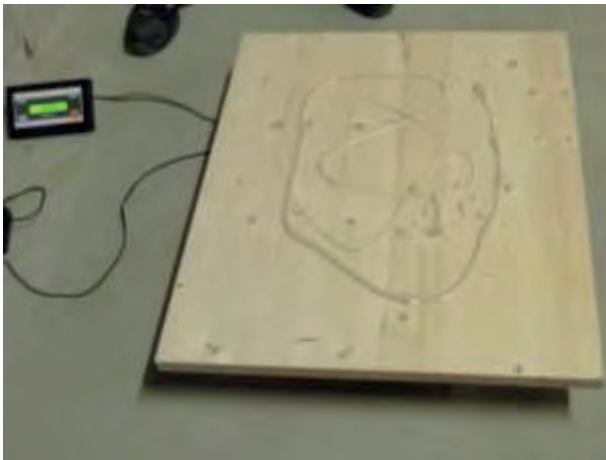
Anmerkungen:

<sup>1)</sup> Diese Werte entsprechen den Herstellerangaben

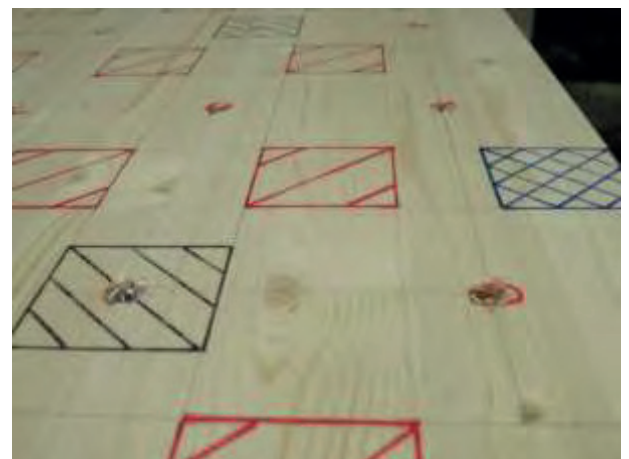
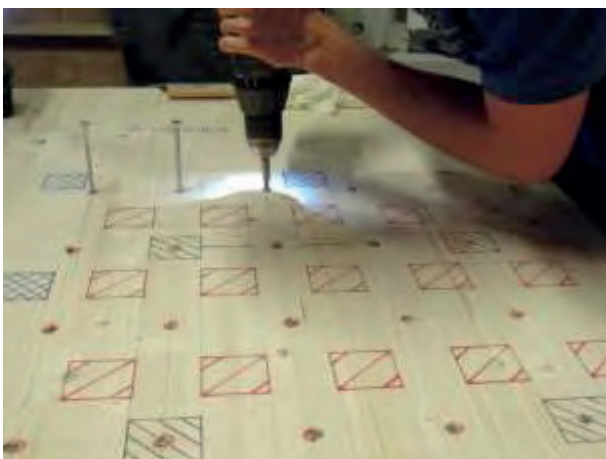
Beim Aufbringen des Schraubenpressdrucks wurde darauf geachtet, dass in Abhängigkeit der Prüfserie, die Senk- und Tellerkopfschrauben stets in einer Reihe und Stück für Stück eingebracht werden. Danach wurden die schraubpressverklebten Bauteile in Normklima gelagert. Es wurde darauf geachtet, dass die Fügebauteile nach Beendigung des Schraubpressvorganges keiner mechanischen Einwirkung mehr ausgesetzt waren. Hinsichtlich der Presszeit und Aushärtezeit wurden die Angaben des Klebstoffherstellers beachtet



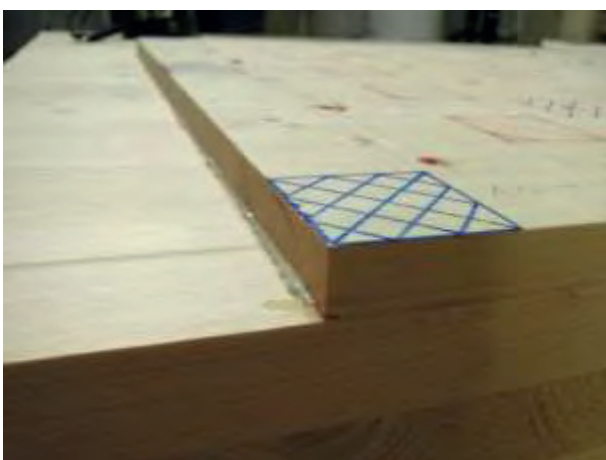
und eingehalten. In den nachstehenden Abbildungen (Abbildung 5-9 bis Abbildung 5-12) wird die Produktion einer der schraubpressverklebten Platten dokumentiert.



**Abbildung 5-9:** *Klebstoffauftragsmenge mit Waage bestimmt (li), anschließend gleichmäßige Verteilung des Klebstoffs mit geeigneter Spachtel (re)*



**Abbildung 5-10:** *Einschraubvorgang bzw. Aufbringung des Schraubenpressdrucks (li) und Schraubenraster sowie Lage der Prüfkörper (re)*



**Abbildung 5-11:** *Austritt des Klebstoffs unmittelbar nach Aufbringung des Schraubenpressdrucks*

Etwa 96 Stunden nach Aufbringen der Schraubenbelastung wurden, den in Tabelle 5-9 angeführten Abständen entsprechend, Plattenstreifen in Faserrichtung herausgeschnitten. Danach wurde entlang dieser Längsschnitte die Klebefugendicke, an jeder Stelle eines Prüfkörpers, mittels eines elektronischen Mikroskops aufgenommen.

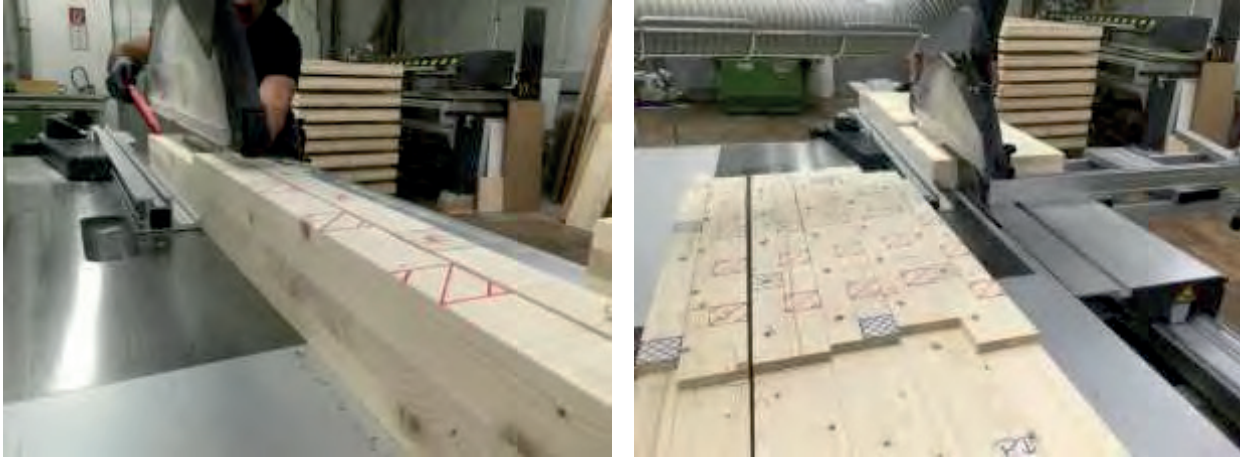


Abbildung 5-12: Zuschnitt der Plattenstreifen in Faserrichtung

Exemplarisch wurde der Prüfkörper der Serie S-11-18-A0 in Abbildung 5-13 dafür verwendet, den Schraubenraster und die markierten Bereiche der späteren Scherkörper zu veranschaulichen. Die Prüfkörper jeder schraubpressverklebten Platte wurden analog dazu entnommen und später geprüft. An dieser Stelle sei festgehalten, dass die Prüfkörper erst unmittelbar vor der Scherbeanspruchung in ihre endgültige Quaderform zugeschnitten wurden. In Abbildung 5-13 ist die Lage des jeweiligen Probekörpers dargestellt, dabei wird in Folge zwischen den folgenden drei Positionen unterschieden:

- Standardprüfkörper
- Rand- und Eckprüfkörper
- Prüfkörper im Schraubenbereich

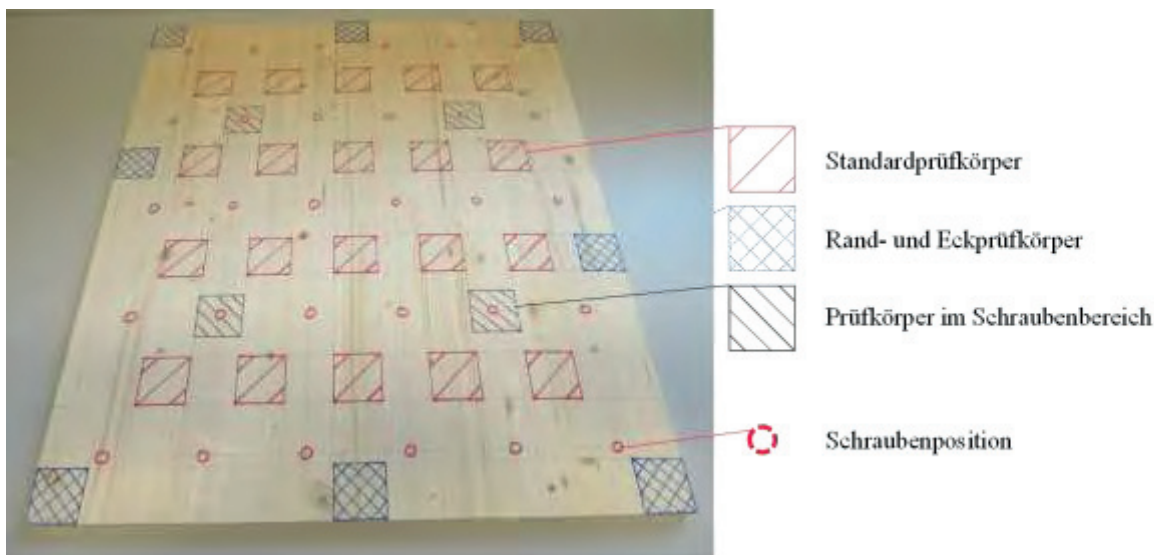


Abbildung 5-13: Markierung der Prüfkörperentnahme

Die Probekörper wurden, dem Bezeichnungssystem entsprechend beschriftet, wobei mit Hilfe der fortlaufenden Nummerierung auch die Entnahmestelle des Prüfkörpers nachvollziehbar ist. Wie man erkennen kann, gibt es im Wesentlichen drei unterschiedliche Positionen der Prüfkörper. Die farblich rot markierten Prüfkörper werden als „Standardprüfkörper“ bezeichnet und sind stets von vier Schrauben

umgeben („Regelement“). Diese Prüfkörper sind maßgeblich von der Klebe- bzw. Einflussfläche je Schraube beeinflusst. In Abbildung 5-13 beträgt der Schraubenabstand beispielsweise 150 mm in Faserrichtung und 100 mm quer dazu. Dieser Raster ist damit konform zu den maximalen Abständen entsprechend der aktuellen Norm. Die „Blau“ markierten Bereiche kennzeichnen jene Probekörper, welche sich entweder am Rand -oder im Eckbereich des Prüfelements befinden. Die „Schwarz“ markierten Bereiche werden hingegen unmittelbar im Zentrum einer Schraube beansprucht, d.h. diese Probekörper liegen in der Schraubennachse und weisen ein Loch auf, wodurch auch die Klebefläche des Grundmaßes der Prüfkörper von 50×50 mm beeinflusst wurde.

## 5-2 PRÜFSERIEN

Dieser Abschnitt zeigt sämtliche Serien der experimentellen Untersuchungen. Dadurch sollen die Übersicht sowie eine klare Betrachtungsweise gewährt bleiben. Damit werden Unterschiede zwischen den Prüfserien verdeutlicht und die damit einhergehenden Details veranschaulicht.

### 5-2.1 BEZEICHNUNGSSYSTEMATIK

Um die Prüfkörper sowohl vor- während- als auch nach den Untersuchungen zuordnen zu können wird an dieser Stelle auf die projektspezifische Namenskonvention eingegangen.

Die Prüfkörperbezeichnung beinhaltet die in Abbildung 5-14 gezeigten Informationen. Damit sind wichtige Parameter wie  $d_{head}$  oder die Dicke  $t$  des Prüfkörpers auf einen Blick zu erkennen.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die Probekörper von Kopfdurchzieh- und Scherprüfungen mit dem gleichen Prinzip der Beschriftung gekennzeichnet.

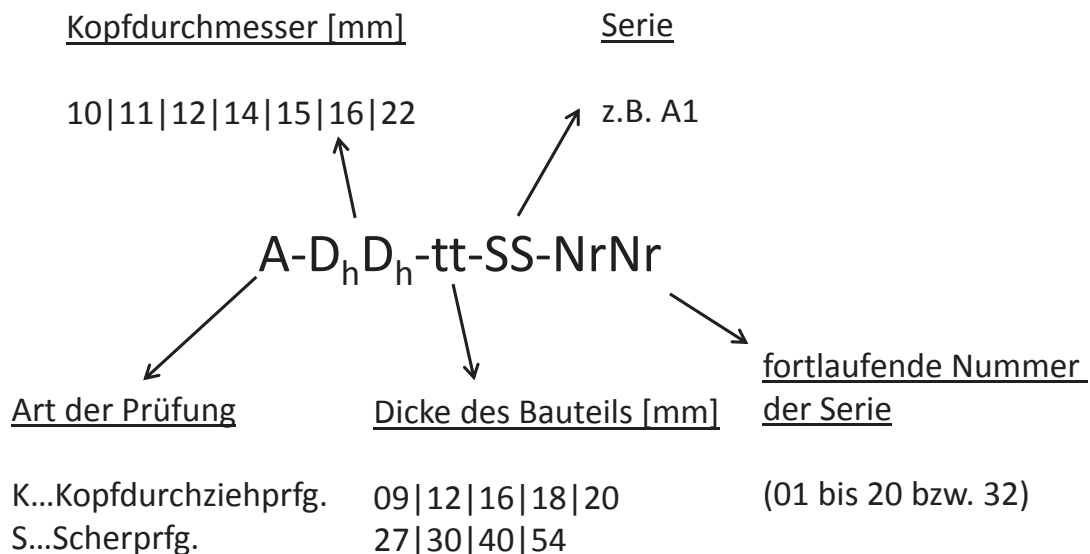


Abbildung 5-14: Bezeichnungssystematik der Prüfkörper

### 5-2.2 VORVERSUCHE

Das Ziel der Vorversuche war es, herauszufinden in wie weit eine elastische Bettung Einfluss auf die Kopfdurchziehfestigkeit nimmt. Als Vergleich hierzu diente die Prüfkonfiguration laut Norm, welche für das Bestimmen dieses Schraubenparameters relevant ist. Ein weiteres Anliegen war die Kontrolle der einwandfreien Umsetzung der Prüfkonfiguration. Darum wurden im Zuge der Vorversuche 47 Prüfkörper gefahren. Außerdem war das Kennenlernen der Prüfkörperfertigung und der Prüfmaschine, sowie die Erkenntnis des gesamten Aufwandes vorteilhaft für die spätere Prüfdurchführung bei den Hauptprüfungen. Dadurch konnten die erforderlichen Arbeitsschritte präziser bestimmt, deren zeitlicher Aufwand abgeschätzt und die Prüfplanung klarer strukturiert werden.



## 5-2.2.1 Prüfmaterial

### Holz

Sowohl bei den Untersuchungen mit BSP-Bettung (Serien A1 und B1) als auch bei jenen laut ÖNORM EN 1383 wurden Vollholzbretter aus Fichte untersucht. In Abhängigkeit der jeweiligen Serie wurden entweder 20 mm oder 40 mm dicke Bretter verwendet. Es wurden darauf Wert gelegt, nur jene Bretter zu verwenden, welche ähnliche Jahrringbreiten und Rohdichten aufwiesen. Bretter mit auffallenden Unregelmäßigkeiten und Ästen im Bereich des Schraubenkopfes wurden verworfen. Gleiches galt für die 120 mm dicken BSP-Unterlagen der Serien A1 und B1, welche ebenso aus Fichtenholz bestanden.

### Schrauben

Nachdem die Vorversuche in erster Linie darauf abzielten, Auswirkungen der verschiedenen Unterlagen mit denselben Geometrieparametern zu untersuchen, wurde bei allen Prüfkörpern Schrauben ( $d = 8 \text{ mm}$  |  $d_{\text{head}} = 22 \text{ mm}$ ) verwendet. Bei den Vorversuchen wurde für jeden Prüfkörper eine neue Schraube eingespannt und durchgezogen. Die Schraubenlänge von 300 mm war aufgrund der Prüfkfiguration erforderlich, welche im folgenden Abschnitt näher besprochen wird.

## 5-2.2.2 Prüfkfiguration

Im Zuge der Vorversuche kamen zwei unterschiedliche Konfigurationen zur Anwendung. Wie man der Abbildung 5-5 entnehmen kann, sind geometrische Kenngrößen definiert und einzuhalten. Nachdem die Brettdicken bei den Vorversuchen entweder 20 mm oder 40 mm dick waren und der Kopfdurchmesser mit 22 mm konstant blieb, ergaben sich für die Unterlage der Prüfkörper folgende Durchmesser:

$$D \geq 2 \cdot t + d_{\text{head}} \quad (11)$$

- für die Serie A0:

$$D \geq 2 \cdot 20 + 22 \geq 62 \text{ mm} \quad (12)$$

- für die Serie B0

$$D \geq 2 \cdot 40 + 22 \geq 102 \text{ mm} \quad (13)$$

Dabei sind:

$D$  .....Durchmesser der Unterlage [mm]

$t$  .....Dicke des Bauteils [mm]

$d_h$  .....Kopfdurchmesser der Schraube [mm]

Entsprechend dieser Durchmesser (A0  $\rightarrow$  62 mm | B0  $\rightarrow$  102 mm) wurden Löcher in Kompaktplatten als Unterlage der Prüfkörper gebohrt. Um die gesamte Prüfkfiguration möglichst steif und unverschieblich auszubilden, wurde darunter zusätzliche eine Stahlplatte mit einem Lochdurchmesser von 72 mm angebracht.



Abbildung 5-15: Prüfkonfiguration für die Serie A0, B0 & R0 (li) und A1 & B1 (re)

Wie man der Abbildung 5-15 entnehmen kann, wurden die Serien A0 und B0 sowie R0 der Norm entsprechend geprüft. Bei den Serien A1 und B1 wurde die bereits erwähnte BSP-Unterlage verwendet. An dieser Stelle wird auch erwähnt, dass es sich bei Serie K-22-40-R0 um spezielle Probekörper handelt: Es war zu vermuten, dass die Lage der Jahrringe Einfluss auf die Querdruckfestigkeit hat. Darum wurden im Zuge der Voruntersuchungen auch Prüfkörper untersucht, welche aus sogenannter Riftware stammen. Das Ziel war es etwaige Abhängigkeiten dieser speziellen Jahrringstellung der Kopfdurchziehfestigkeit, verglichen mit „üblicher“ Jahrringlage, festzustellen.

### 5-2.3 KOPFDURCHZIEHPRÜFUNGEN DER HAUPTPRÜFUNGEN

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in Abbildung 5-16 die Bezeichnungssystematik der Kopfdurchziehprüfungen nochmals dargestellt.

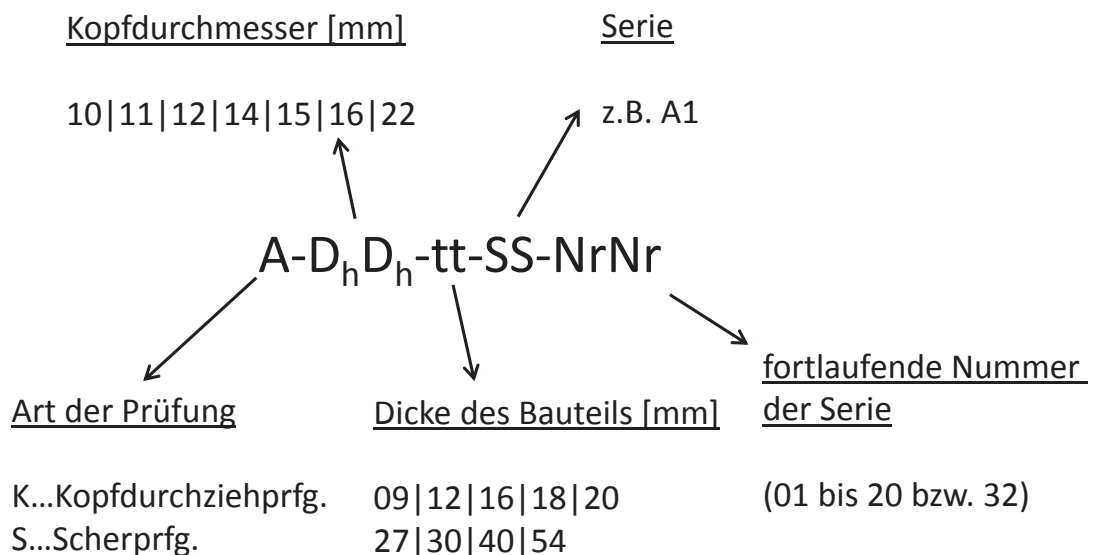


Abbildung 5-16: Bezeichnungssystematik der Kopfdurchziehprüfungen

### 5-2.3.1 Prüfmateriale

#### Holz

Im Zuge der Kopfdurchziehprüfungen wurden insgesamt sieben unterschiedliche Holzwerkstoffe untersucht. Neben dem Produkttyp wurde auch die Dicke dieser Bauteile variiert. Genaue Daten können den nachstehenden Übersichtstabellen (Tabelle 5-5 bis Tabelle 5-8) entnommen werden.

#### Schrauben

Es wurden die in Punkt 4-4 beschriebenen Senk- und Tellerkopfschrauben verwendet. Insbesondere wurde der Kopfdurchmesser  $d_{\text{head}}$  der unterschiedlichen Prüfserien gezielt verändert. (siehe Tabelle 5-5 bis Tabelle 5-8)

### 5-2.3.2 Prüfkfiguration

Die Prüfvorrichtung für Kopfdurchziehprüfungen wurde bereits in Punkt 5-1.5 angesprochen und in dieser Form angewandt.

In Abhängigkeit der Bauteildicke wurden Unterlagen mit unterschiedlichen Durchmessern  $D$  verwendet. Aufgrund der begrenzten Bohrdurchmesser wurden fünf verschiedene Unterlagen hergestellt, welche hinsichtlich der erforderlichen Durchmesser der Prüfserien, näherungsweise angepasst wurden.

**Tabelle 5-4:** *Durchmesser  $D$  der Stahlplatte, auf welcher die Prüfkörper in Abhängigkeit der Bauteildicke und des Schraubenkopfdurchmessers  $d_{\text{head}}$  gelagert waren*

	Dicke $t$ [mm]	$d_{\text{head}}$ [mm]	$D \geq 2 \cdot t + d_{\text{head}}$ [mm]	$D_{\text{gewählt}}$ [mm]
<b>Serie A6</b>	18	10	46	45
<b>Serie B6</b>	27	12	66	65
<b>Serie C6</b>	54	14	122	125
<b>Serie D6</b>	16	12	44	45
<b>Serie E6</b>	27	14	68	75
<b>Serie F6</b>	9	10	28	30
<b>Serie G6</b>	30	14	74	75
<b>Serie H6</b>	12	10	34	30
<b>Serie I6</b>	27	12	66	65

### 5-2.3.3 Übersicht - Kopfdurchziehprüfungen

Die nachstehenden Serien wurden in Versuchsreihen zusammengefasst, um während der Prüfdurchführung flexibel und dennoch strukturiert vorgehen zu können. Dabei gilt, dass die Versuchsreihe 1 (V1) als Referenz diene. Basierend auf diesen Prüfungen und den daraus resultierenden Ergebnissen wurden darauffolgend die Versuchsreihen angepasst. Dabei wurden einzelne Serien vernachlässigt, oder aber neue Kombinationen zwischen dem Holzwerkstoff, der Dicke und der gewählten Schraube adaptiert und in der Folge geprüft.

**Tabelle 5-5: V1 – Referenzserien A6 bis I6 zu je 20 Probekörpern**

	Material des Fügeteils	Aufbau	Dicke t [mm]	d [mm]	Art des Schraubenkopfes	d <sub>head</sub> [mm]
<b>Serie A6</b>	Einschichtplatte Fi <sup>1)</sup>	unidirektional	18	5	SK <sup>2)</sup>	10
<b>Serie B6</b>	Einschichtplatte Fi	unidirektional	27	6	SK	12
<b>Serie C6</b>	Einschichtplatte Fi	unidirektional	54	6	TK <sup>3)</sup>	14
<b>Serie D6</b>	Dreischichtplatte Fi	gesperrt	16	6	SK	12
<b>Serie E6</b>	Dreischichtplatte Fi	gesperrt	27	6	TK	14
<b>Serie F6</b>	BSPH - Fi <sup>4)</sup>	gesperrt	9	5	SK	10
<b>Serie G6</b>	BSPH - Fi	gesperrt	30	6	TK	14
<b>Serie H6</b>	OSB - Platte	„random“	12	5	SK	10
<b>Serie I6</b>	Kerto S	unidirektional	27	6	SK	12

Anmerkungen:

<sup>1)</sup> Fi...Fichte

<sup>2)</sup> SK...Senkkopf

<sup>3)</sup> TK...Tellerkopf

<sup>4)</sup> BSPH...Bausperrholz

**Tabelle 5-6: V2 - Prüfserien zu je 20 Probekörpern**

	Material des Fügeteils	Aufbau	Dicke t [mm]	d [mm]	Art des Schraubenkopfes	d <sub>head</sub> [mm]
<b>Serie A7</b>	Einschichtplatte Fi <sup>1)</sup>	unidirektional	18	6	SK <sup>2)</sup>	11
<b>Serie B7</b>	Einschichtplatte Fi	unidirektional	27	6	TK <sup>3)</sup>	14
<b>Serie C7</b>	Einschichtplatte Fi	unidirektional	54	6	SK	12
<b>Serie E7</b>	Dreischichtplatte Fi	gesperrt	27	6	TK	16
<b>Serie F7</b>	BSPH - Fi <sup>4)</sup>	gesperrt	9	6	SK	11
<b>Serie G7</b>	BSPH - Fi	gesperrt	30	6	TK	16
<b>Serie H7</b>	OSB - Platte	„random“	12	6	SK	11

Anmerkungen:

<sup>1)</sup> Fi...Fichte

<sup>2)</sup> SK...Senkkopf

<sup>3)</sup> TK...Tellerkopf

<sup>4)</sup> BSPH...Bausperrholz

In der Versuchsreihe V3 wurde eine Serie aus Kiefernsperrholz und aus Baufurniersperrholz aus Buche geprüft, welche auch in der darauffolgenden Versuchsreihe V4 Aufnahme fanden. Ziel war es den Einfluss der verschiedenen Rohdichten der Holzwerkstoffprodukte abzuklären.

**Tabelle 5-7: V3 - Prüfserien zu je 20 Probekörpern**

	Material des Füge­teils	Aufbau	Dicke t [mm]	d [mm]	Art des Schrauben­köpfe s	d <sub>head</sub> [mm]
<b>Serie J7</b>	Dreischichtplatte Fi <sup>1)</sup>	gesperrt	27	6	SK <sup>2)</sup>	12
<b>Serie K7</b>	BSPH Bu <sup>3) 4)</sup>	gesperrt	30	6	SK	12
<b>Serie L7</b>	BSPH - Bu	gesperrt	12	6	SK	12
<b>Serie M7</b>	BSPH - Fi	gesperrt	30	6	SK	12
<b>Serie N7</b>	Einschichtplatte Fi	unidirektional	40	6	SK	12
<b>Serie O7</b>	Einschichtplatte Fi	unidirektional	18	6	TK <sup>5)</sup>	16
<b>Serie P7</b>	BSPH - Bu	gesperrt	30	6	TK	16
<b>Serie Q7</b>	BSPH - Bu	gesperrt	12	6	TK	16
<b>Serie R7</b>	BSPH - Ki <sup>6)</sup>	gesperrt	12	6	SK	12
<b>Serie D7</b>	Dreischichtplatte Fi	gesperrt	16	6	TK	16

Anmerkungen:

1) Fi...Fichte

2) SK...Senkkopf

3) BSPH...Bausperrholz

4) Bu...Buche

5) TK...Tellerkopf

6) Ki...Kiefer

Um den Einfluss des Schrauben­kopfes bestmöglich zu bestimmen, kamen in der Versuchsreihe V4 Senk- und Tellerkopfschrauben mit einem Nenndurchmesser von  $d = 8$  mm und damit einhergehende, größere Kopfdurchmesser mit  $d_{\text{head}} = 15$  mm sowie  $d_{\text{head}} = 22$  mm zur Anwendung.

**Tabelle 5-8:** *V4 - Prüfserien zu je 20 Probekörpern*

	Material des Fügeteils	Eigenschaft	Dicke t [mm]	d [mm]	Art des Schraubenkopfes	d <sub>head</sub> [mm]
<b>Serie A8</b>	Einschichtplatte Fi <sup>1)</sup>	unidirektional	27	8	SK <sup>2)</sup>	15
<b>Serie B8</b>	Dreischichtplatte Fi	gesperrt	27	8	SK	15
<b>Serie C8</b>	BSPH - Fi <sup>3)</sup>	gesperrt	30	8	SK	15
<b>Serie D8</b>	BSPH - Bu <sup>4)</sup>	gesperrt	30	8	SK	15
<b>Serie E8</b>	BSPH - Bu	gesperrt	12	8	SK	15
<b>Serie F8</b>	Einschichtplatte Fi	unidirektional	18	8	TK <sup>5)</sup>	22
<b>Serie G8</b>	Einschichtplatte Fi	unidirektional	40	8	TK	22
<b>Serie H8</b>	Dreischichtplatte Fi	gesperrt	27	8	TK	22
<b>Serie I8</b>	BSPH - Bu	gesperrt	30	8	TK	22
<b>Serie J8</b>	BSPH - Bu	gesperrt	12	8	TK	22

Anmerkungen:

<sup>1)</sup> Fi...Fichte

<sup>2)</sup> SK...Senkkopf

<sup>3)</sup> BSPH...Bausperrholz

<sup>4)</sup> Bu...Buche

<sup>5)</sup> TK...Tellerkopf

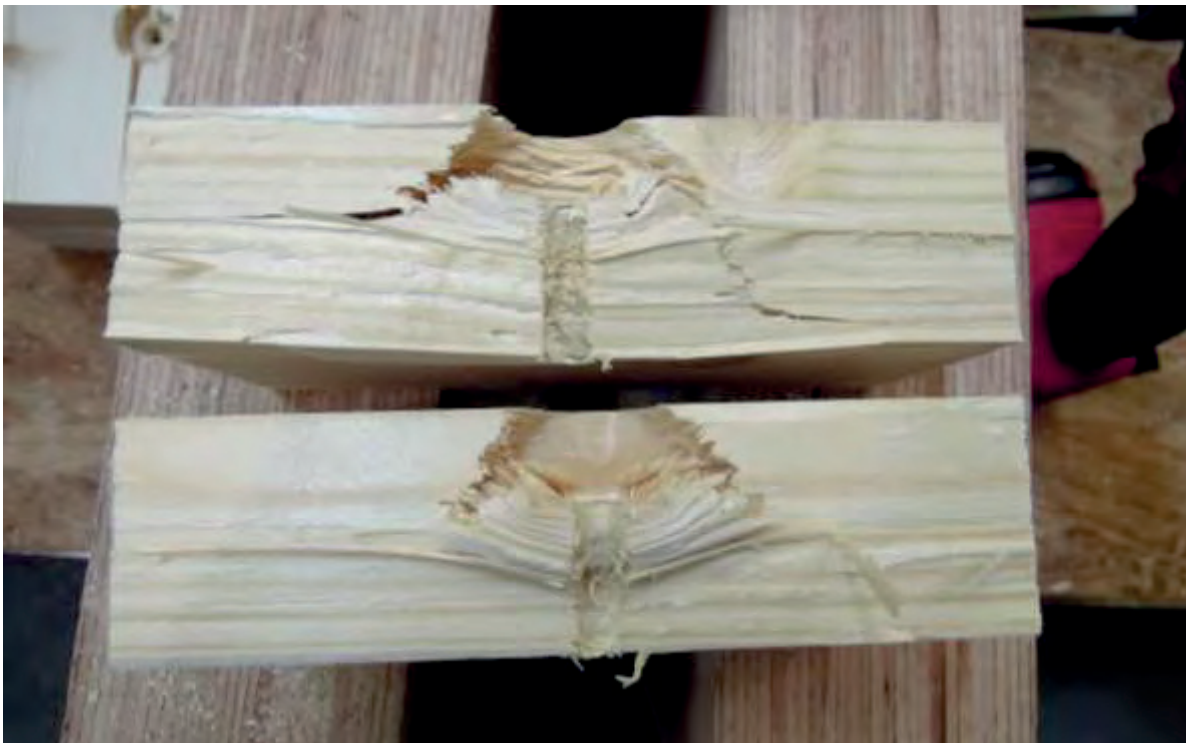
An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass die Untersuchungen der Prüfserien P7 und I8 nach der Prüfung von jeweils drei Prüfkörpern nicht fortgesetzt wurden. Grund dafür war das Erreichen von Kräften, welche zum Schraubenbruch führten.



An dieser Stelle werden mit der Abbildung 5-17 und Abbildung 5-18 charakteristische Bruchbilder der Kopfdurchziehprüfungen für Senk- und Tellerkopfschrauben gezeigt. Es ist erkennbar, dass bei Senkkopfschrauben der Kraftfluss vorwiegend in axialer Richtung stattfindet. Bei Tellerkopfschrauben ist hingegen ein deutlicher Lastausbreitungswinkel bzw. -kegel zu erkennen.



*Abbildung 5-17: charakteristisches Bruchbild einer Kopfdurchziehprüfung mit Senkkopfschraube (K-12-27-B6-11)*



*Abbildung 5-18: charakteristisches Bruchbild einer Kopfdurchziehprüfung mit Tellerkopfschraube (K-22-40-G8-13)*

## 5-2.4 SCHERPRÜFUNGEN

### 5-2.4.1 Prüfmateriale

#### Holz

Wie man Tabelle 5-9 entnehmen kann, wurden Fügeleile aus ein- und dreischichtigen Fichtenholz (1s- und 3s-Platten) untersucht. Dabei wurden ausschließlich unterschiedliche Baueildicken verwendet. Als Basisbauteil jeder geprüften Serie dienten die bereits gezeigten BSP-Elemente aus Fichte mit einer Baueildicke von 90 mm ( $t_{\text{BSP}} = 30\text{-}30\text{-}30$  mm).

#### Schrauben

Bei der Prüfkörperherstellung für die Scherprüfungen wurden zwei unterschiedliche Schraubentypen verwendet. In Abhängigkeit der Prüfserie kam entweder eine Senkkopfschrauben mit  $d_{\text{head}} = 12$  mm oder eine Tellerkopfschraube mit  $d_{\text{head}} = 14$  mm zum Einsatz. Beide Schraubentypen hatten denselben Durchmesser  $d = 6$  mm und dieselbe Schrauben- und Gewindelänge.

### 5-2.4.2 Prüfkongfiguration

In Anlehnung an ÖNORM EN 14080 kann man in Abbildung 5-19 zum einen die Prüfeinrichtung für Scherprüfungen erkennen (li) und zum anderen das Detail der Lage der Prüfkörper während der Prüfung (re). Um jeden Prüfkörper an der gleichen Stelle platzieren zu können, wurde deren zentrische Lage an der Prüfvorrichtung mit Punkten markiert. Auch die Klebefuge wurde zusätzlich mit einer Markierung gekennzeichnet.



Abbildung 5-19: Darstellung der Scherprüfeinrichtung (li) und Detailaufnahme der Scherkante (re)

### 5-2.4.3 Übersicht - Scherprüfungen

Die Tabelle 5-9 enthält relevanten Angaben zu den Bezeichnungen der Prüfserien zum Zweck der Bestimmung der Scherfestigkeit. Diese weichen zum Teil von jenen der Kopfdurchziehprüfungen ab. Als wichtige Parameter bleiben das Material der Fügeleile, dessen Dicke, sowie die Schraubeninformationen enthalten. Neu hinzukommen die Maße des Längs- und Querabstands des Schraubenrasters sowie die daraus resultierende, Einflussfläche pro Schraube, welche im nächsten Punkt näher angesprochen wird.

**Tabelle 5-9: Übersicht der Prüfserien für die Scherprüfungen**

	Material des Fügeteils	Dicke t [mm]	Schraubenabstand d längs quer [mm]		$A_{ef}^{1)}$ [mm <sup>2</sup> ]	d/d <sub>head</sub> /Typ <sup>2)</sup>
<b>Serie A0</b>	Einschichtplatte Fi	18	150	100	15.000	6/11/SK <sup>3)</sup>
<b>Serie B0</b>	Einschichtplatte Fi	27	150	100	15.000	6/14/TK <sup>4)</sup>
<b>Serie C0</b>	Dreischichtplatte Fi	16	150	150	22.500	6/11/SK
<b>Serie D0</b>	Dreischichtplatte Fi	27	150	150	22.500	6/14/TK
<b>Serie A1</b>	Einschichtplatte Fi	18	180	120	21.600	6/11/SK
<b>Serie B1</b>	Einschichtplatte Fi	27	180	120	21.600	6/14/TK
<b>Serie C1</b>	Dreischichtplatte Fi	16	180	180	32.400	6/11/SK
<b>Serie D1</b>	Dreischichtplatte Fi	27	180	180	32.400	6/14/TK
<b>Serie B2</b>	Einschichtplatte Fi	27	210	140	29.400	6/14/TK
<b>Serie D2</b>	Dreischichtplatte Fi	27	210	210	44.100	6/14/TK

Anmerkungen:

<sup>1)</sup> Einflussfläche je Schraube

<sup>2)</sup> Angaben zu d und d<sub>head</sub> in [mm]

<sup>3)</sup> SK...Senkkopf

<sup>4)</sup> TK...Tellerkopf

#### 5-2.4.4 Variation des Schraubenabstands

In Abbildung 5-20 sind die Schraubenabstände der geprüften Serien zu Ermittlung der Scherfestigkeit in Längs ( $a_1$ )- und Querrichtung ( $a_2$ ) der Decklage dargestellt. Der grüngefärbte Teil der Grafik entspricht dem in der aktuellen Fassung der ÖNORM B 1995-1-1:2015 festgelegten Bereich der Schraubenabstände. Sämtliche Abstandskombinationen, welche sich außerhalb dieses Grenzbereichs befinden sind demnach „nicht zulässig“. In Abbildung 5-20 wurden die Serien A0 und B0 grün markiert. Diese beiden Serien sind demnach jene geprüften Serien, welche der Abstandsregelung laut aktuellem Normenstand, und der damit einhergehenden Einflussfläche pro Schraube genügen. Die Serien C0 und D0 werden als gelber Punkt dargestellt, A1 und B1 in Rot, C1 und D1 in Rosa, B2 in Blau und D2 in Grau markiert.

Im Vergleich mit den Serien A0, B0, C0 und D0, wurden die Abstände in Längs- und Querrichtung bei den Serien A1, B1 C1 und D1 um 20 % und bei den Serien B2 und D2 um 40 % gegenüber dem aktuellen Normenstand erhöht.

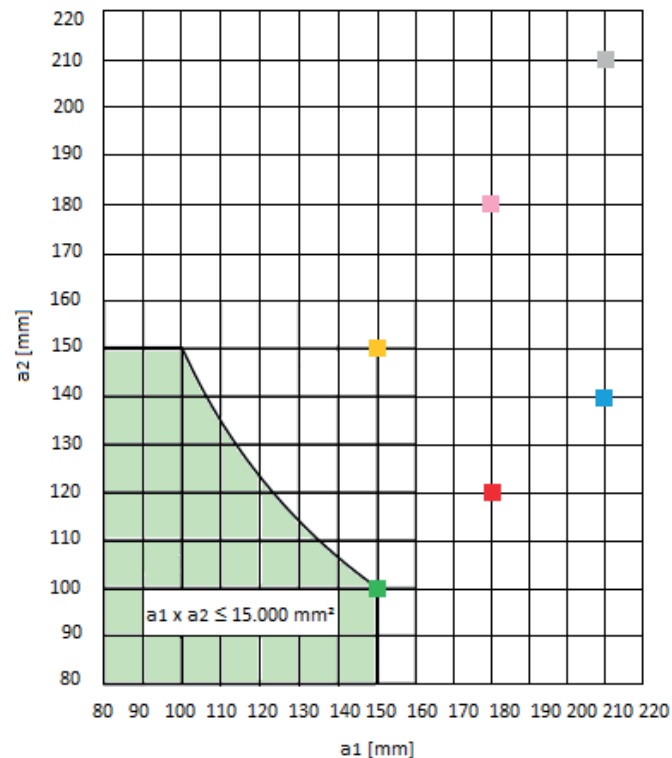


Abbildung 5-20: Schraubenabstände parallel ( $a_1$ ) und rechtwinklig ( $a_2$ ) zur Decklagenrichtung gemäß ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1] und für die Prüfserien zur Ermittlung der Scherfestigkeit

## 5-3 PRÜFAUSWERTUNG

Nachfolgend werden die Auswertemethode und die damit einhergehenden Besonderheiten beschrieben.

### 5-3.1 KOPFDURCHZIEHPRÜFUNGEN

Die Auswertung der aufgezeichneten Prüfdaten erfolgte mit Hilfe vorgefertigter Excel – Tabellenblättern.

#### 5-3.1.1 Nullpunkt - Bestimmung

Ein wesentlicher Aspekt der Datenauswertung der Kopfdurchziehprüfungen stellt die Definition der Lage des Nullpunkts im Kraft/Verformungs-Diagramm dar. Aufgrund des anfänglichen „Schlupfes“, verursacht durch den kegelförmigen Übergang von Schraubenschaft zum Schraubenkopf (Abbildung 5-21), war der Nullpunkt der Prüfserien, zur Herstellung eines für alle Prüfungen vergleichbaren Bezugs, durch eine Koordinatentransformation zu modifizieren.



Abbildung 5-21: Detailaufnahme des Übergangs vom Schraubenschaft zum Senk- bzw. Tellerkopf

Die Betrachtung aller aufgezeichneten Prüferien und -daten zeigten ein ähnliches Bild, wie es in Abbildung 5-22 exemplarisch dargestellt ist. Die flache Steigung zu Beginn erklärt sich durch die Einpressung des bereits angesprochenen Übergangs vom Schraubenschaft zum Schraubenschaft. Anschließend lässt sich ein deutlicher Knick erkennen, welcher den Kontakt zwischen dem Schraubenschaft und dem zu prüfenden Holzwerkstoff wiedergibt. Abbildung 5-22 zeigt diesen Knick durch die Detailaufnahme des Anfangsbereichs deutlich. Mit Hilfe einer Tangente, welche sich an diese (zweite) Steifigkeit der Prüfkurve bestmöglich anpasst, wurde der „Nullpunkt“ des Kraft-Verschiebungsdiagramms neu festgelegt. Abbildung 5-23 stellt den Schnittpunkt zwischen dieser Tangente und der Abszisse dar, welcher in Folge den Anfangspunkt der weiteren Auswertungen bildete.

Generell kann zu dieser Modifikation der Prüfdaten festgehalten werden, dass die Verformung bei steigender Last zunächst relativ klein bleibt und sich nach wenigen Millimetern Verformung jene Steifigkeit einstellt, welche die Prüfkurve charakterisiert.

Mit steigender Kraft und zunehmender Verformung kommt es schließlich zum Versagen bzw. Kolabieren einzelner Jahrringe der Prüfkörper, wobei in der Regel erst danach die maximale Kraft erreicht wurde. Die Prüfmaschine wurde so geregelt, dass nach dem Erreichen des höchsten Punktes ( $F_{\max}$ ) die Kopfdurchziehprüfungen bei einem Lastabfall von 40% beendet wurden.

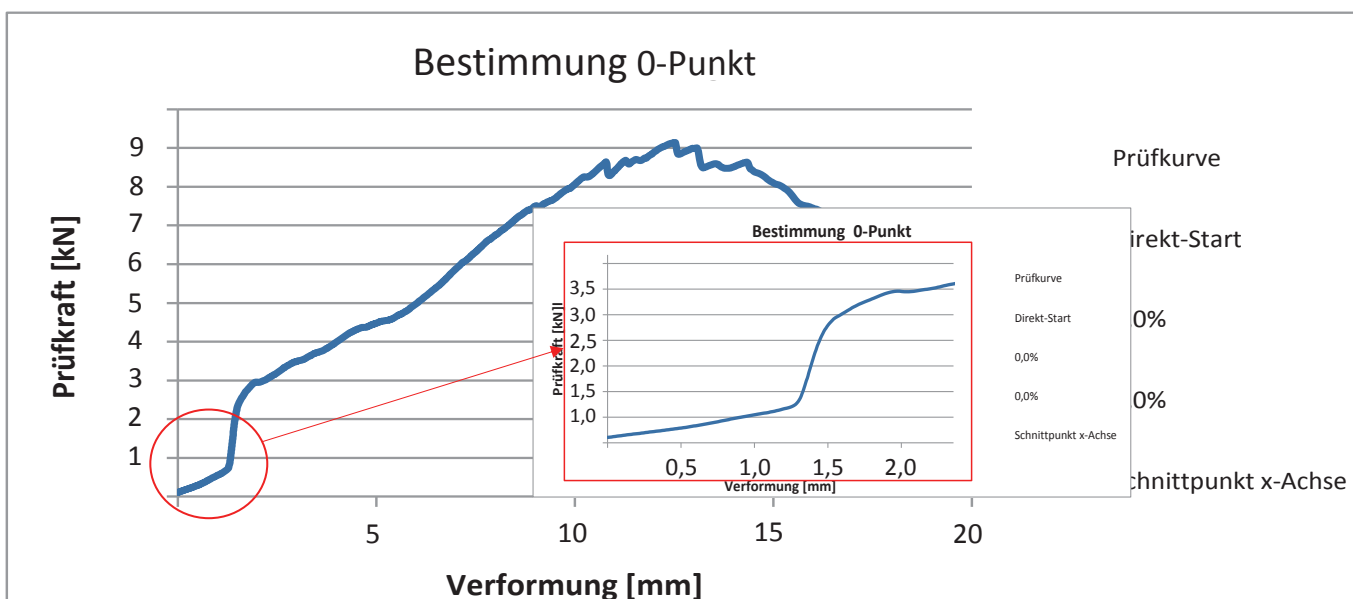
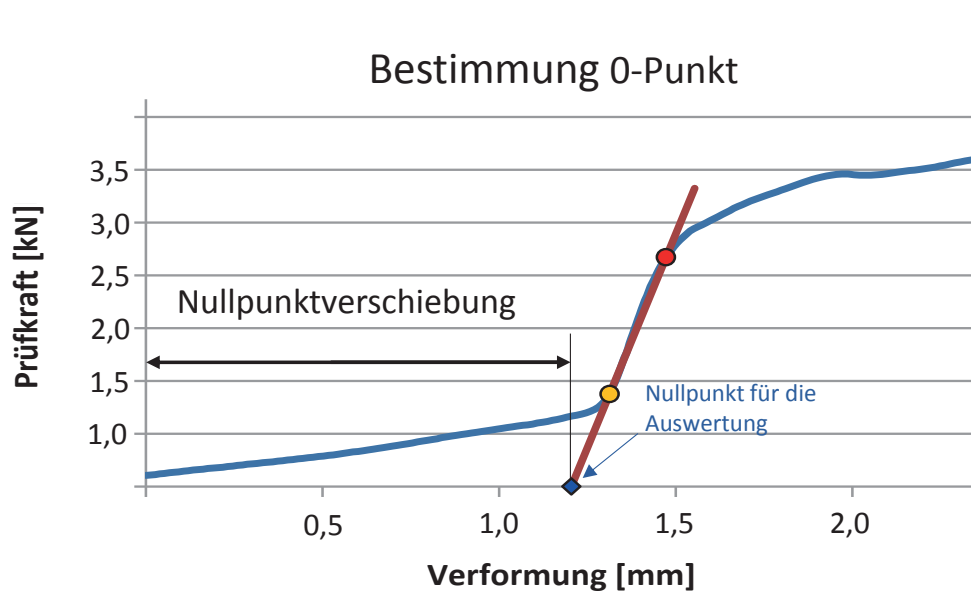


Abbildung 5-22: Prüfkurve vor Anpassung und Detail des Anfangsbereichs





Prüfkurve  
Direkt-Sta  
10,0%  
24,0%  
Schnittpu

Abbildung 5-23: Anpassung der Prüfkurve mittels Tangente an die Kraft-Verformungs-Kurve und neue Lage des Nullpunktes (Rautensymbol)

### 5-3.1.2 Auswertungsmethode mit absolutem Verformungswert zur Bestimmung des Kopfdurchziehparameters $f_{head,w}$

Im Zuge der Auswertung des Kopfdurchziehparameters wurde dieser mit zwei unterschiedlichen Auswertemethoden bestimmt: Neben der Auswertung gemäß ÖNORM EN 1383 [2] wurden die Kennwerte des Kopfdurchziehparameters mit einer, für die Schraubpressverklebung relevanteren, spezifischen „Einpressung“ bei einem absoluten Verformungswert ausgewertet.

Die Kraft-Verformungs-Diagramme mit verschobenem Nullpunkt markieren mit einer vertikalen Linie die soeben angesprochene „Einpressung“ bzw. die dazugehörige Verformung. Diese Überlegungen basieren auf der nachstehenden Gleichung. Sie bestimmt nach welcher Verformung die Festigkeit mit absolutem Verformungswert ausgewertet wurde

$$v_w = d_t + 2mm \quad (14)$$

Dabei sind:

- $v_w$  ..... absoluter Verformungswert zur Auswertung des Kopfdurchziehparameters  $f_{head,w}$  [mm]
- $d_t$  ..... Schraubenkopfhöhe [mm]

Die nachstehende Abbildung dient der Veranschaulichung bzw. Definition der Schraubenkopfhöhe  $d_t$ .

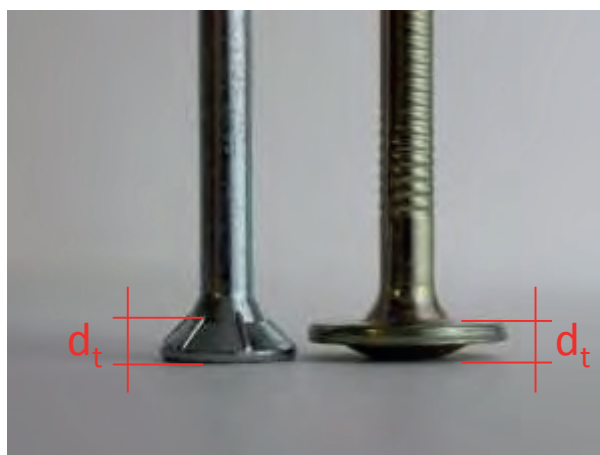




Abbildung 5-24: Schraubenkopfhöhe  $d_i$  einer Senkkopfschraube (li) und einer Tellerkopfschraube (re) zur Auswertung des Schraubenkopfdurchziehparameters  $f_{head,w}$

Der Grundgedanke dieser alternativen Auswertemethode war es, den in der Praxis von Schraubpressverklebungen auftretenden Kopfdurchziehparameter zu bestimmen. Um die Höhe des Schraubenkopfes zu ermitteln, wurden die unterschiedlichen, verwendeten Schrauben vermessen und deren Höhe auf 0,5 mm gerundet. In Abhängigkeit des verwendeten Schraubentyps und des Kopfdurchmessers wurden die in Tabelle 5-10 dargestellten Einpressungen bzw. Verformungen ermittelt.

Tabelle 5-10: Berechnung des absoluten Verformungswertes

Hersteller	d [mm]	$d_{head}$ [mm]	Schrauben typ	Schraubenkopf höhe $d_t$ [mm]	$v_w = d_t + 2$ mm
A	6	11	SK <sup>1)</sup>	3,8	6,0 mm
A	6	16	TK <sup>2)</sup>	3,4	5,5 mm
A	8	15	SK	4,9	7,0 mm
B	5	10	SK	3,5	5,5 mm
B	6	12	SK	4,8	7,0 mm
B	6	14	TK	3,5	5,5 mm
B	8	22	TK	3,8	6,0 mm

Anmerkungen:

<sup>1)</sup> SK...Senkkopf

<sup>2)</sup> TK...Tellerkopf

Um zu veranschaulichen, wie und in welchem Bereich dieser Kennwerte zu liegen kommt, dienen Abbildung 5-25 und Abbildung 5-26. Es handelt sich hier exemplarisch um die Kraft-Verformungs-Diagramme der Kopfdurchziehprüfungen der 3s-Plattenserie K-12-27-J7 aus Fichte, bei der die Kopfdurchziehfestigkeit zusätzlich zur Auswertung nach ÖNORM EN 1383 [50] bei einer Verformung von 7 mm bestimmt wurde. Die Kraft  $F_{7,0}$  zur Auswertung von  $f_{head,w}$  wird mit Hilfe der schwarzen senkrechten Linie verdeutlicht. Der entsprechende Unterschied ist anhand der Schnittpunkte dieser Linie und den rot markierten „ $F_{max}$ -Punkten“ zu erkennen.

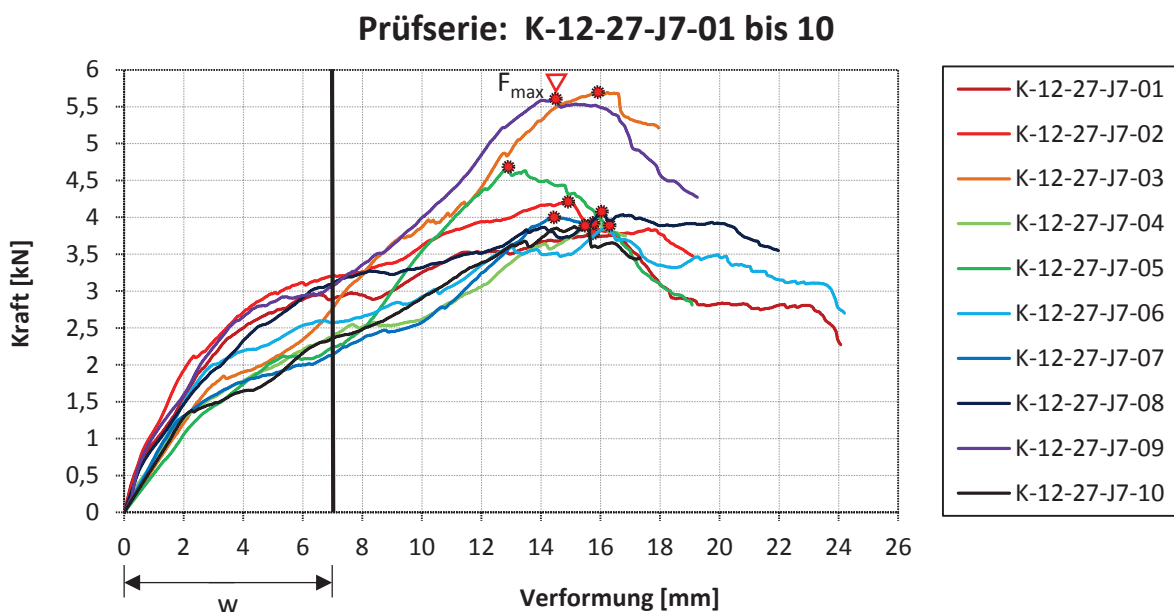


Abbildung 5-25: Vergleich der Kräfte  $F_{max}$  und  $F_{7,0}$  für die Prüfkörper K-12-27-J7-01 bis 10

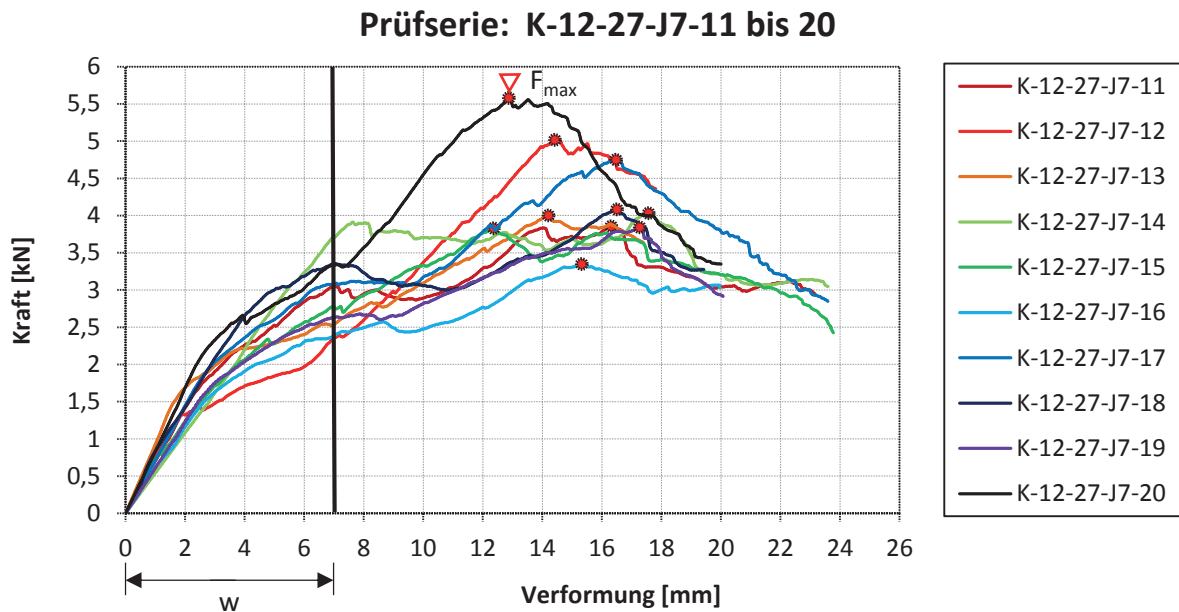


Abbildung 5-26: Vergleich der Kräfte  $F_{max}$  und  $F_{7,0}$  für die Prüfkörper K-12-27-J7-11 bis 20

Es ergibt sich, dass bei der Auswertung nach ÖNORM EN 1383 [50] deutlich höher streuende Kurven der Prüfserie auftreten. Diese sind durch lokale Strukturmerkmale bzw. Jahrringe der Holzes bedingt. Während der Prüfdurchführung zeigte sich, dass bei einzelnen Prüfkörpern die Jahrringe unter der aufgebrachtten Querdruckbeanspruchung unter dem Schraubenkopf kollabieren, während bei anderen Prüfkörpern keine solche Erscheinung zu Tage trat. Die Auswertemethode nach ÖNORM EN 1383 ist dabei nicht in der Lage dies adäquat zu berücksichtigen.

## 5-3.2 SCHERPRÜFUNGEN

Die Auswertung der aufgezeichneten Prüfdaten wurde auch hier mit Excel – Tabellenblättern durchgeführt.

### 5-3.2.1 Scherfestigkeit

Im Zuge der Auswertung wurden zwei Prüfkörper aufgrund geometrischer Imperfektionen verworfen. Bei diesen Prüfungen waren die Probekörper derart verdreht, dass sie einer normgemäßen Prüfung nicht mehr genügten. Exemplarisch ist nachfolgend eine solche Prüfkurve dargestellt, wobei hier die in schwarz gehaltene, flache Kurve dem Probekörper S-14-27-D0-32 zugeordnet ist.

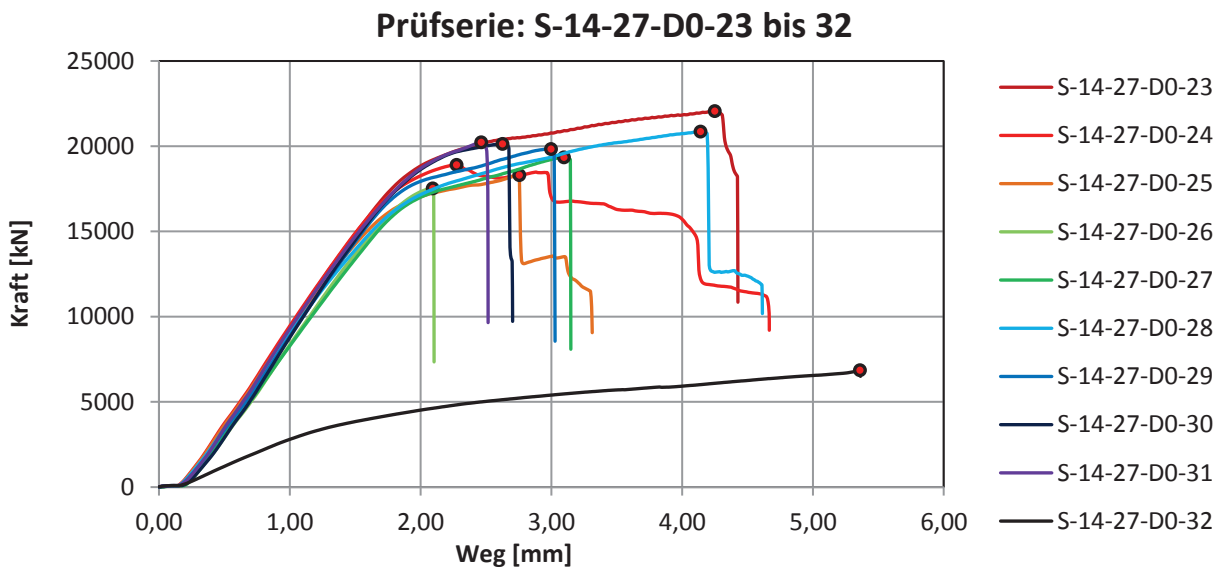


Abbildung 5-27: Verworfenne Prüfkurve der Serie D0

### 5-3.2.2 Klebefugendicken

Die Ermittlung der Klebefugendicke erfolgte an herausgeschnittener Plattenstreifen (siehe Abbildung 5-12). Nachdem die Stellen der späteren Prüfkörper markiert und beschriftet wurden, erfolgte die punktuelle Vermessung der Klebefugendicke. Dabei wurde die Dicke der Klebefuge an jedem Körper im Allgemeinen vier Mal aufgenommen (Ausnahme: Prüfserie S-14-27-D2) und tabellarisch festgehalten. Schematisch wird nachstehend ein Bild der elektronischen Mikroskopkamera zur Bestimmung der Klebefugendicke gezeigt.



Abbildung 5-28: Bild der elektronischen Mikroskopkamera zur Bestimmung der Klebefugendicke

Im Anhang werden sämtliche Messdaten der Bestimmung der Klebefugendicken dargestellt. Diesen tabellarischen Ergebnissen kann man aufgrund der Übersichtlichkeit die Einflussfläche je Schraube entnehmen. Der in Klammer angeführte Wert, gibt den prozentuellen Faktor dieser Fläche, bezogen auf die

laut Norm geregelte, maximale Fläche von 15.000 mm<sup>2</sup> an. Die farbliche Prüfkörperbezeichnung bezieht sich auf die Lage der Prüfkörper in den Elementen. In Anlehnung an die im Punkt 5-1.5 erläuterten Positionen und der damit verbundenen Zuordnung, werden Standardprüfkörper in Rot, Prüfkörper aus Ecken und Rändern in Blau und Proben aus dem direkten Schraubenbereich in Schwarz markiert. Für den weiteren Verlauf der Analyse wurde der Mittelwert dieser vier Messdaten verwendet.

### **5-3.3 ERGEBNISDARSTELLUNG**

Im Zuge der Auswertung und der Ergebnisdarstellung der Kopfdurchzieh- und Scherprüfungen wurden zwei verschiedenen Varianten ausgearbeitet. Um die Übersichtlichkeit zu wahren sind sämtliche grafisch dargestellten Ergebnisse auch in tabellarischer Form angeführt. Außerdem wurden für alle experimentellen Untersuchungen Kraft-Verformungs-Diagramme erstellt, die dem Anhang zu entnehmen sind.

#### Kopfdurchziehprüfungen

Die Holzfeuchte, Rohdichte und die charakteristische Kopfdurchziehfestigkeit werden mit sogenannten Boxplots veranschaulicht. Damit wird das Minimum, der Mittelwert, der Median und das Maximum der jeweiligen Prüfserie dokumentiert. Mit Hilfe dieser Darstellung werden unterschiedliche Lage- und Streumaße in einem Diagramm gezeigt. Die Box wird vom ersten und dritten Quartil bestimmt und wird mit dem Interquartilsabstand beschrieben. Die antennenförmigen Zweige stellen den Minimal- und Maximalwert der Prüfdaten je Serie dar.

Der Zusammenhang der Kopfdurchziehfestigkeit und der Rohdichte sowie des Schraubenkopfdurchmessers wird anhand von Punktdiagrammen dargestellt.

#### Scherprüfungen

Wie bei der Auswertung der Kopfdurchziehprüfungen werden bei Scherprüfungen die Ergebnisse der Holzfeuchte mit Hilfe der beschriebenen Boxplots gezeigt. Dem hinzukommen die in Punkt 6-2.3 gezeigten Diagramme der Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Faserbruchanteils und der Klebefugendicke.

## KAPITEL 6: ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aller im Zuge dieser Masterarbeiten durchgeführten Prüfungen zusammenfassend dargestellt. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 7, wobei Detailergebnisse dem Anhang entnommen werden können. Zur Erleichterung des Überblicks werden die Ergebnisse der einzelnen Holzwerkstoffprodukte mit den nachfolgenden Farbuweisungen (Abbildung 6-1) gekennzeichnet.

Vollholz	
3S-Platte	
BSPH Fichte	
OSB-Platte	
Kerto-S	
BSPH Buche	
BSPH Kiefer	

**Abbildung 6-1:** Farbuweisung entsprechend der geprüften Holzwerkstoffprodukte

Die statistischen Kenngrößen wichtiger Parameter (Anzahl, Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient) sind nachfolgend in tabellarischer Form zusammengefasst. Weiters werden die wesentlichen Kenngrößen in Form von Boxplots veranschaulicht.

Sofern sinnvoll, werden weiters die Zusammenhänge zwischen einzelnen Kenngrößen in Korrelationsdiagrammen dargestellt.

### 6-1 ERGEBNISSE DER VORVERSUCHE

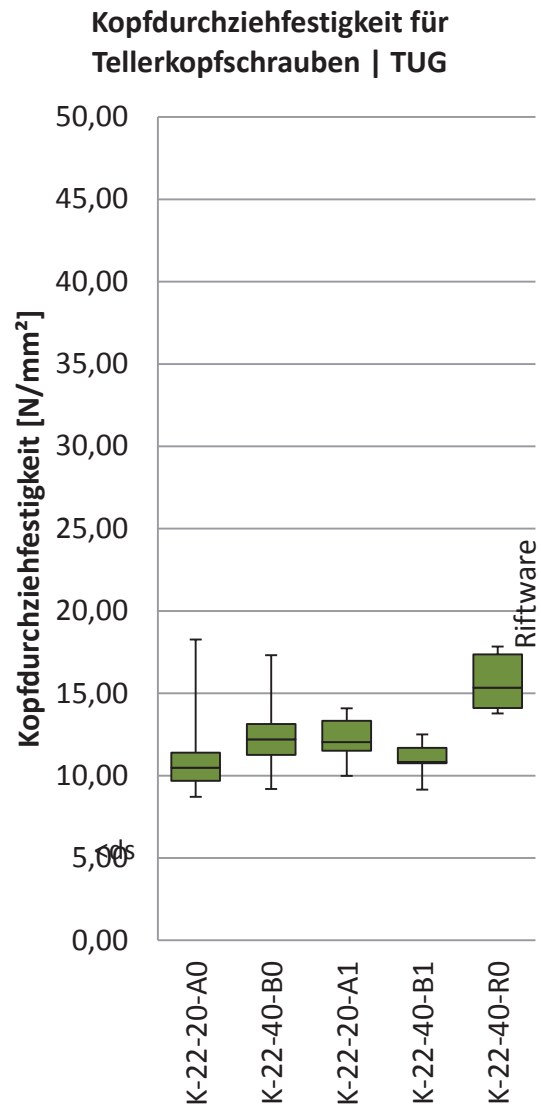
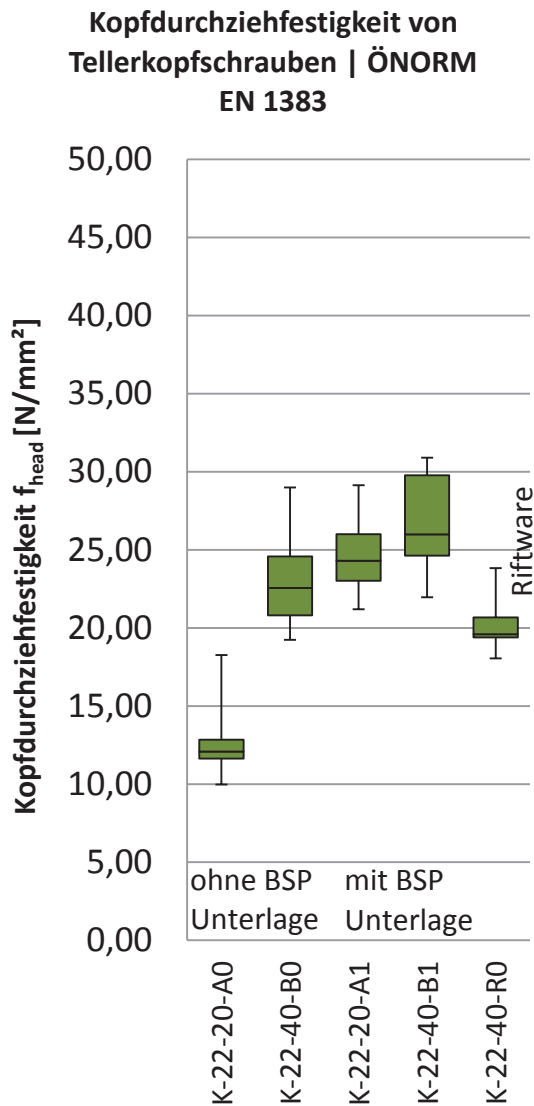
#### 6-1.1 KOPFDURCHZIEHEN – TABELLARISCHE ZUSAMMENFASSUNG

In der nachfolgenden Tab 5-5 sind die mit dem Kopfdurchziehen in Zusammenhang stehenden Kenngrößen zusammengefasst.

**Tabelle 6-1:** Zusammenfassung der Ergebnisse der Kopfdurchziehprüfungen der Vorversuche –  
Tellerkopfschraube  $d = 8 \text{ mm}$  |  $d_{\text{head}} = 22 \text{ mm}$

Serie			K-22-20-A0	K-22-20-A1	K-22-40-B0	K-22-40-B1	K-22-40-R0
Holzfeuchte $u$	Anzahl	[-]	10	10	10	10	7
	Minimum	[%]	11,4	11,1	10,9	11,0	10,0
	Maximum		12,4	12,2	12,1	11,8	10,3
	Mittelwert		11,6	11,5	11,6	11,4	10,2
	Standardabweichung		0,33	0,40	0,38	0,28	0,11
	Variationskoeffizient		2,8	3,4	3,2	2,5	1,0
Rohdichte $\rho_u$	Anzahl	[-]	10	10	10	10	7
	Minimum	[kg/m <sup>3</sup> ]	365	378	386	386	444
	Maximum		426	436	496	446	535
	Mittelwert		392	407	421	416	487
	Standardabweichung		11,9	19,1	32,4	25,6	34,3
	Variationskoeffizient		2,9	4,7	7,6	6,2	7,0
maximale Kraft $F_{\text{max}}$	Anzahl	[-]	10	10	10	10	7
	Minimum	[kN]	4,57	9,71	8,81	10,1	8,27
	Maximum		8,36	13,3	13,3	14,2	10,9
	Mittelwert		5,82	11,3	10,5	12,2	9,26
	Standardabweichung		1,06	1,14	1,37	1,46	0,84
	Variationskoeffizient		18,2	10,1	13,1	11,9	9,10
	charakt. Wert nach EN 14358	[kN]	<b>4,05</b>	<b>9,15</b>	<b>7,95</b>	<b>9,44</b>	<b>7,58</b>
Verformung $w$ bei $F_{\text{max}}$	Anzahl	[-]	10	10	10	10	7
	Minimum	[mm]	6,12	20,9	11,3	20,6	11,2
	Maximum		9,49	26,6	23,1	47,1	14,9
	Mittelwert		8,25	24,5	17,6	33,1	13,2
	Standardabweichung		1,05	1,89	3,41	9,04	1,41
	Variationskoeffizient		12,7	7,70	19,3	27,3	10,6
Kopfdurchziehpr. $f_{\text{head}}$ nach EN 1383	Anzahl	[-]	10	10	10	10	7
	Minimum	[N/mm <sup>2</sup> ]	9,97	21,2	19,3	22,2	18,1
	Maximum		18,3	29,1	29,0	30,9	23,8
	Mittelwert		12,7	24,7	22,8	26,7	20,2
	Standardabweichung		2,31	2,49	2,99	3,19	1,84
	Variationskoeffizient		18,2	10,1	13,1	11,9	9,10
	charakt. Wert nach EN 14358	[N/mm <sup>2</sup> ]	<b>8,84</b>	<b>20,0</b>	<b>17,4</b>	<b>20,6</b>	<b>16,6</b>
Kopfdurchziehpr. $f_{\text{head}}$ nach TUG	Verformung bei	[mm]	6,0				
	Anzahl	[-]	10	10	10	10	7
	Minimum	[N/mm <sup>2</sup> ]	8,71	9,21	10,0	9,12	13,8
	Maximum		18,3	17,3	14,1	12,5	17,8
	Mittelwert		11,2	12,6	12,2	11,0	15,7
	Standardabweichung		2,74	2,21	1,33	1,14	1,81
	Variationskoeffizient		24,4	17,6	10,9	10,4	11,4
	charakt. Wert nach EN 14358	[N/mm <sup>2</sup> ]	<b>7,04</b>	<b>8,65</b>	<b>9,63</b>	<b>8,73</b>	<b>12,1</b>





## 6-2 ERGEBNISSE DER HAUPTPRÜFUNGEN

### 6-2.1 ERGEBNISSE DER KOPFDURCHZIEHPRÜFUNGEN MIT SENKKOPFSCHRAUBEN

**Tabelle 6-2: Zusammenfassung der Ergebnisse der Kopfdurchziehrefahrungen mit Senkkopfschrauben**

Serie	A6		F6		H6		A7		B6		N7		C7		D6		J7		F7		M7		
	5				6																		
Nenndurchmesser d	[mm]																						
Kopfdurchmesser d <sub>head</sub>	[mm]																						
Holzwerkstoff	OSB																						
Dicke	[mm]																						
Holzfeuchte u	Anzahl	20																					
	Minimum	10,0	8,36	8,15	9,86	11,2	10,2	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
	Maximum	11,7	12,1	9,45	11,4	12,5	11,5	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
	Mittelwert	10,8	9,58	8,65	10,7	11,8	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
	Stabw.	0,36	0,76	0,47	0,40	0,30	0,40	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
	COV	3,33	8,0	5,5	3,7	2,6	3,6	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Rohdichte p <sub>u</sub>	Anzahl	20																					
	Minimum	384	407	521	345	359	404	374	456	406	456	406	456	406	456	406	456	406	456	406	456	406	
	Maximum	502	472	652	456	450	505	462	555	529	465	529	465	529	465	529	465	529	465	529	465	529	
	Mittelwert	430	432	592	418	421	456	424	502	463	433	463	433	463	433	463	433	463	433	463	433	463	
	Stabw.	29,6	15,1	33,8	25,4	31,7	28,6	24,0	29,5	33,4	16,12	33,4	16,12	33,4	16,12	33,4	16,12	33,4	16,12	33,4	16,12	33,4	
	COV	6,9	3,5	5,7	6,1	7,5	6,3	5,7	5,9	7,2	3,7	7,2	3,7	7,2	3,7	7,2	3,7	7,2	3,7	7,2	3,7	7,2	
maximale Kraft F <sub>max</sub>	Anzahl	20																					
	Minimum	1,45	1,02	1,13	1,86	2,43	2,25	2,35	2,32	2,73	1,33	2,73	1,33	2,73	1,33	2,73	1,33	2,73	1,33	2,73	1,33	2,73	
	Maximum	2,08	1,48	2,61	3,17	3,04	6,00	4,63	3,35	4,65	1,90	4,65	1,90	4,65	1,90	4,65	1,90	4,65	1,90	4,65	1,90	4,65	
	Mittelwert	1,77	1,23	1,64	2,41	2,71	3,29	3,05	2,86	3,44	1,50	3,44	1,50	3,44	1,50	3,44	1,50	3,44	1,50	3,44	1,50	3,44	
	Stabw.	0,19	0,14	0,32	0,29	0,18	0,84	0,55	0,28	0,51	0,12	0,51	0,12	0,51	0,12	0,51	0,12	0,51	0,12	0,51	0,12	0,51	
	COV	10,6	11,5	19,7	12,1	6,80	25,6	18,2	9,69	14,9	7,94	14,9	7,94	14,9	7,94	14,9	7,94	14,9	7,94	14,9	7,94	14,9	
charakt. Wert nach EN 14358	<b>1,43</b>	<b>0,98</b>	<b>1,12</b>	<b>1,90</b>	<b>2,37</b>	<b>2,07</b>	<b>2,15</b>	<b>2,36</b>	<b>2,59</b>	<b>1,29</b>	<b>2,59</b>	<b>1,29</b>	<b>2,59</b>	<b>1,29</b>	<b>2,59</b>	<b>1,29</b>	<b>2,59</b>	<b>1,29</b>	<b>2,59</b>	<b>1,29</b>	<b>2,59</b>		
Verformung w bei F <sub>max</sub>	Anzahl	20																					
	Minimum	6,17	5,26	3,71	8,37	9,22	8,27	13,3	7,48	12,1	4,90	12,1	4,90	12,1	4,90	12,1	4,90	12,1	4,90	12,1	4,90	12,1	
	Maximum	14,0	6,84	7,06	12,4	18,7	30,8	33,6	10,3	17,4	6,96	17,4	6,96	17,4	6,96	17,4	6,96	17,4	6,96	17,4	6,96	17,4	
	Mittelwert	10,1	6,11	4,95	10,2	14,8	21,6	24,7	9,37	15,1	6,05	15,1	6,05	15,1	6,05	15,1	6,05	15,1	6,05	15,1	6,05	15,1	
	Stabw.	1,91	0,37	0,66	1,22	2,65	7,60	6,87	0,76	1,44	0,57	1,44	0,57	1,44	0,57	1,44	0,57	1,44	0,57	1,44	0,57	1,44	
	COV	18,9	6,09	13,4	12,1	17,9	35,2	27,8	8,09	9,51	9,49	9,51	9,49	9,51	9,49	9,51	9,49	9,51	9,49	9,51	9,49	9,51	

Tabelle 6-2: Zusammenfassung der Ergebnisse der Kopfdurchziehprüfungen mit Senkkopfschrauben (Fortsetzung)

Serie	A6	F6	H6	A7	B6	N7	C7	D6	J7	F7	M7	
Nenn Durchmesser d	6											
Kopfdurchmesser d <sub>head</sub>	5											
Produkte	1s-Fi	BSpH-Fi	OSB	1s-Fi	1s-Fi	1s-Fi	1s-Fi	3s-Fi	3s-Fi	BSpH-Fi	BSpH-Fi	
Dicke	18	9	12	18	27	40	2 x 27	16	27	9	30	
Kopfdurchziehparam. F <sub>head</sub> nach EN 1383	Anzahl	20										
	Minimum	16,8	11,8	13,1	13,6	17,7	16,5	17,2	17,0	19,9	9,72	20,1
	Maximum	24,0	17,1	30,2	23,2	22,2	43,8	33,8	24,5	34,0	13,8	25,2
	Mittelwert	20,4	14,2	19,0	17,6	19,8	24,0	22,3	20,9	25,1	10,9	22,5
	Stabw.	2,17	1,63	3,74	2,13	1,34	6,15	4,05	2,03	3,74	0,87	1,58
	COV	10,6	11,5	19,7	12,1	6,80	25,6	18,2	9,69	14,9	7,94	7,02
	charakt. Wert nach EN 14358	<b>16,5</b>	<b>11,3</b>	<b>13,0</b>	<b>13,9</b>	<b>17,3</b>	<b>15,1</b>	<b>15,7</b>	<b>17,2</b>	<b>18,9</b>	<b>9,43</b>	<b>19,6</b>
Kopfdurchziehparam. F <sub>head</sub> nach TUG	Verformung bei	20										
	Anzahl	20										
	Minimum	12,3	11,1	12,2	10,7	15,1	15,0	13,3	16,3	13,1	9,72	13,4
	Maximum	23,1	17,0	30,2	22,6	18,3	25,0	20,3	23,5	22,0	13,8	20,2
	Mittelwert	17,9	13,7	18,9	14,9	16,8	18,7	16,7	18,8	16,3	10,8	16,8
	Stabw.	2,53	1,67	3,83	2,54	0,96	2,64	1,72	2,00	2,51	0,89	1,66
	COV	14,2	12,2	20,3	17,1	5,71	14,2	10,3	10,6	15,4	8,20	9,89
charakt. Wert nach EN 14358	<b>13,4</b>	<b>10,8</b>	<b>12,7</b>	<b>10,7</b>	<b>15,0</b>	<b>14,2</b>	<b>13,7</b>	<b>15,4</b>	<b>10,1</b>	<b>9,29</b>	<b>13,8</b>	

**Tabelle 6-3: Zusammenfassung der Ergebnisse der Kopfdurchziehpriifungen mit Senkkopfschrauben**

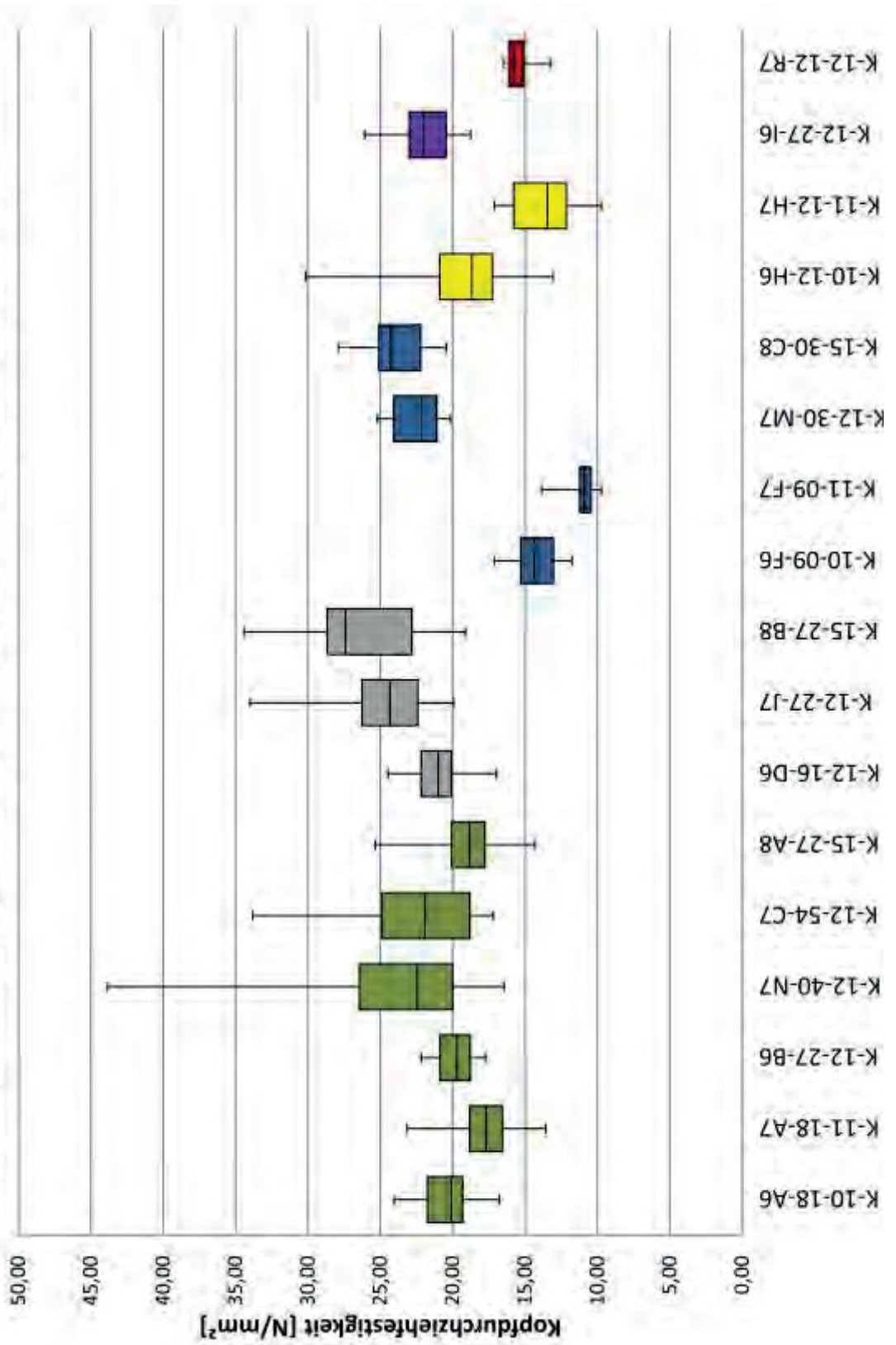
Serie	R7		I6		H7		L7		K7		A8		B8		C8		E8		D8			
	6				12				20				8									
Nenn Durchmesser d	[mm]																					
Kopfdurchmesser d <sub>head</sub>	[mm]																					
Produkte	BSpH-Ki		KERTO-S		OSB		BFU-Bu		BFU-Bu		BFU-Bu		Is-Fi		3s-Fi		BSpH-Fi		BFU-Bu			
Dicke	12		27		12		12		12		30		27		27		30		12		30	
Holzfeuchte u	Anzahl	[-]																				
	Minimum	10,1		9,29		8,19		8,45		7,23		10,2		9,42		8,96		8,30		7,69		
	Maximum	10,9		10,5		9,30		9,94		8,29		11,9		10,6		10,4		9,28		8,42		
	Mittelwert	10,5		9,61		8,68		8,83		7,56		11,2		10,0		9,57		8,72		8,00		
	Standardabweichung	0,27		0,29		0,28		0,31		0,24		0,47		0,32		0,43		0,29		0,22		
Variationskoeffizient	3,1		3,0		3,3		3,5		3,2		4,2		3,2		4,5		3,3		2,7			
Rohdichte p <sub>n</sub>	Anzahl	[-]																				
	Minimum	521		465		535		703		752		378		393		447		690		759		
	Maximum	566		505		637		755		790		487		517		496		752		827		
	Mittelwert	548		487		596		727		768		423		442		474		717		773		
	Standardabweichung	13,0		12,9		25,8		11,3		13,4		27,1		33,6		13,1		18,7		16,1		
Variationskoeffizient	2,4		2,7		4,3		1,5		1,7		6,4		7,6		2,8		2,6		2,1			
maximale Kraft F <sub>max</sub>	Anzahl	[-]																				
	Minimum	1,82		2,57		1,33		5,59		11,7		3,14		4,19		4,48		5,42		17,7		
	Maximum	2,26		3,57		2,34		6,54		13,2		5,55		7,54		6,11		7,10		20,6		
	Mittelwert	2,11		3,02		1,89		6,02		12,4		4,18		5,77		5,22		6,42		19,7		
	Standardabweichung	0,14		0,29		0,31		0,29		0,40		0,53		0,91		0,45		0,46		0,67		
Variationskoeffizient	6,54		9,52		16,4		4,78		3,23		12,6		15,8		8,58		7,11		3,40			
charakt. Wert nach EN 14358	<b>1,83</b>		<b>2,51</b>		<b>1,35</b>		<b>5,46</b>		<b>11,2</b>		<b>3,26</b>		<b>4,17</b>		<b>4,40</b>		<b>5,56</b>		<b>17,9</b>			
Verformung w <sub>bei F<sub>max</sub></sub>	Anzahl	[-]																				
	Minimum	5,74		9,26		4,52		5,00		9,16		11,5		7,61		13,0		5,83		12,8		
	Maximum	8,83		17,9		5,77		7,73		15,4		18,4		18,7		19,0		7,78		19,5		
	Mittelwert	6,77		13,3		5,19		5,78		12,6		15,4		16,0		17,1		7,21		14,5		
	Standardabweichung	0,96		2,71		0,41		0,71		2,23		2,01		2,44		1,64		0,52		1,60		
Variationskoeffizient	14,2		20,4		7,96		12,3		17,7		13,1		15,2		9,61		7,20		11,0			

**Tabelle 6-3: Zusammenfassung der Ergebnisse der Kopfdurchziehprüfungen mit Senkkopfschrauben (Fortsetzung)**

Serie		R7	I6	H7	L7	K7	A8	B8	C8	E8	D8
Nenn Durchmesser d	[mm]	6									
	[mm]	12									
Produkte	[mm]	BSpH-Ki	KERTO-S	OSB	BFU-Bu	BFU-Bu	1s-Fi	3s-Fi	BSpH-Fi	BFU-Bu	BFU-Bu
	[mm]	12	27	12	12	30	27	27	30	12	30
Kopfdurchziehparam. T <sub>head</sub> nach EN 1389	Anzahl	20									
	Minimum	13,3	18,8	9,73	40,8	85,2	14,3	19,1	20,5	24,7	81,0
	Maximum	16,5	26,1	17,1	47,8	96,7	25,3	34,4	27,9	32,4	94,0
	Mittelwert	15,4	22,1	13,8	44,0	90,3	19,1	26,3	23,8	29,3	89,8
	Standardabweichung	1,01	2,10	2,26	2,10	2,92	2,40	4,17	2,04	2,08	3,05
	Variationskoeffizient	6,54	9,52	16,4	4,78	3,23	12,6	15,8	8,58	7,11	3,40
charakt. Wert nach EN 14358	[N/mm <sup>2</sup> ]	<b>13,4</b>	<b>18,3</b>	<b>9,83</b>	<b>39,9</b>	<b>81,9</b>	<b>14,9</b>	<b>19,0</b>	<b>20,1</b>	<b>25,4</b>	<b>81,5</b>
Kopfdurchziehparam. T <sub>head</sub> nach TUG	Verformung bei	7,0									
	Anzahl	20									
	Minimum	12,9	14,2	9,73	40,8	70,2	11,0	8,67	11,3	24,7	52,5
	Maximum	16,1	22,5	17,1	47,8	85,9	17,6	25,6	16,6	32,4	67,0
	Mittelwert	15,2	17,3	13,8	43,9	78,1	14,3	14,6	13,7	28,7	62,6
	Standardabweichung	1,02	2,05	2,26	2,13	4,59	1,83	3,79	1,64	1,85	4,09
Variationskoeffizient	6,70	11,8	16,4	4,84	5,89	12,8	25,9	12,0	6,45	6,53	
charakt. Wert nach EN 14358	[N/mm <sup>2</sup> ]	<b>13,1</b>	<b>13,8</b>	<b>9,83</b>	<b>39,9</b>	<b>69,6</b>	<b>11,1</b>	<b>8,83</b>	<b>10,8</b>	<b>25,3</b>	<b>54,7</b>

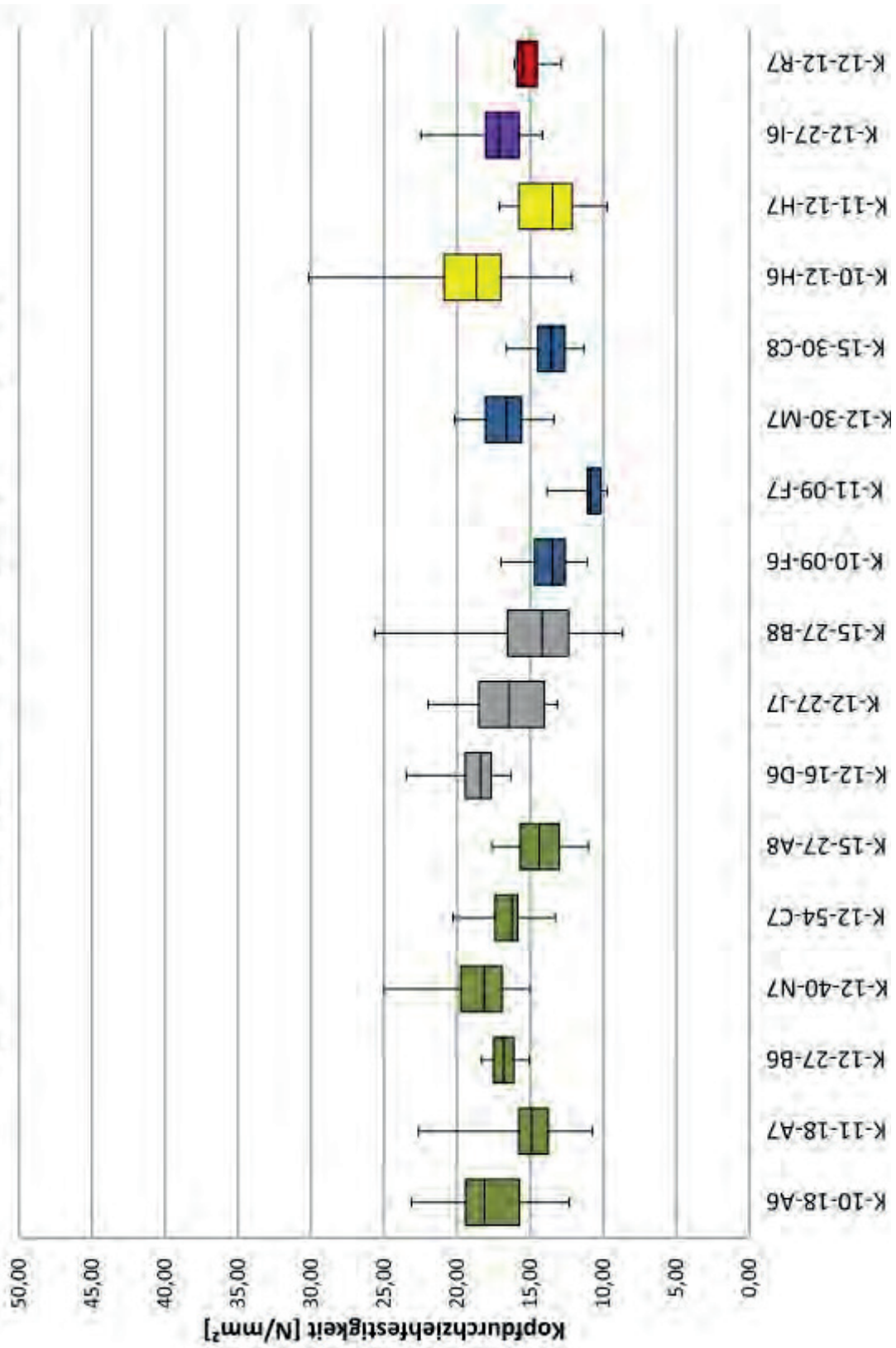


**Kopfdurchziehfestigkeit für Senkkopfschrauben | ÖNORM EN 1383**

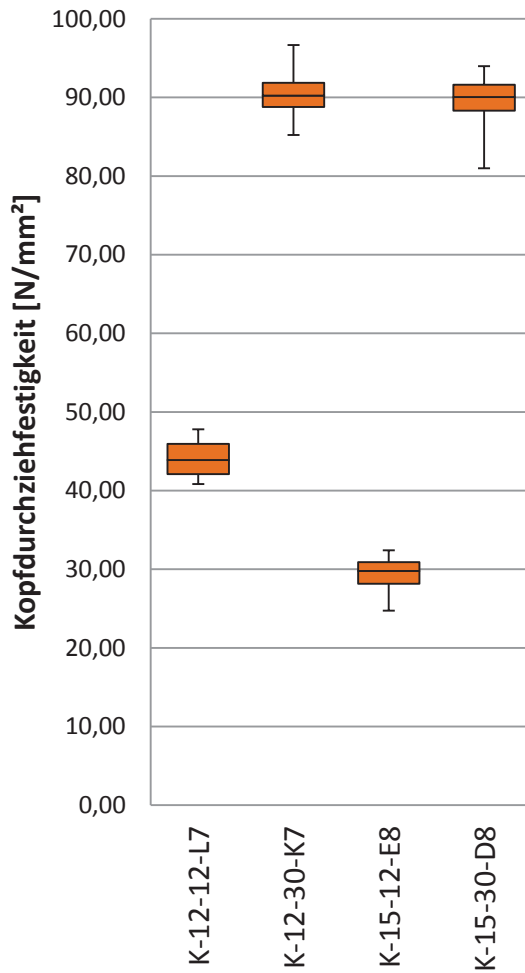




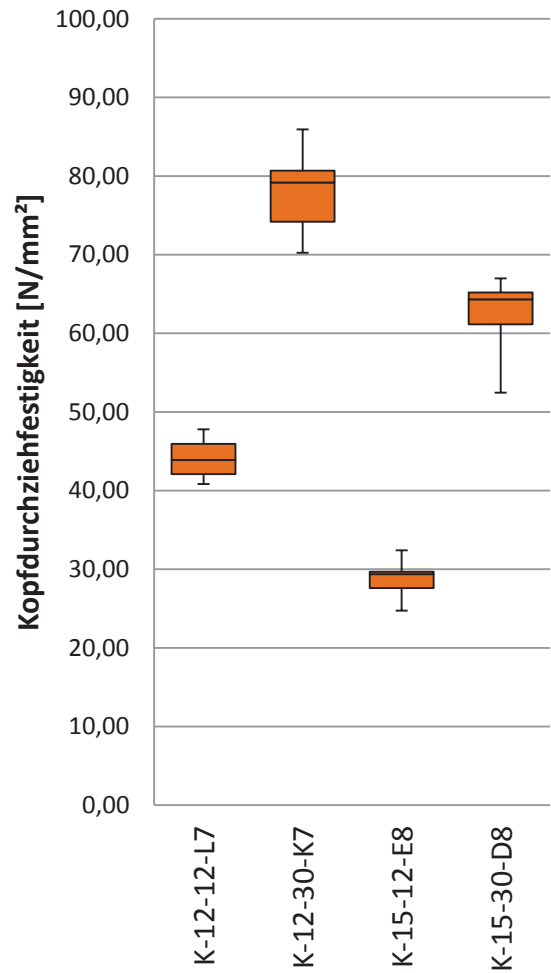
### Kopfdurchziehfestigkeit für Senkkopfschrauben | TUG



**Kopfdurchziehfestigkeit für  
Senkkopfschrauben | ÖNORM EN  
1383**



**Kopfdurchziehfestigkeit für  
Senkkopfschrauben | TUG**



## 6-2.2 ERGEBNISSE DER KOPFDURCHZIEHPRÜFUNGEN MIT TELLERKOPFSCHRAUBEN

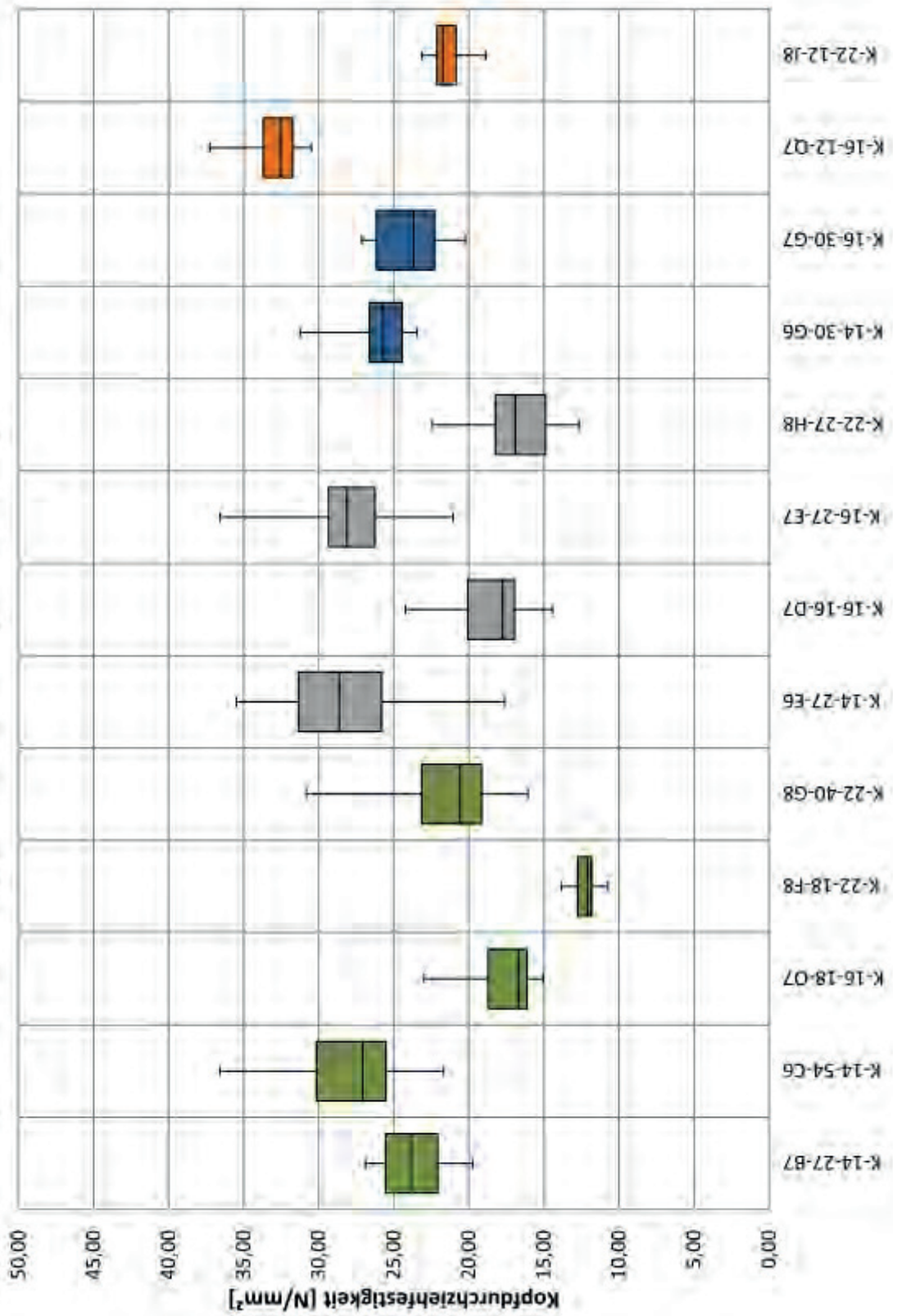
**Tabelle 6-4: Zusammenfassung der Ergebnisse der Kopfdurchziehprüfungen mit Tellerkopfschrauben**

Serie	O7	B7	C6	D7	E6	E7	G6	G7	Q7	F8	G8	H8	J8	
Neendurchmesser d	6												8	
Kopfdurchmesser d <sub>head</sub>	16												16	
Produkte	1s-Fi	1s-Fi	1s-Fi	3s-Fi	3s-Fi	3s-Fi	BSpH-Fi	BSpH-Fi	BFU-Bu	1s-Fi	1s-Fi	3s-Fi	BFU-Bu	
Dicke	18	27	2 x 27	16	27	27	30	30	12	18	40	27	12	
20														
Anzahl	20													
Minimum	9,82	10,7	11,1	9,87	9,51	9,51	8,59	8,69	8,52	10,4	10,1	9,31	8,43	
Maximum	11,3	12,3	12,2	10,8	10,7	10,7	11,2	11,4	9,32	11,6	11,3	10,2	9,12	
Mittelwert	10,6	11,4	11,6	10,4	10,1	10,1	9,60	9,72	8,79	10,9	10,9	9,89	8,75	
Stabw.	0,36	0,40	0,31	0,26	0,34	0,87	0,75	0,90	0,20	0,32	0,35	0,23	0,19	
COV	3,4	3,5	2,7	2,5	3,4	8,9	7,8	9,2	2,2	3,0	3,2	2,3	2,2	
20														
Anzahl	20													
Minimum	391	365	386	464	401	401	409	390	696	399	350	369	693	
Maximum	549	461	467	582	501	501	473	466	763	558	504	496	754	
Mittelwert	450	417	424	498	461	461	442	428	728	450	435	446	727	
Stabw.	40,7	31,7	22,7	25,4	25,9	25,5	21,3	20,9	18,0	42,8	36,3	41,7	17,4	
COV	9,0	7,6	5,4	5,1	5,6	5,7	4,8	4,9	2,5	9,5	8,4	9,4	2,4	
20														
Anzahl	20													
Minimum	3,62	3,81	4,19	3,47	3,40	5,06	4,53	4,92	7,33	4,91	7,36	5,81	8,65	
Maximum	5,52	5,19	7,07	5,82	6,86	8,78	6,04	6,60	8,95	6,33	14,1	10,3	10,6	
Mittelwert	4,22	4,55	5,43	4,42	5,47	6,77	4,99	5,79	7,87	5,62	9,89	7,66	9,78	
Stabw.	0,53	0,43	0,79	0,64	0,90	0,89	0,36	0,57	0,36	0,38	1,79	1,18	0,56	
COV	12,7	9,48	14,6	14,4	16,5	13,1	7,20	9,91	4,63	6,77	18,1	15,4	5,71	
charakt. Wert nach EN 14358	<b>3,32</b>	<b>3,77</b>	<b>4,08</b>	<b>3,34</b>	<b>3,81</b>	<b>5,23</b>	<b>4,35</b>	<b>4,75</b>	<b>7,14</b>	<b>4,92</b>	<b>6,99</b>	<b>5,61</b>	<b>8,72</b>	
20														
Anzahl	20													
Minimum	6,37	9,17	13,0	5,01	10,6	9,08	7,43	8,87	3,00	6,68	10,1	9,19	4,77	
Maximum	9,98	16,5	33,7	8,46	15,0	14,5	16,4	19,1	4,60	10,1	22,1	15,2	5,76	
Mittelwert	8,53	13,1	22,0	6,77	13,0	12,7	12,2	14,3	3,87	8,36	15,8	11,3	5,23	
Stabw.	1,05	1,79	6,13	0,92	0,95	1,23	3,27	2,95	0,33	0,95	3,48	1,66	0,27	
COV	12,3	13,6	27,9	13,6	7,30	9,68	26,9	20,6	8,59	11,3	22,1	14,7	5,10	

Tabelle 6-4: Zusammenfassung der Ergebnisse der Kopfdurchziehprüfungen mit Tellerkopfschrauben (Fortsetzung)

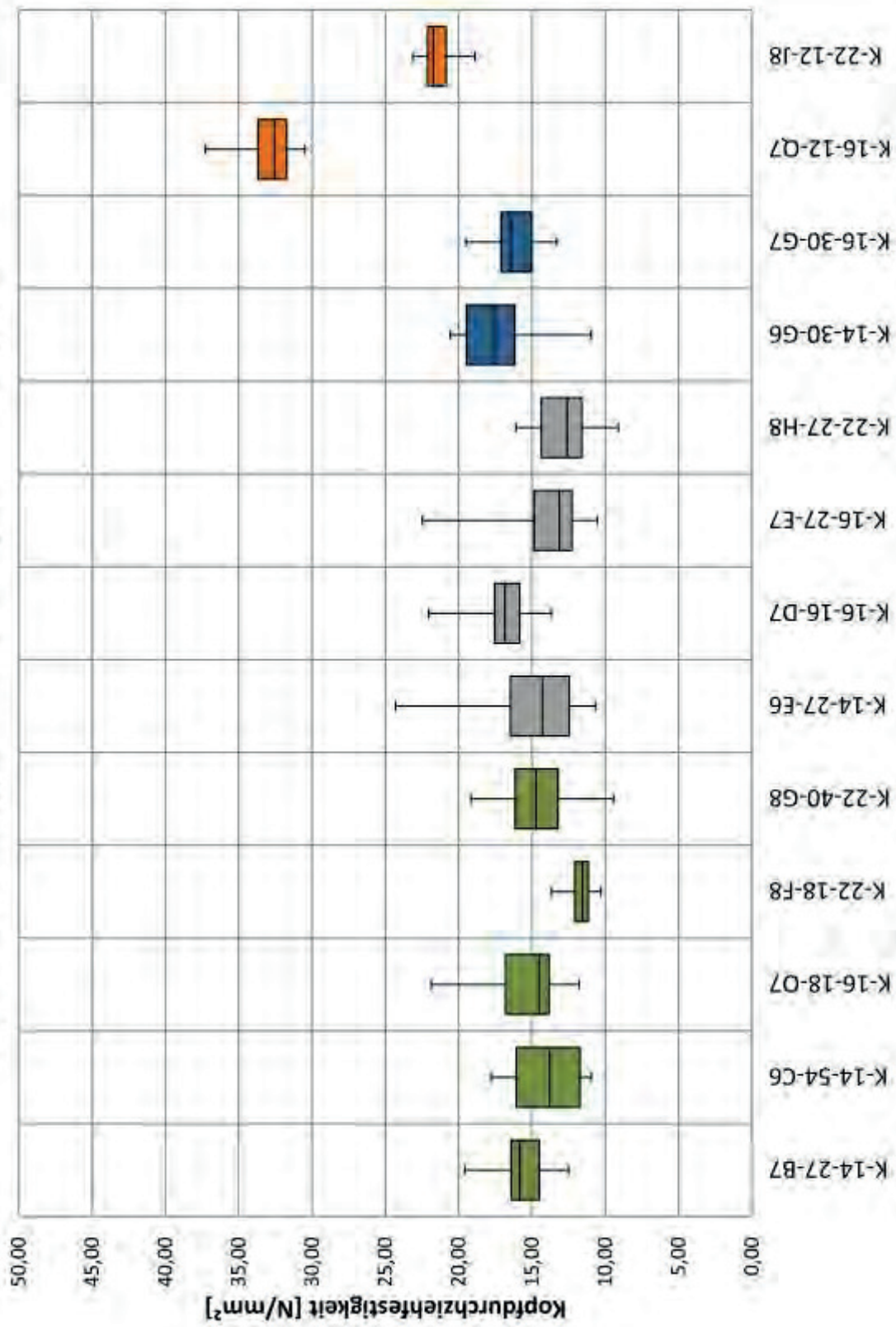
Serie	O7	B7	C6	D7	E6	E7	G6	G7	Q7	F8	G8	H8	J8
Neendurchmesser d	[mm]												
Kopfdurchmesser d <sub>head</sub>	16	14	14	16	14	16	14	16	16	8			
Produkte	1s-Fi	1s-Fi	1s-Fi	3s-Fi	3s-Fi	3s-Fi	BSpH-Fi	BSpH-Fi	BFU-Bu	1s-Fi	1s-Fi	3s-Fi	BFU-Bu
Dicke	18	27	2 x 27	16	27	27	30	30	12	18	40	27	12
20													
Anzahl	[-]												
Minimum	15,1	19,7	21,7	14,4	17,6	21,0	23,5	20,2	30,5	10,7	16,1	12,7	18,9
Maximum	23,0	26,9	36,6	24,2	35,5	36,6	31,2	27,1	37,3	13,8	30,8	22,4	23,1
Mittelwert	17,6	23,6	28,1	18,4	28,3	28,2	25,9	23,8	32,8	12,3	21,6	16,7	21,4
Stabw.	2,23	2,23	4,09	2,65	4,66	3,69	1,86	2,36	1,52	0,83	3,90	2,57	1,22
COV	12,7	9,48	14,6	14,4	16,5	13,1	7,20	9,91	4,63	6,77	18,1	15,4	5,71
charakt. Wert nach EN 14358	<b>13,8</b>	<b>19,5</b>	<b>21,1</b>	<b>13,9</b>	<b>19,7</b>	<b>21,8</b>	<b>22,5</b>	<b>19,5</b>	<b>29,7</b>	<b>10,8</b>	<b>15,3</b>	<b>12,3</b>	<b>19,0</b>
5,5													
Verformung bei	[mm]												
Anzahl	[-]												
Minimum	11,8	12,5	10,9	13,7	10,7	10,6	11,0	13,3	30,5	10,3	9,45	9,12	18,9
Maximum	21,9	19,6	17,8	22,0	24,3	22,5	20,6	19,5	37,3	13,7	19,2	16,1	23,1
Mittelwert	15,3	15,7	13,9	16,9	14,8	13,9	17,4	16,2	32,8	11,7	14,6	12,9	21,4
Stabw.	2,56	1,59	2,43	1,92	2,94	3,01	2,52	1,66	1,52	0,93	2,50	1,99	1,22
COV	16,8	10,1	17,5	11,4	19,8	21,6	14,5	10,2	4,63	7,93	17,1	15,5	5,71
charakt. Wert nach EN 14358	<b>11,1</b>	<b>12,9</b>	<b>9,80</b>	<b>13,5</b>	<b>10,3</b>	<b>9,40</b>	<b>12,6</b>	<b>13,3</b>	<b>29,7</b>	<b>10,0</b>	<b>10,2</b>	<b>9,41</b>	<b>19,0</b>
6,0													
Kopfdurchziehparam.	[N/mm <sup>2</sup> ]												
Anzahl	[-]												
Minimum	11,8	12,5	10,9	13,7	10,7	10,6	11,0	13,3	30,5	10,3	9,45	9,12	18,9
Maximum	21,9	19,6	17,8	22,0	24,3	22,5	20,6	19,5	37,3	13,7	19,2	16,1	23,1
Mittelwert	15,3	15,7	13,9	16,9	14,8	13,9	17,4	16,2	32,8	11,7	14,6	12,9	21,4
Stabw.	2,56	1,59	2,43	1,92	2,94	3,01	2,52	1,66	1,52	0,93	2,50	1,99	1,22
COV	16,8	10,1	17,5	11,4	19,8	21,6	14,5	10,2	4,63	7,93	17,1	15,5	5,71
charakt. Wert nach EN 14358	<b>11,1</b>	<b>12,9</b>	<b>9,80</b>	<b>13,5</b>	<b>10,3</b>	<b>9,40</b>	<b>12,6</b>	<b>13,3</b>	<b>29,7</b>	<b>10,0</b>	<b>10,2</b>	<b>9,41</b>	<b>19,0</b>

**Kopfdurchziehfestigkeit von Tellerkopfschrauben | ÖNORM EN 1383**





## Kopfdurchziehfestigkeit von Tellerkopfschrauben | TUG



### 6-2.3 ERGEBNISSE DER SCHERPRÜFUNGEN

Wie schon in Abschnitt 6-2 wurden auch die Scherprüfungen farblich der verwendeten Produkte entsprechend gekennzeichnet. Für die Prüfserien A0, B0, A1, B1 und B2 wurden einschichtige Massivholzplatten aus Fichte (1-s) verwendet, während für die Prüfserien C0, D0, C1, D1 und D2 für den aufzuklebenden Teil dreischichtige Massivholzplatten aus Fichte (3-s) verklebt wurden. Der Basisteil besteht für alle Serien aus einer dreischichtigen BSP-Platte ( $t_{CLT} = 100$  mm)

Vollholz	
3S-Platte	

*Abbildung 6-2: Farbzweisung entsprechend der geprüften Holzwerkstoffprodukte*

Tabelle 6-5: Zusammenfassung der Ergebnisse für die durchgeführten Scherprüfungen

Serie	6											
	S-11-18-A0 S-11-18-A1 S-11-16-C0 S-11-16-C1				S-14-27-B0 S-14-27-B1 S-14-27-B2				S-14-27-D0 S-14-27-D1 S-14-27-D2			
Neindurchmesser d	11 (SK)											
Kopfdurchmesser d <sub>head</sub>	1s-Fi			3s-Fi			14 (TK)					
Produkt	18			16			27					
Dicke	150 x 100			180 x 180			150 x 100					
Raster (längs x quer)	150 x 100			180 x 180			150 x 100					
Einflussfläche je Schraube	15.000			21.600			15.000					
Verhältnis zu A <sub>max</sub> lt. Norm	1,00			1,44			1,50					
Holzfeuchte u	Anzahl	32			32			32				
	Minimum	8,07			9,98			8,08				
	Maximum	9,25			11,5			9,37				
	Mittelwert	8,58			8,58			11,0				
	Stabw.	0,35			0,38			0,33				
	COV	4,1			3,5			3,8				
maximale Kraft F <sub>max</sub>	Anzahl	32			32			32				
	Minimum	12,5			14,3			15,7				
	Maximum	24,9			25,6			23,7				
	Mittelwert	19,9			20,6			20,4				
	Stabw.	3,26			2,38			2,25				
	COV	16,4			11,5			11,1				
Verformung w bei F <sub>max</sub>	charakt. Wert nach EN 14358	14,2			16,4			16,3				
	Anzahl	1,05			1,29			1,48				
	Minimum	3,85			3,14			4,59				
	Maximum	2,30			2,16			2,58				
	Mittelwert	0,69			0,44			0,77				
	COV	30,0			20,6			29,7				

**Tabelle 6-5: Zusammenfassung der Ergebnisse für die durchgeführten Scherprüfungen (Fortsetzung)**

Serie	S-11-18-A0	S-11-18-A1	S-11-16-C0	S-11-16-C1	S-14-27-B0	S-14-27-B1	S-14-27-B2	S-14-27-D0	S-14-27-D1	S-14-27-D2
Verhältnis zu A <sub>max</sub> lt. Norm	1,00	1,44	1,50	2,16	1,00	1,44	1,96	1,50	2,16	2,94
Anzahl	32	32	32	32	32	31	32	32	32	28
Minimum	5,02	5,72	4,70	3,28	6,27	5,95	5,02	2,75	6,13	4,82
Maximum	9,98	10,2	8,50	9,20	9,47	9,93	8,99	9,40	9,38	9,12
Mittelwert	<b>7,96</b>	<b>8,25</b>	<b>6,90</b>	<b>6,67</b>	<b>8,15</b>	<b>8,28</b>	<b>7,35</b>	<b>7,83</b>	<b>8,18</b>	<b>7,50</b>
Stabw.	1,30	0,95	0,89	1,55	0,90	0,93	1,05	1,37	0,85	1,16
COV	16,4	11,5	12,8	23,3	11,1	11,2	14,2	17,5	10,4	15,5
charakt. Wert nach EN 14358	<b>5,66</b>	<b>6,54</b>	<b>5,30</b>	<b>3,98</b>	<b>6,53</b>	<b>6,59</b>	<b>5,52</b>	<b>4,84</b>	<b>6,64</b>	<b>5,39</b>
Anzahl PK mit fv < 6 N/mm <sup>2</sup>	4	1	6	11	0	1	4	2	0	4
Anzahl PK mit fv < 4 N/mm <sup>2</sup>	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0
Anzahl										
Minimum	0,13	0,11	0,15	0,13	0,16	0,11	0,16	0,16	0,12	0,13
Maximum	0,25	0,29	0,29	0,36	0,24	0,31	0,29	0,30	0,30	0,30
Mittelwert	<b>0,20</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	<b>0,24</b>	<b>0,21</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	<b>0,20</b>
Stabw.	0,04	0,05	0,03	0,05	0,02	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04
COV	19,2	22,2	14,4	23,0	10,9	18,7	15,6	14,9	21,4	19,9
Anzahl PK mit > 0,3 mm	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1
Anzahl										
Minimum	14	26	71	0	80	70	22	9	20	10
Maximum	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Mittelwert	<b>92,3</b>	<b>87,8</b>	<b>97,5</b>	<b>62,3</b>	<b>97,8</b>	<b>96,4</b>	<b>85,2</b>	<b>96,5</b>	<b>89,2</b>	<b>83,6</b>
Stabw.	21,3	17,7	6,93	41,5	5,94	6,98	22,7	16,4	20,1	31,3
COV	23,0	20,2	7,11	66,7	6,07	7,24	26,6	16,9	22,6	37,4
Anzahl PK mit < 80%	3	0	1	16	0	2	9	1	4	6
davon PK am Rand/Ecke	0	0	1	1	0	2	1	1	0	0

## 6-2.4 SCHERFESTIGKEIT

In den nachfolgenden Diagrammen (Abbildung 6-3 - Abbildung 6-12) sind die Zusammenhänge zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil für die einzelnen Prüfserien dargestellt.

Die eingezeichnete Linie grenzt den Bereich (grün) ab, für den gemäß den Festlegungen nach EN 14080 eine ausreichende Integrität der Klebefuge gewährleistet ist. (siehe Abschnitt 5-2.4) Entsprechend der Lage der Prüfkörper sind Prüfkörper im inneren Bereich des Schraubenraster als Kreisrunde (rote) Punkte, solche direkt unterhalb der Schraube mit Dreiecken (schwarz) und Prüfkörper im Eck- und Randbereich des Schraubenrasters mit quadratischen (blauen) Markierungspunkten dargestellt.

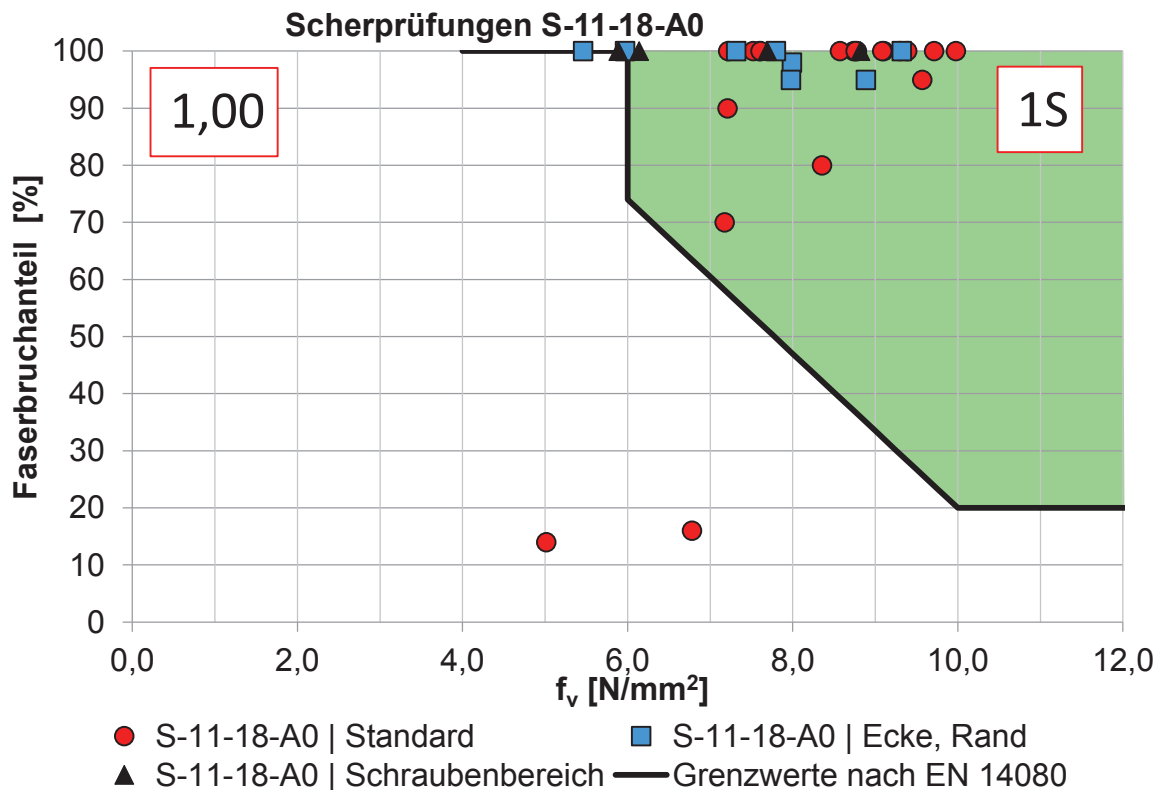


Abbildung 6-3: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie A0

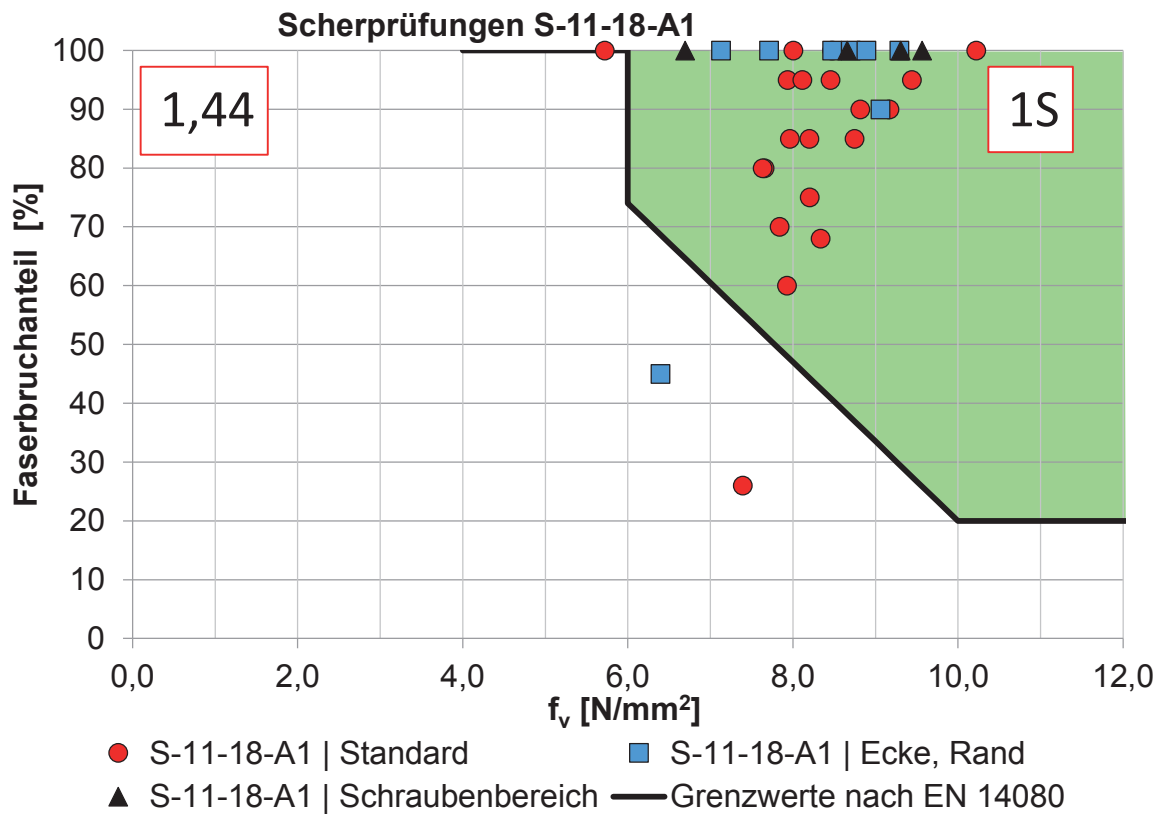


Abbildung 6-4: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie A1

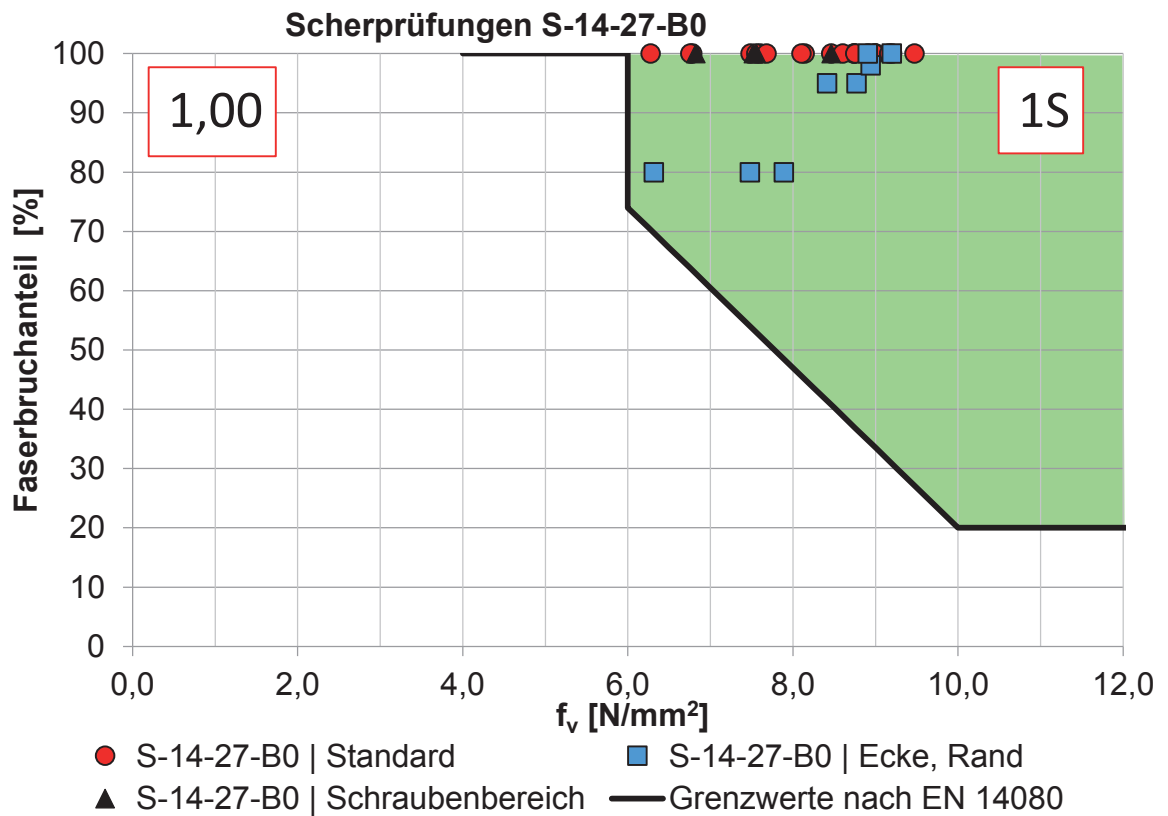


Abbildung 6-5: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie B0



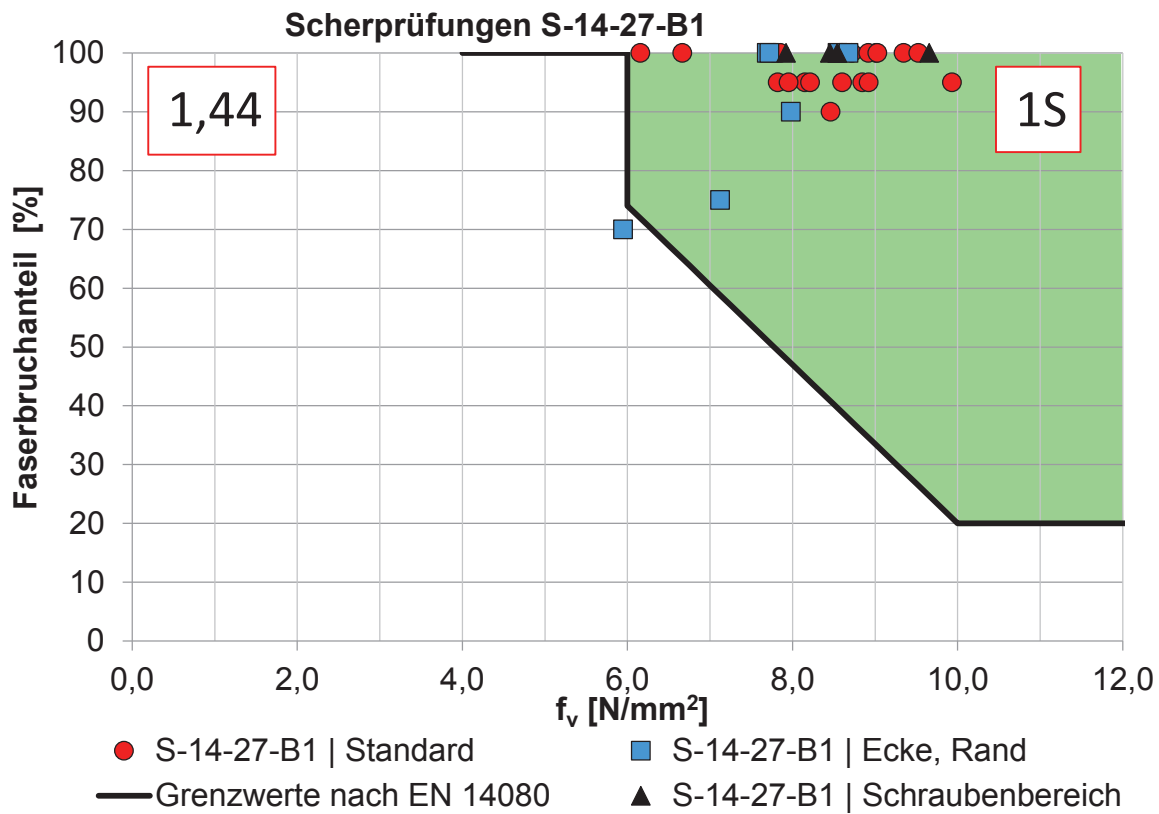


Abbildung 6-6: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie B1

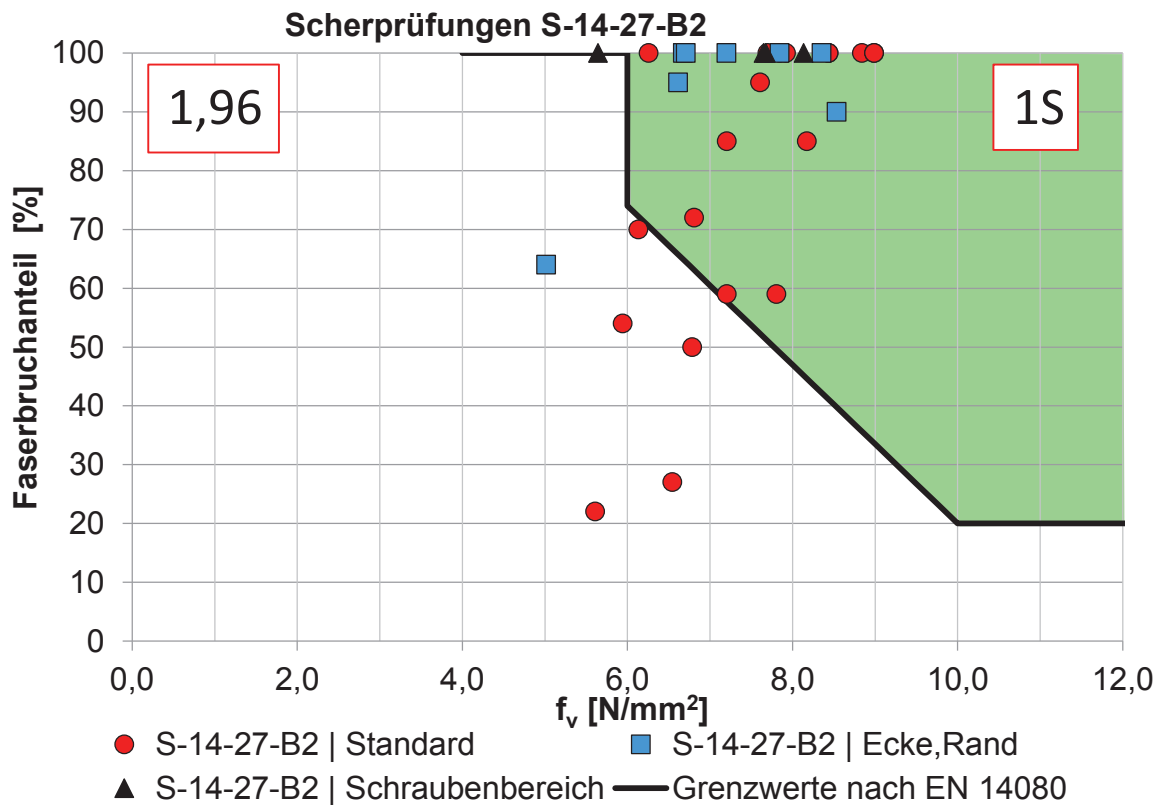


Abbildung 6-7: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie B2

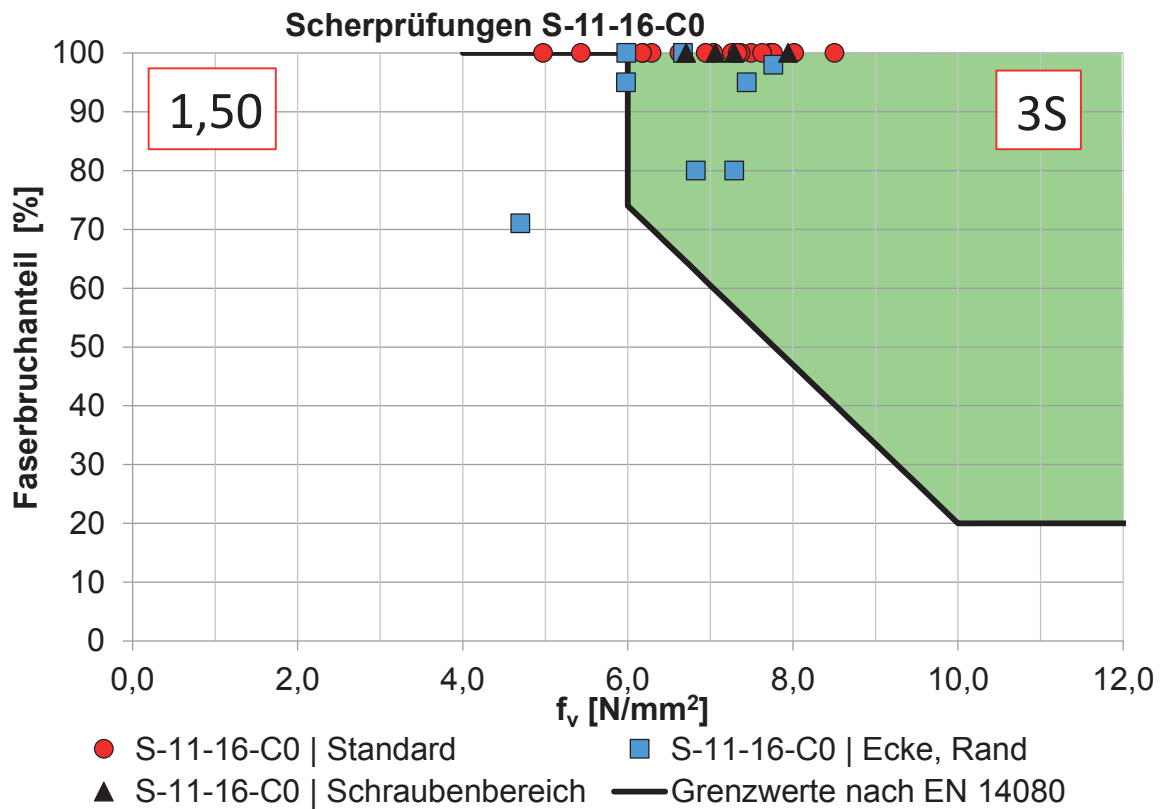


Abbildung 6-8: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie C0

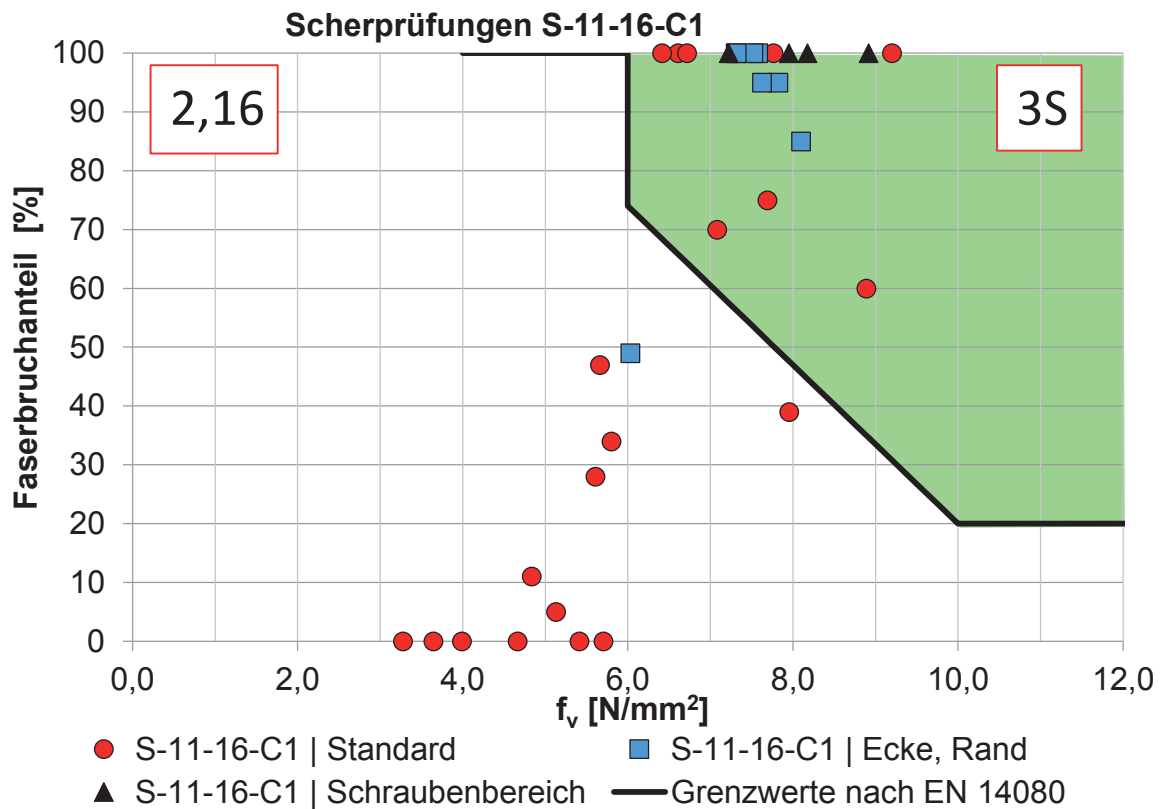


Abbildung 6-9: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie C1

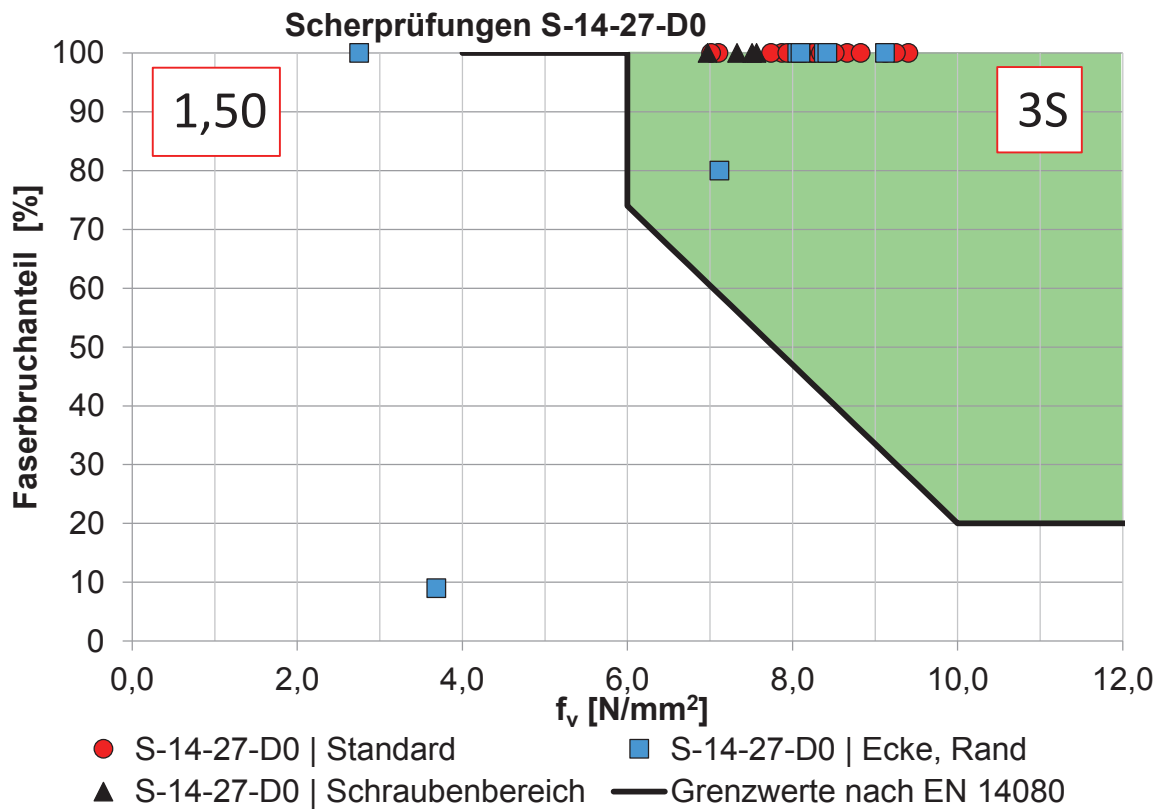


Abbildung 6-10: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie D0

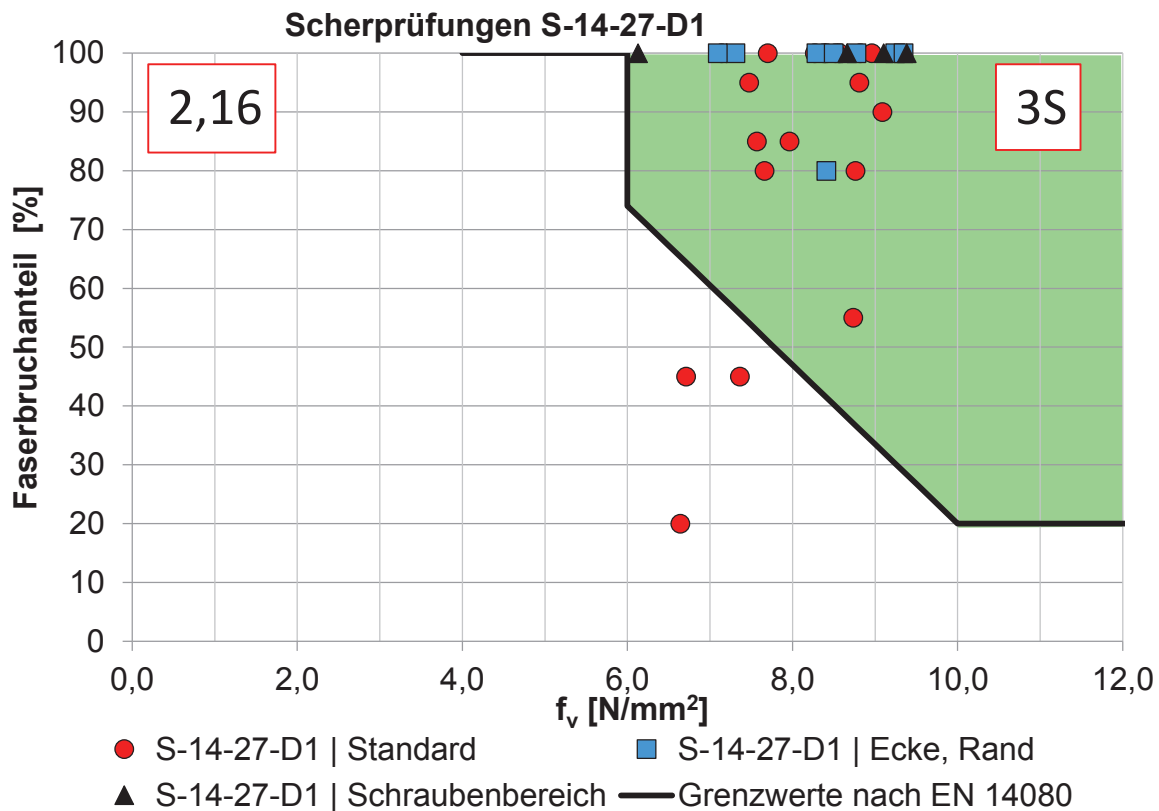


Abbildung 6-11: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie D1

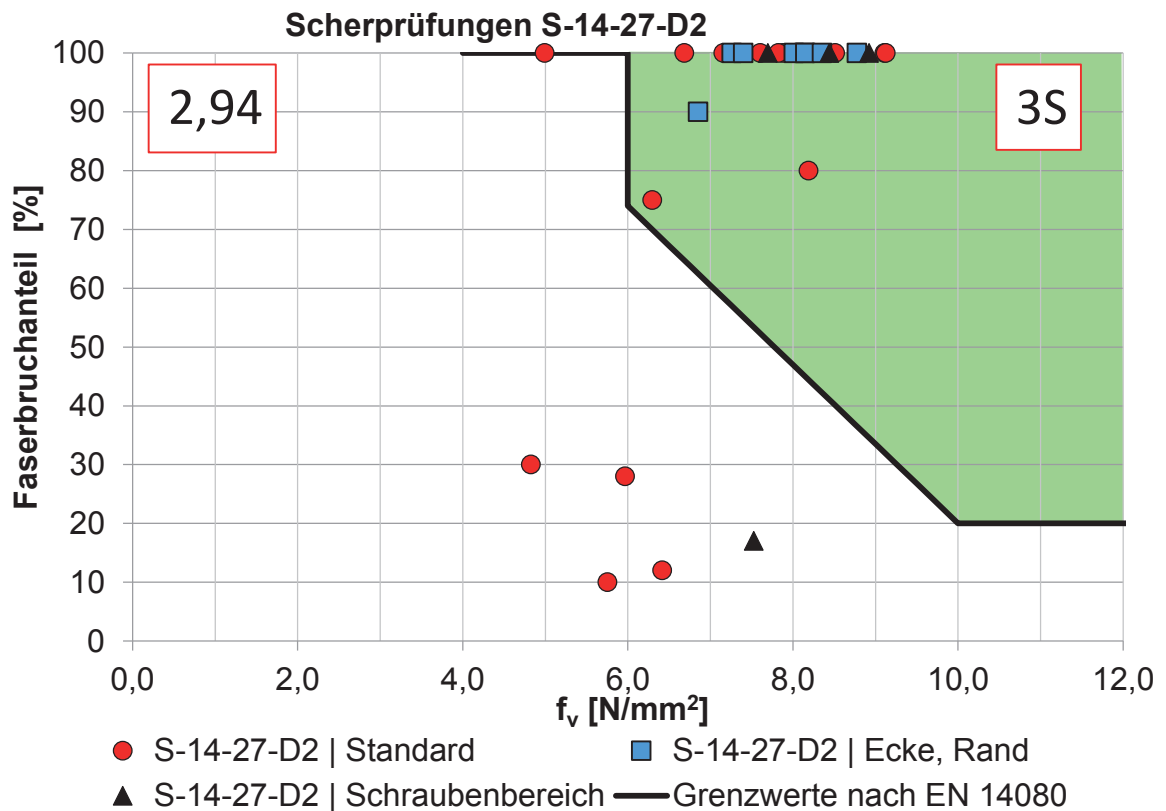


Abbildung 6-12: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie D2

## 6-2.5 ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DER SCHERFESTIGKEIT UND DER KLEBEFUGENDICKE

### S-11-18-A0 - Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke

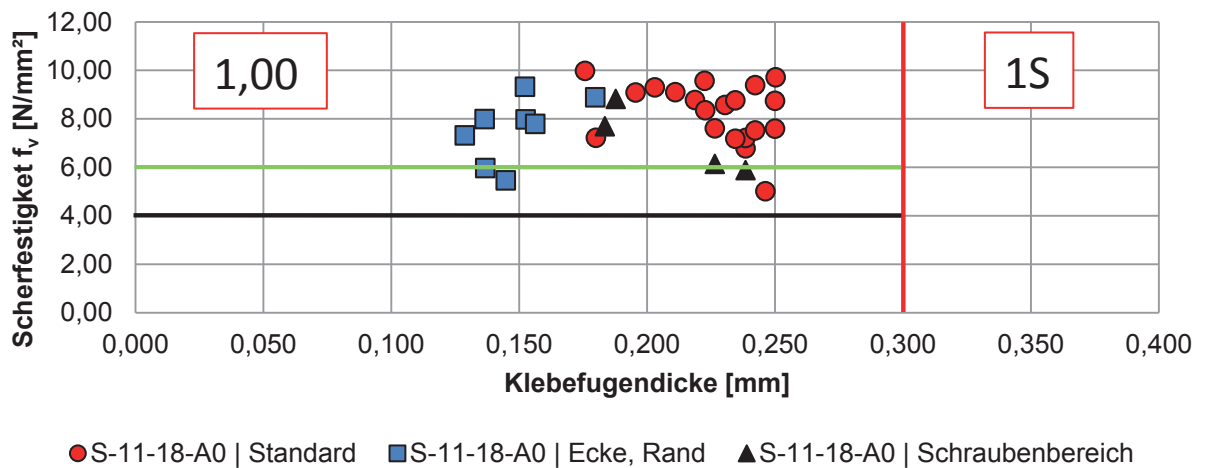


Abbildung 6-13: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke; S-11-18-A0

### S-11-18-A1 - Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke

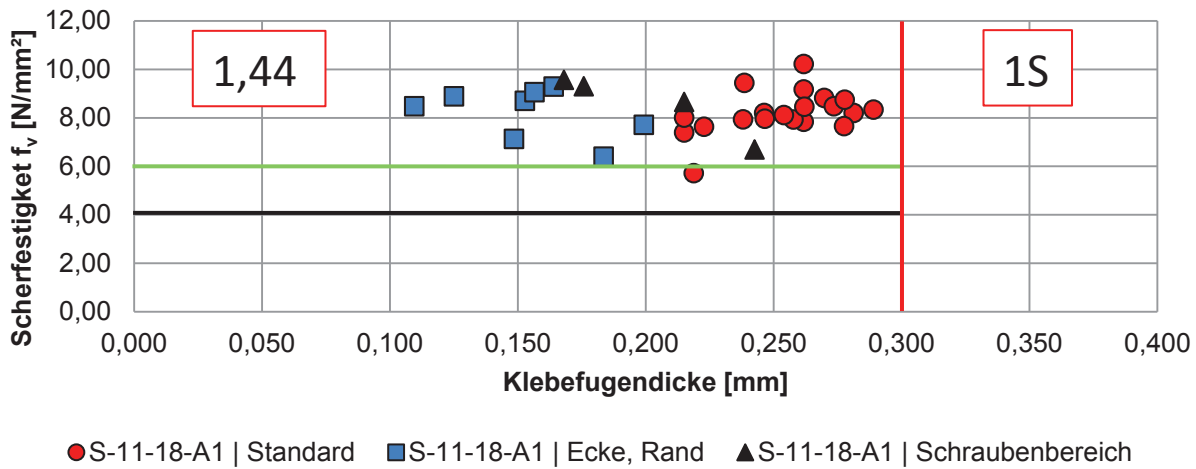


Abbildung 6-14: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke; S-11-18-A1

### S-14-27-B0 - Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke

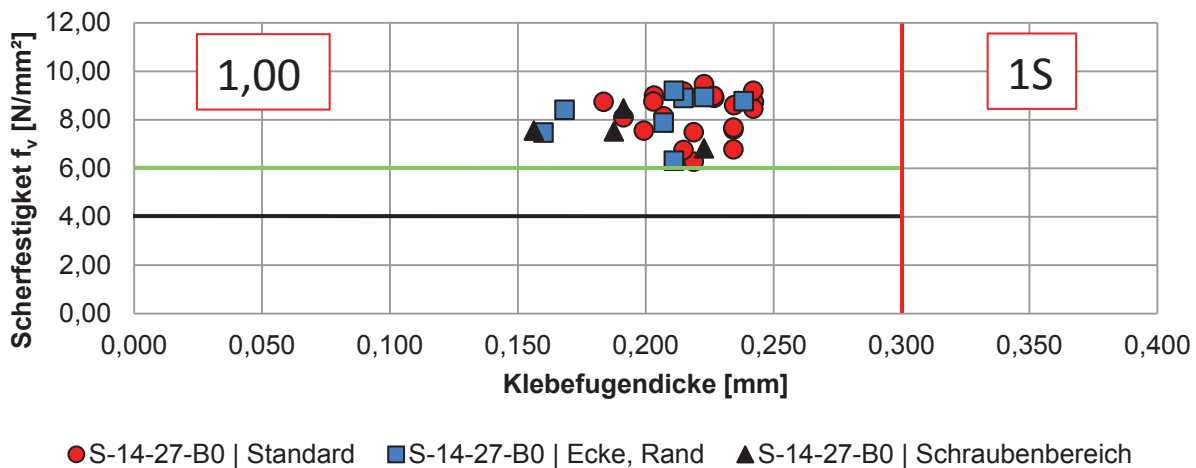


Abbildung 6-15: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke; S-14-27-B0

### S-14-27-B1 - Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke

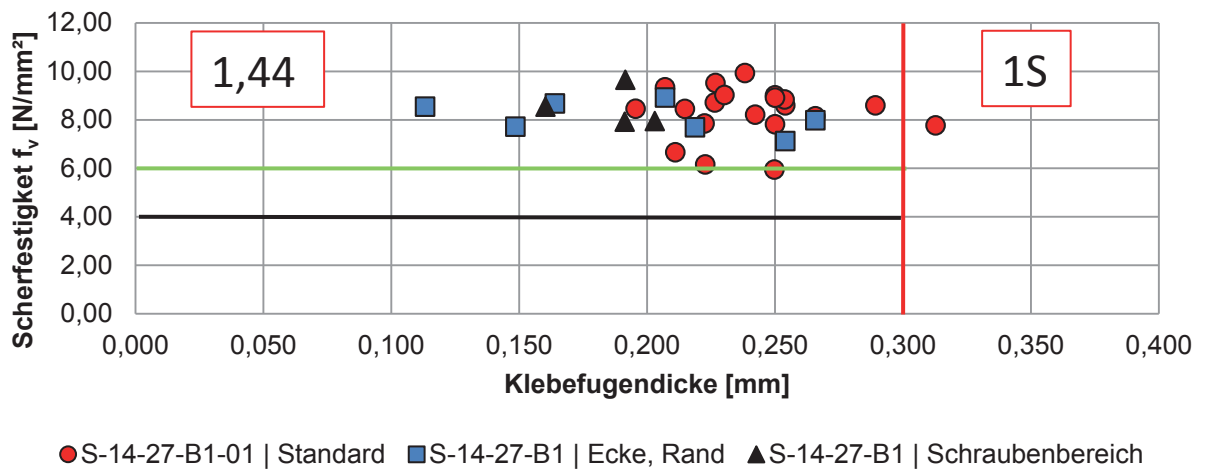


Abbildung 6-16: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke; S-14-27-B1

### S-14-27-B2 - Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke

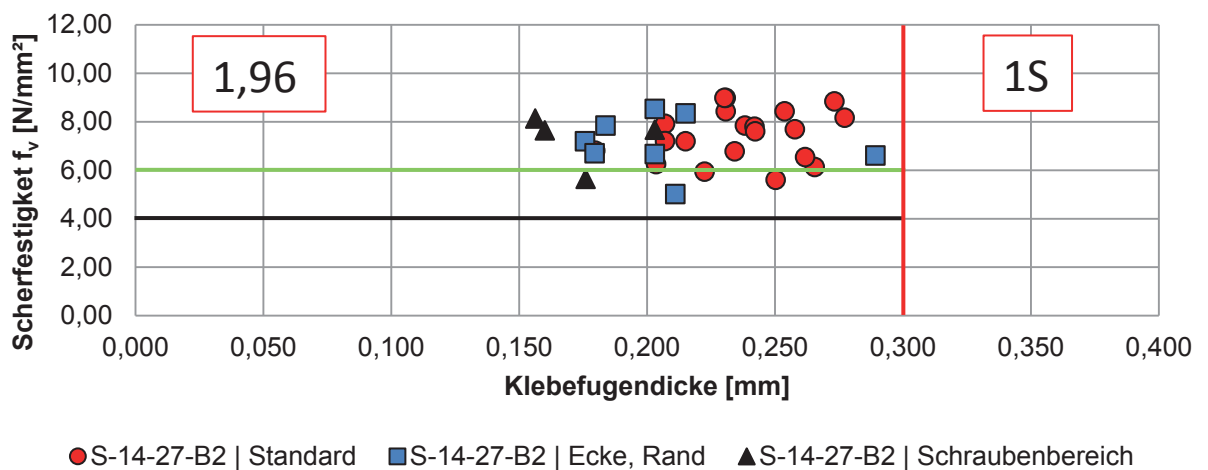


Abbildung 6-17: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke; S-14-27-B2



### S-11-16-C0 - Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke

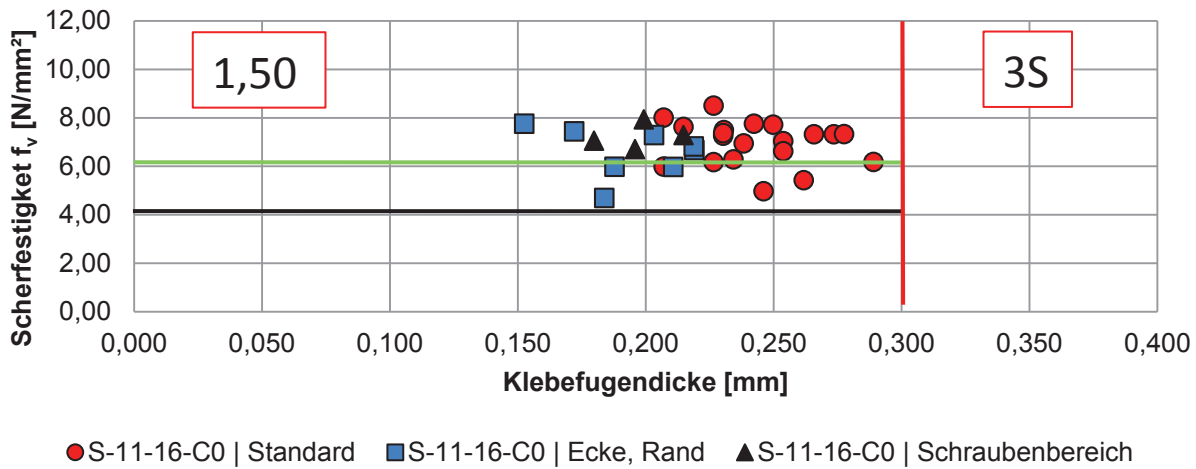


Abbildung 6-18: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke; S-11-16-C0

### S-11-16-C1 - Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke

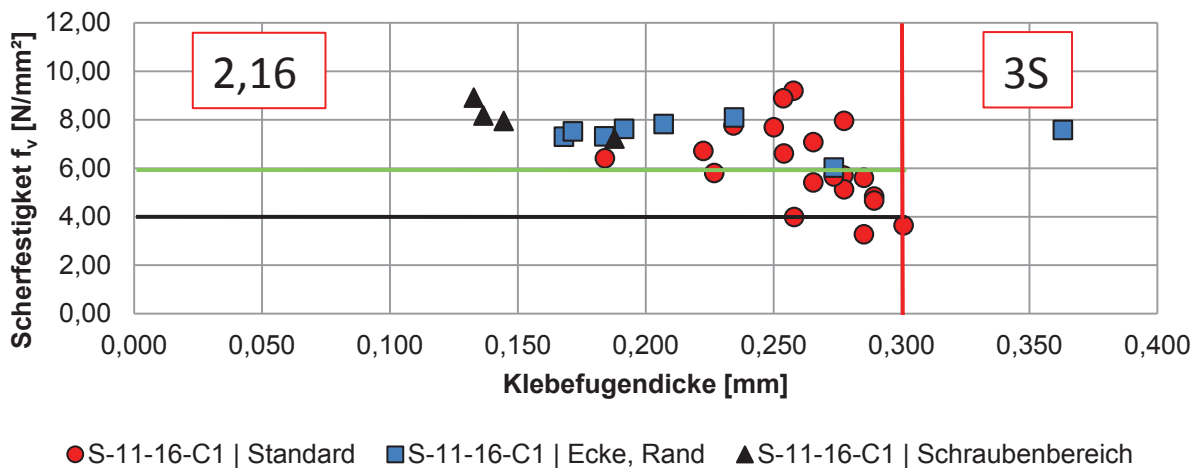


Abbildung 6-19: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke; S-11-16-C1

### S-14-27-D0 - Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke

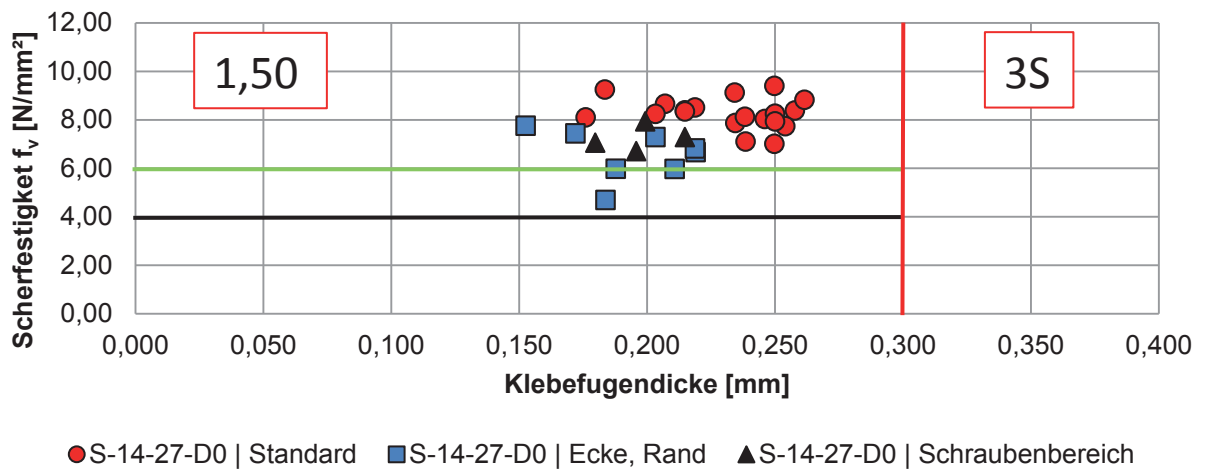


Abbildung 6-20: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke; S-14-27-D0

### S-14-27-D1 - Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke

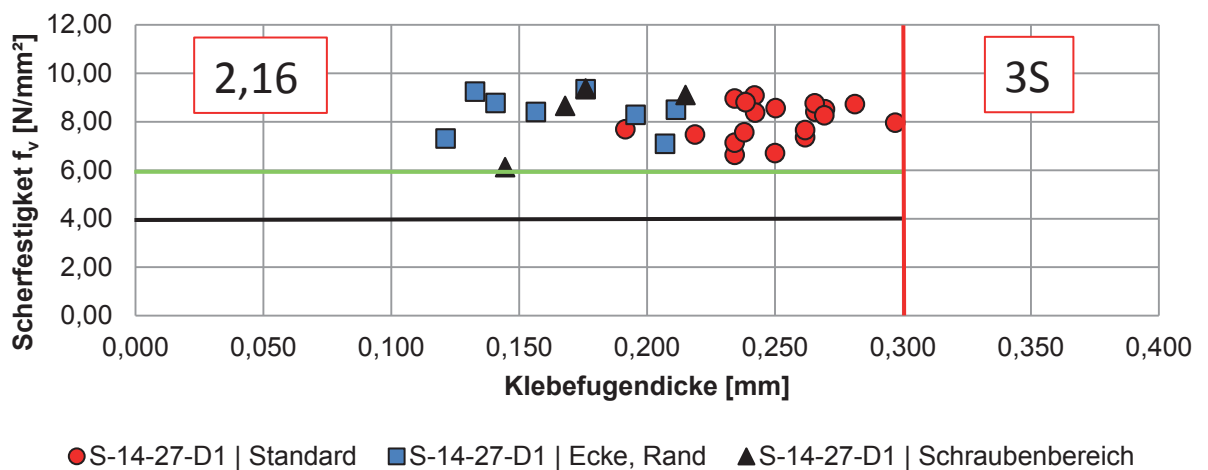


Abbildung 6-21: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebfugendicke; S-14-27-D1

### S-14-27-D2 - Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke

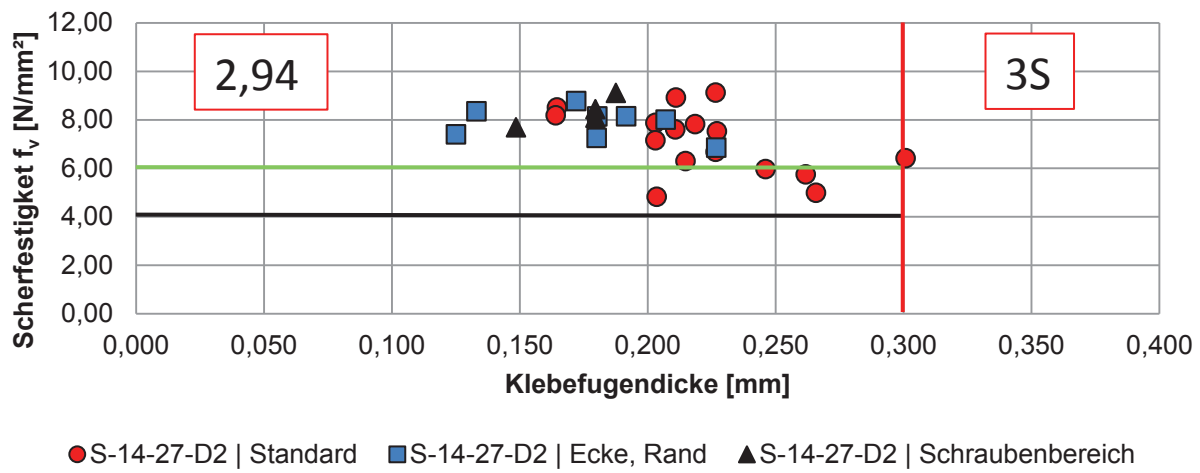


Abbildung 6-22: Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke; S-14-27-D2

# KAPITEL 7: INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

## 7-1 VORVERSUCHE

---

### 7-1.1 VORVERSUCHE MIT TELLERKOPFSCHRAUBEN

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus Tab. 3-4 analysiert und deren Einfluss auf die weitere Gestaltung des Prüfprogrammes diskutiert.

#### 7-1.1.1 Holzfeuchte

Für die untersuchten Serien K-22-20-A0 bis -B1 ergibt sich ein homogener Mittelwert der Serien mit einem Mittelwert der Holzfeuchte von rund  $u_{\text{mean}} = 11,5\%$  ( $u_{\text{mean}} = 11,6\% \mid 11,5\% \mid 11,6\% \mid 11,4\%$ ), bei einem Variationskoeffizienten von rund  $\text{COV} = 3\%$  ( $\text{COV} = 2,8\% \mid 3,4\% \mid 3,2\% \mid 2,5\%$ ). Der Kleinstwert der Serien betrug  $u_{\text{min}} = 10,9\%$ , während der Größtwert mit  $u_{\text{max}} = 12,4\%$  ermittelt wurde. Diese Werte entsprechen der zu erwartenden Holzausgleichsfeuchte für die Holzart Fichte, wie sie bei einer Lagerung im Normalklima (Temperatur 20°C und relative Luftfeuchte  $\text{RF} = 65\%$ ) auftritt.

Eine auffällige Abweichung von den übrigen Serien ergibt sich für die Holzfeuchte der Serie K-22-40-R0. Der Mittelwert betrug dort  $u_{\text{mean}} = 10,2\%$ , der Variationskoeffizient ergab sich zu  $\text{COV} = 1,0\%$ . Der Grund für die Differenz zu den übrigen Serien liegt in dem Umstand begründet, dass diese Prüfserie zum Zweck der Überprüfung des Einflusses der Jahrringlage kurzfristig in das Prüfprogramm aufgenommen wurde. Auf Grund der zur Verfügung stehenden zeitlichen Ressourcen an der Prüfmaschine wurden die Prüfkörper nicht bis zur Massekonstanz der Prüfkörper konditioniert, sodass sich die erwähnte Abweichung daraus ergab.

#### 7-1.1.2 Rohdichte

Die Mittelwerte der Rohdichte liegen für die Serien K-22-20-A0 bis -B1 liegen zwischen  $\rho_{\text{mean}} = 392 \text{ kg/m}^3$  bis  $421 \text{ kg/m}^3$  und Variationskoeffizienten von  $\text{COV} = 2,9\%$  bis  $7,6\%$ . Der minimale Wert der Serien betrug  $\rho_{\text{min}} = 365 \text{ kg}$  und der Größtwert erreichte eine Rohdichte von  $\rho_{\text{max}} = 496 \text{ kg/m}^3$ .

Diese Rohdichten liegen mit Bereich der für die Holzart Fichte typischen Werte – insbesondere von Bauholz. Auf Grund der Rohdichtewerte kann davon ausgegangen werden, dass für die Holzart Fichte typische Kenngrößen des Kopfdurchziehparameters als Prüfergebnisse resultieren.

Wie schon bei der Holzfeuchte ordnen sich auch die Rohdichteergebnisse der Serie K-22-40-R0 nicht in die Ergebnisse der übrigen Serien ein. Für den Mittelwert dieser Serie konnte ein Wert von  $\rho_{\text{mean}} = 487 \text{ kg/m}^3$ , bei einem Variationskoeffizienten  $\text{COV} = 7,0\%$  ermittelt werden. Der Größtwert lag bei  $\rho_{\text{max}} = 535 \text{ kg/m}^3$ , der Kleinstwert bei  $\rho_{\text{min}} = 444 \text{ kg/m}^3$ . Die Rohdichtewerte dieser Serie unterscheiden sich damit signifikant von den übrigen Serien der Vorversuche.

### 7-1.1.3 maximale Kraft $F_{\max}$

Vorab zu erwähnen ist, dass die nachfolgend angegebenen Werte rohdichtekorrigiert sind, d. h. die in den

Prüfungen beobachtete maximale Kraft wurde mit Hilfe der Gleichung  $\left(\frac{\rho_{PK}}{\rho_{ref,k}}\right)^{0,8}$  auf eine

Referenzrohddichte von  $\rho_{ref} = 350 \text{ kg/m}^3$  bezogen.

Die Spannweite der maximalen Kraft für die Serien K-22-20-A0 bis -B1 lag zwischen dem Kleinstwert  $\min F_{\max} = 4,57 \text{ kN}$  und dem Größtwert  $\max F_{\max} = 14,2 \text{ kN}$ . Die Mittelwerte betragen zwischen  $\text{mean } F_{\max} = 5,82 \text{ kN}$  (Serie K-22-20-A0) und  $\text{mean } F_{\max} = 10,5 \text{ kN} \mid 11,3 \text{ kN} \mid 12,2 \text{ kN}$  (für die Serien -B0, -A1 und -B1). Die zugehörigen Variationskoeffizienten betragen  $\text{COV} = 18,2 \% \text{ bzw. } 13,1\% \mid 10,1\% \mid 11,9\%$ . Für die Auswertung des charakteristischen Wertes nach ÖNORM EN 14358 ergaben sich die folgenden Werte:  $F_{\max,k} = 4,05 \text{ kN}$  bzw.  $9,15 \text{ kN} \mid 7,95 \text{ kN} \mid 9,44 \text{ kN}$ .

Bei der Betrachtung der Ergebnisse sticht die Serie K-22-20-A0 auf Grund der deutlich geringeren maximalen Kraft und dem höheren COV hervor. Ein Grund für diesen Umstand konnte nicht identifiziert werden.

Die entsprechenden Werte für die Serie K-22-40-R0 betragen  $\text{mean } F_{\max} = 9,26 \text{ kN}$  bei einem Variationskoeffizienten  $\text{COV} = 9,10\%$ ,  $\min F_{\max} = 8,27 \text{ kN}$  und  $\max F_{\max} = 10,9 \text{ kN}$ . Der charakteristische Wert konnte mit  $F_{\max,k} = 7,58 \text{ kN}$  ermittelt werden. Im Gegensatz zur vergleichsweise höheren Rohddichte trat bei dieser Serie als eine geringere maximale Kraft in den Prüfkörpern auf.

### 7-1.1.4 Verformung $w$ bei $F_{\max}$

Die entsprechenden Kenngrößen haben informativen Charakter und weisen Mittelwerte für die Serien K-22-20-A1 | K-22-20-B0 | K-22-40-B1 von  $w_{\text{mean}} = 24,5 \text{ mm} \mid 17,6 \text{ mm} \mid 33,1 \text{ mm}$  ( $\text{COV} = 7,70\% \mid 19,3\% \mid 27,3\%$ ). Auffällig ist, dass für die Serie K-22-20-A0 ein Mittelwert von  $w_{\text{mean}} = 8,25 \text{ mm}$  ( $\text{COV} = 12,7\%$ ) ergab. Während der Variationskoeffizient durchaus vergleichbar zu den übrigen liegt, fällt der Mittelwert dieser Serie deutlich ab, wodurch sich auch geringere Kopfdurchziehparameter für diese Serie ergaben.

Für die Serie K-22-40-R0 ergab sich ein Mittelwert der Verformung von  $w_{\text{mean}} = 13,2 \text{ mm}$  mit einem  $\text{COV} = 10,6\%$ . Somit liegen die Ergebnisse dieser Serien, trotz der signifikant höheren Rohddichte, im unteren Bereich der „Standardserien“.

### 7-1.1.5 Kopfdurchziehparameter nach ÖNORM EN 1383

Die Kopfdurchziehparameter  $f_{\text{head}}$  liegen für die Serien K-22-20-A0 bis -B1 zwischen dem Kleinstwert  $f_{\text{head,min}} = 6,12 \text{ N/mm}^2$  (Serie K-22-20-A0) und dem Größtwert  $f_{\text{head,max}} = 30,9 \text{ N/mm}^2$  (Serie K-22-40-B1). Die Mittelwerte betragen zwischen  $f_{\text{head,mean}} = 12,7 \text{ N/mm}^2$  (Serie K-22-20-A0) und  $f_{\text{head,mean}} = 24,7 \text{ N/mm}^2 \mid 22,8 \text{ N/mm}^2 \mid 26,7 \text{ N/mm}^2$  (für die Serien -B0, -A1 und -B1). Die zugehörigen Variationskoeffizienten betragen  $\text{COV} = 18,2 \% \text{ bzw. } 13,1\% \mid 10,1\% \mid 11,9\%$ . Für die Auswertung des charakteristischen Wertes nach ÖNORM EN 14358 ergaben sich  $f_{\text{head,k}} = 8,84 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $20,0 \text{ N/mm}^2 \mid 17,4 \text{ N/mm}^2 \mid 20,6 \text{ N/mm}^2$ .

Die entsprechenden Werte für die Serie K-22-40-R0 betragen  $f_{\text{head,mean}} = 20,2 \text{ N/mm}^2$  bei einem COV von  $9,10\%$ ; weiters  $f_{\text{head,min}} = 18,1 \text{ N/mm}^2$  und  $f_{\text{head,max}} = 23,8 \text{ N/mm}^2$ . Der charakteristische Wert des Kopfdurchziehparameters konnte mit  $f_{\text{head,k}} = 16,6 \text{ N/mm}^2$  ermittelt werden.

### 7-1.1.6 Kopfdurchziehparameter mit absolutem Verformungswert

Die Kopfdurchziehparameter  $f_{\text{head,w}}$  bei einer Auswertung mit absolutem Verformungswert wurden für alle Vorversuchsserien bei einer Verformung  $w = 6,0 \text{ mm}$  ausgewertet (siehe Abschnitt ...).

Die Werte der Serien K-22-20-A0 bis -B1 lag zwischen dem Kleinstwert  $f_{\text{head,w,min}} = 8,71 \text{ N/mm}^2$  (Serie K-22-20-A0) und dem Größtwert  $f_{\text{head,w,max}} = 18,3 \text{ N/mm}^2$  (Serie K-22-20-A0). Die Mittelwerte betragen zwischen  $f_{\text{head,w,mean}} = 11,2 \text{ N/mm}^2$  (für die Serie K-22-20-A0) und  $f_{\text{head,w,mean}} = 12,6 \text{ N/mm}^2 \mid 12,2 \text{ N/mm}^2 \mid$

11,0 N/mm<sup>2</sup> (für die Serien -B0, -A1 und -B1). Die zugehörigen Variationskoeffizienten betragen COV = 24,4% bzw. 17,6% | 10,9% | 10,4%. Für die Auswertung des charakteristischen Wertes nach ÖNORM EN 14358 ergaben sich  $f_{\text{head},w;k} = 7,04 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $8,65 \text{ N/mm}^2$  |  $9,63 \text{ N/mm}^2$  |  $8,73 \text{ N/mm}^2$ . Sowohl die Mittelwerte als auch die charakteristischen Werte ergeben sich damit gegenüber der Auswertemethode nach EN 1383 wesentlich homogener.

Die entsprechenden Werte für die Serie K-22-40-R0 betragen  $f_{\text{head},w;\text{mean}} = 15,7 \text{ N/mm}^2$  bei einem COV = 11,4%, weiters  $f_{\text{head},w;\text{min}} = 13,8 \text{ N/mm}^2$  und  $f_{\text{head},w;\text{max}} = 17,8 \text{ N/mm}^2$ . Der charakteristische Wert des Kopfdurchziehparameters konnte zu  $f_{\text{head},w;k} = 15,7 \text{ N/mm}^2$  ermittelt werden und ergibt somit einen, gegenüber den übrigen Serien höheren Wert, wie auf Grund der höheren Rohdichte auch zu erwarten ist.

### 7-1.1.7 Erkenntnisse aus den Vorversuchen

Für die alle untersuchten Vorprüfungsserien wurden Schrauben mit demselben Schrauben-parametern verwendet, insbesondere war der Kopfdurchmesser für alle Serien gleich. Somit kann aus den zugehörigen Prüfungen keine Aussage über diesen Parameter gemacht werden.

Der Einfluss der übrigen Parameter wird in der Folge erläutert:

#### Einfluss der Auswertungsmethode

Wie den Ergebnissen entnommen werden kann, konnte hinsichtlich der beiden betrachteten Auswertemethoden ein deutlicher Unterschied festgestellt werden. Während bei der Auswertemethode im Allgemeinen ähnliche Mittelwerte auftraten, streuten diese bei der Auswertemethode nach EN 1383 stärker. Bei dieser Methode sind die Variationskoeffizienten für alle Serien bis auf die Serie K-22-20-A0, relativ gleichmäßig (COVs zwischen 9,10% (für Serie K-22-40-R0) und 13,1% (Serie K-22-40-B0); für die Serie K-22-20-A0: COV = 18,1%). Die Variationskoeffizienten bei der Serie mit absolutem Verformungswert liegen für die Probekörperdicken  $t = 20 \text{ mm}$  (COVs = 24,4% und 17,6%) deutlich höher als jene für  $t = 40 \text{ mm}$  (COVs = 10,9% und 10,4%). Dieser Effekt kann im stärkeren Einfluss des Kollabierens einzelner Jahrringe bei der aufgebrachtten Querdruckbeanspruchung begründet werden und bildet die Daten somit realistischer ab, als dies bei der Auswertung nach EN 1383 zu erwarten ist.

Als nachteilig bei der Auswertung mit absolutem Verformungswert erweist sich die Tatsache, dass die Kopfdurchzieherte geringer ausfallen als bei der normgemäßen Auswertung nach EN 1383. Wie der nachfolgenden Tab. .... zu entnehmen ist, liegen die entsprechenden Kenngrößen des Kopfdurchziehens bei der Auswertung um rund 40% tiefer als jene nach EN 1383.

Tab. ....

Serie	Mittelwerte			charakteristische Werte		
	$f_{\text{head,mean}}$ nach EN 1383	$f_{\text{head,v,mean}}$ mit abs. Verf.-wert	Vergleich (Bezug: EN 1383)	$f_{\text{head,mean}}$ nach EN 1383	$f_{\text{head,v,mean}}$ mit abs. Verf.-wert	Vergleich (Bezug: EN 1383)
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]
K-22-20-A0	12,7	11,2	-11,8%	8,84	7,04	-20,4%
K-22-20-A1	24,7	12,6	-49,0%	20,0	8,65	-56,8%
K-22-40-B0	22,8	12,2	-46,5%	17,4	9,63	-44,7%
K-22-40-B1	26,7	11,0	-58,8%	20,6	8,73	-57,6%
K-22-40-R0	20,2	15,7	-22,3%	16,6	12,1	-27,1%
Im Mittel			<b>-37,7%</b>			<b>-41,3%</b>



### Einfluss der Bettung der Prüfkörper

Für die Interpretation des Einflusses der Bettung fällt auf, dass bei der Auswertemethode nach EN 1383 für die Serien mit BSP-Unterlage höhere Werte des Kopfdurchziehparameters ermittelt werden konnten als für die normgemäße Lagerung auf einem starren Stahlblech. Sowohl die Mittelwerte der Serien -A1 und -B1 liegen mit  $f_{\text{head,mean}} = 24,7 \text{ N/mm}^2$  und  $f_{\text{head,mean}} = 26,7 \text{ N/mm}^2$  über den Mittelwerten der Serien -A0, -B0 und -R0 ( $f_{\text{head,mean}} = 12,7 \text{ N/mm}^2$  (nur eingeschränkt für die Interpretation nutzbar),  $f_{\text{head,mean}} = 22,8 \text{ N/mm}^2$  und  $f_{\text{head,mean}} = 20,2 \text{ N/mm}^2$ ), als auch die charakteristischen Werte weisen mit  $f_{\text{head,k}} = 20,0 \text{ N/mm}^2$  und  $f_{\text{head,k}} = 20,6 \text{ N/mm}^2$  höhere Werte auf als jene mit Bettung auf einer starren Stahlplatte ( $f_{\text{head,k}} = 8,84 \text{ N/mm}^2$  |  $17,4 \text{ N/mm}^2$  |  $16,6 \text{ N/mm}^2$ ). Der Variationskoeffizient für die Serie -A0 hebt sich mit  $\text{COV} = 18,2\%$  deutlich von den übrigen, relativ homogenen Variationskoeffizienten mit  $\text{COV} = 10,1\%$  (Serie -A1),  $\text{COV} = 13,1\%$  (Serie -B0),  $\text{COV} = 11,9\%$  (Serie -B1) und  $\text{COV} = 9,10 \text{ N/mm}^2$  (Serie -R0) ab.

Demgegenüber weisen die Mittelwerte für die Auswertung mit absolutem Verformungswert eine homogene Bandbreite des Kopfdurchziehparameters mit Werten von  $f_{\text{head,w;mean}} = 11,0 \text{ N/mm}^2$  (Serie -B1) bis  $12,6 \text{ N/mm}^2$  (Serie -A1) auf. Lediglich der Mittelwert der Serie -R0 (Riftware auf normgemäßer Bettung) liegt mit  $f_{\text{head,w;mean}} = 15,7 \text{ N/mm}^2$  signifikant höher. In ähnlicher Weise verhalten sich auch die charakteristischen Wert mit einem Wertebereich zwischen  $f_{\text{head,w;k}} = 7,04 \text{ N/mm}^2$  (Serie -A0) bis  $9,63 \text{ N/mm}^2$  (Serie -B0) bzw.  $f_{\text{head,w;k}} = 12,1 \text{ N/mm}^2$  (Serie -R0). Bei den Variationskoeffizienten konnten im Vergleich mit der Auswertung nach EN 1383 teils höhere Werte (Serie -A0:  $24,4\%$  (+6,20%), Serie -A1:  $17,6\%$  (+7,50%) und Serie -R0:  $11,4\%$  (+2,30)), und teils geringere Werte (Serie K-22-40-B0:  $10,9\%$  (-2,20 %), Serie K-22-20-B1:  $10,4\%$  (+1,50%)) verzeichnet werden.

### Einfluss der Prüfkörperdicke

Die Auswertung mit absolutem Verformungswert zeigen, dass für die beiden Prüfkörperdicken  $t = 20 \text{ mm}$  und  $t = 40 \text{ mm}$  keine signifikanten Unterschiede in den Mittelwerten auftraten. Diese betragen für die beiden Serien mit  $t = 20 \text{ mm}$   $f_{\text{head,mean}} = 11,2 \text{ N/mm}^2$  (Serie -A0) und  $f_{\text{head,mean}} = 12,6 \text{ N/mm}^2$  (Serie -A1) bzw. jene mit einer Prüfkörperdicke  $t = 40 \text{ mm}$   $f_{\text{head,mean}} = 12,2 \text{ N/mm}^2$  (Serie -B0) und  $f_{\text{head,mean}} = 11,0 \text{ N/mm}^2$  (Serie -B1). Die zugehörigen charakteristischen Werte konnten für die Prüfkörperdicken  $t = 20 \text{ mm}$  mit  $f_{\text{head,k}} = 7,04 \text{ N/mm}^2$  (Serie -A0) und  $f_{\text{head,k}} = 8,65 \text{ N/mm}^2$  (Serie -A1) und jene mit  $t = 40 \text{ mm}$  von  $f_{\text{head,k}} = 9,63 \text{ N/mm}^2$  (Serie -B0) und  $f_{\text{head,k}} = 8,73 \text{ N/mm}^2$  (Serie -B1) ermittelt werden, wobei die Variationskoeffizienten für die beiden Serien mit  $t = 20 \text{ mm}$  mit  $\text{COV} = 24,4\%$  und  $\text{COV} = 17,6\%$  deutlich höher lagen als jene der Serien mit  $t = 40 \text{ mm}$  ( $\text{COV} = 10,9\%$  und  $\text{COV} = 10,4\%$ ). Auf Grund der zweifelhaften Resultate der Serie K-22-20-A0 kann eine entsprechende Aussage für die Ergebnisse der Auswertung nach EN 1383 nicht eindeutig getroffen werden. Eine bestätigende Tendenz ist aber auch bei dieser Auswertemethode erkennbar. Die Ergebnisse der Serie -R0 blieben auf Grund der höheren Rohdichte in dieser Betrachtung unberücksichtigt.

### Einfluss der Ergebnisse der Vorversuche auf die weitere Prüfplanung

Die Prüfserien der Vorversuche dienen der qualitativen und quantitativen Auslotung beeinflussender Faktoren wie Auswertemethode, Bettung der Prüfkörper und Prüfkörperdicke auf den Kopfdurchziehparameter.

Hinsichtlich der Auswertemethode kann jener mit absolutem Verformungswert auf Grund deren Relevanz für die Schraubpressverklebung, trotz tiefer liegender Kennwerte, für die weiteren Prüfungen der Vorzug gegeben werden. Wie sich im Verlauf der Prüfdurchführung zeigte, werden die maximalen Kopfdurchziehkräfte u. U. stark durch das Kollabieren oberflächennaher Jahrringe auf Grund der aufgetragenen Querdruckbeanspruchung unter dem Schraubenkopf – insbesondere bei geringen Prüfkörperdicken – beeinflusst. Bei der Auswertung mit absolutem Verformungswert trat dieser Effekt, zumindest augenscheinlich, nicht so deutlich auf wie bei den Messungen bzw. Auswertungen nach EN 1383. Weiters zeigte sich, dass die Methode mit definiertem Verformungswert stabilere Kennwerte für den Mittelwert und den charakteristischen Wert des Kopfdurchziehparameters liefert. Eine Anpassung der

Auswertemethode nach EN 1383 an jene mit absolutem Verformungskennwert über die Bedürfnisse der Schraubpressverklebung hinaus (z. B. für die Ermittlung des Kopfdurchziehparameters bei Vollholz) kann bei entsprechender Modifikation des Verformungsgrenzwertes (z. B. bei  $w = 15$  mm) empfohlen werden.

Die Ergebnisse zum Einfluss der Bettung auf die Ermittlung des Kopfdurchziehparameters zeigte, dass auf Grund der erhaltenen, konservativeren Werte der normgemäßen Prüfmethode mit starrer Bettung durch ein Stahlblech mit kreisrunder Öffnung der Vorzug gegenüber der realitätsnahen Auflagerung auf BSP-Unterlage zu geben ist. Es bleibt zu vermuten, dass die Ergebnisse mit BSP-Bettung durch Parameter der BSP-Unterlage beeinflusst werden und somit zusätzliche unbekannte Parameter in der Prüfauswertung zu berücksichtigen wären. Dieser Umstand sollte tunlichst vermieden werden.

Hinsichtlich des Einflusses der Prüfkörperdicke konnte in den Vorversuchen kein signifikanter Unterschied zwischen Prüfkörpern mit  $t = 20$  mm und  $t = 40$  mm Dicke festgestellt werden. Dieser Bereich deckt den Großteil von streifen- und plattenförmigen Schraubpressverklebungen in der Praxis ab und darf damit näherungsweise vernachlässigt werden.

## 7-1.2 ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN EINZELNEN KENNGRÖSSEN

Das nachstehende Diagramm in Abbildung 7-1 zeigt den Zusammenhang zwischen der Kopfdurchziehfestigkeit und der Rohdichte der Prüfkörper. An dieser Stelle wird festgehalten, dass die dargestellten Werte bereits Rohdichte korrigiert sind.

Zunächst zeigt die Punktwolke die Daten aller Prüfserien, welche im Zuge der Voruntersuchungen erhoben wurden. Aufgrund der grafischen Darstellung und der entsprechenden Zuordnung der Prüfreiheiten ist es möglich einzelne Serien differenziert zu betrachten.

Die homogene Verteilung der Werte des Durchziehparameters unabhängig der Rohdichteverteilung weist darauf hin, dass mit der Rohdichtekorrektur der Einfluss der Rohdichte minimiert werden konnte.

Vergleicht man die in Tabelle 6-1 erfassten Werte der Prüfserien B0 und der „Riftwaren-Serie“ R0, welche beide ohne BSP-Bettung geprüft wurden, so sind ähnliche Werte für den Kopfdurchziehparameter zu erkennen.

Neben der Bestimmung des Einflusses der Jahrringlage (Serie R0), war es das Ziel der Voruntersuchungen, mögliche Auswirkungen einer BSP-Bettung zu erfassen. Dabei wurden die Vollholz Bretter der Serien A1 und B1 anstatt der normgerechten Stahlplatte, mit 150 mm dicken BSP-Basiselementen als Unterlage auf Kopfdurchziehen geprüft. Es ist auffallend, dass die Kopfdurchziehparameter mit BSP-Bettung höhere Werte aufweisen, als jene der Serien A0 und B0. Sämtliche Daten wurden entsprechend ÖNORM EN 1383 [50] ausgewertet und dokumentiert. Als Besonderheit wird auf die in Punkt 5-3.1.2 besprochene Kopfdurchziehfestigkeit  $f_{\text{head},w}$  hingewiesen. Auch diese Daten finden sich in Tabelle 6-1.

Weiters wird festgehalten, dass die Ergebnisse der Serie A0 aufgrund der markanten Abweichungen zu hinterfragen sind. Obwohl der Einfluss der Rohdichte in diesem Fall eine untergeordnete Rolle spielt, ist der Zusammenhang zwischen der Rohdichteverteilung und dem Kopfdurchziehparameter dieser Prüfserie auffallend.

Aufgrund der zu undeutlichen Ergebnisse des Einflusses der Jahrringlage, welche auch der zu geringen Prüfkörperanzahl zuzusprechen sind, wurden im Rahmen dieser Arbeit diesbezüglich keine weiteren Untersuchungen und/oder Prüfungen durchgeführt.

Auch der Einfluss der BSP-Bettung wurde wegen unbestimmten Einflusses für die weiteren Prüfungen vernachlässigt. Demnach wurden alle weiteren Kopfdurchziehprüfungen mit normgemäßer Prüfkörperkonfiguration durchgeführt und die daraus resultierenden Kenngrößen ausgewertet.

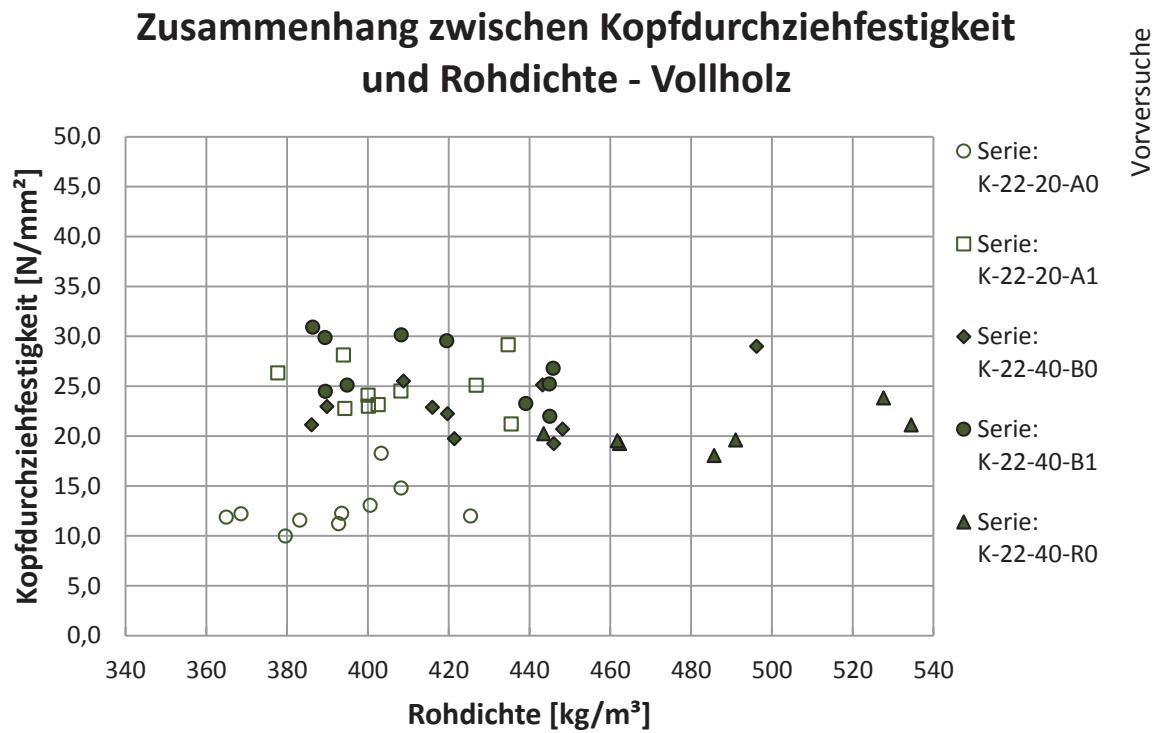


Abbildung 7-1: *Kopfdurchziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Rohdichteverteilung – alle Serien der Vorversuche*

## 7-2 HAUPTPRÜFUNGEN

### 7-2.1 KOPFDURCHZIEHFESTIGKEIT VON SENKKOPFSCHRAUBEN

#### 7-2.1.1 Holzfeuchte

Wie es in der Praxis üblich ist, wurden die Holzwerkstoffe direkt nach der Anlieferung verarbeitet. Die Mittelwerte der Holzfeuchte  $u_{\text{mean}}$  der 1s- und 3s-Platten-Serien aus Fichte im Bereich von  $u_{\text{mean}} = 9,7\%$  bis  $11,8\%$ . Der Variationskoeffizient COV dieser Serien liegt zwischen  $\text{COV} = 2,6\%$  und  $4,2\%$  und zeigt damit eine homogene Verteilung der gemessenen Holzfeuchtwerte. Der Mittelwert der Holzfeuchte bei den geprüften Serien mit Bausperrholz aus Fichte und Kiefer ist geringfügig niedriger und schwankt zwischen  $u_{\text{mean}} = 9,57\%$  bis  $10,5\%$ . Mit Ausnahme der Serie C8 und der Kiefern-Serie R7 ( $\text{COV} = 4,5\%$  bzw.  $3,1\%$ ) liegen die Werte des Variationskoeffizienten zwischen  $\text{COV} = 6,3\%$  bis  $8,0\%$  und zeigen damit ebenso eine kompakte Holzfeuchteverteilung. Der Mittelwert der Holzfeuchte beider geprüften OSB-Serien ist mit den Werte  $u_{\text{mean}} = 8,68\%$  bzw.  $8,65\%$  als annähernd gleich zu betrachten. Der Variationskoeffizient ergab sich dabei zu  $\text{COV} = 3,3\%$  und  $5,5\%$ . Als letzte Kategorie werden die Serien aus Baufurniersperrholz aus Buche erwähnt: Die Mittelwerte der Holzfeuchte der vier untersuchten Prüfserien weisen mit  $u_{\text{mean}} = 7,56\%$  bis  $8,83\%$  etwas niedrigere Werte als jene der übrigen Prüfkörpergruppen auf. Dabei beschreibt der Variationskoeffizient im Bereich zwischen  $\text{COV} = 2,7\%$  bis  $3,5\%$  einen homogen verteilten Feuchtegehalt der Prüfkörper.

#### 7-2.1.2 Rohdichte

Die Daten der Rohdichten der 1s-Platten Serien aus Fichte zeigen mit den Mittelwerten zwischen  $\rho_{\text{mean}} = 418 \text{ kg/m}^3$  bis  $456 \text{ kg/m}^3$  eine kompakte Verteilung, wobei der Mittelwert der Rohdichte der Serie N7 mit  $\rho_{\text{mean}} = 456 \text{ kg/m}^3$  herausragt. Es sei festgehalten, dass ein Variationskoeffizient der Rohdichte unter  $10\%$  bei Holzprodukten als annehmbar gilt, wobei Werte unter  $7\%$  ein sehr gleichverteiltes Produkt beschreiben. Die Variationskoeffizienten dieser Serien liefern mit dem Bereich zwischen  $\text{COV} = 6,1\%$  bis  $7,5\%$  ein gleichverteiltes Ergebnis, wobei der Wert der Serie B6 mit  $\text{COV} = 7,5\%$  auffällt. Die Verteilung der Mittelwerte der Rohdichte der geprüften Serien mit 3s-Platten aus Fichte liegen mit  $\rho_{\text{mean}} = 442 \text{ kg/m}^3$  bis  $502 \text{ kg/m}^3$  etwas höher als bei den zuvor erwähnten Serien. Der Variationskoeffizient schwankt dabei zwischen  $\text{COV} = 5,9\%$  bis  $7,6\%$ . Dabei sind die Werte der Serie J7 und B8 ( $\text{COV} = 7,2\%$  bzw.  $7,6\%$ ) erwähnenswert hoch. Aufgrund des industriell hergestellten und aufbereiteten Produkts war zu erwarten, dass die Mittelwerte der Rohdichte  $\rho_{\text{mean}} = 592 \text{ kg/m}^3$  und  $596 \text{ kg/m}^3$  der OSB-Serien annähernd gleiche Werte zeigen. Auch die Variationskoeffizienten zeigen mit  $\text{COV} = 5,7\%$  und  $4,3\%$  ein ähnliches Verhältnis. Die Mittelwerte der Rohdichte der Baufurniersperrhölzer aus Buche zeigen mit  $\rho_{\text{mean}} = 717 \text{ kg/m}^3$  bis  $773 \text{ kg/m}^3$  die deutlich höchsten Werte der Kopfdurchziehprüfungen mit Senkkopfschrauben. Speziell die Serien K7 und D8 ( $\rho_{\text{mean}} = 768 \text{ kg/m}^3$  und  $773 \text{ kg/m}^3$ ) mit einer Fügeteildicke von  $30 \text{ mm}$  sind dabei auffallend. Der Variationskoeffizient schwankt innerhalb dieser vier Serien zwischen  $\text{COV} = 1,5\%$  bis  $2,6\%$  und weist damit auf einen homogenen Holzwerkstoff hin.

#### 7-2.1.3 Maximale Kraft $F_{\text{max}}$

Gleich wie bei der Auswertung der Vorversuche ist an dieser Stelle anzumerken, dass die Werte der maximalen Kraft, sowohl bei den Kopfdurchziehprüfungen mit Senk- als auch Tellerkopfschrauben,

rohrichtekorrigiert sind. Dabei wurde die ermittelte Kraft  $F_{\text{max}}$  mit der Gleichung  $\left(\frac{\rho_{\text{PK}}}{\rho_{\text{ref,k}}}\right)^{0,8}$  auf die

Referenzrohddichte von Fichtenholz  $\rho_{\text{ref}} = 350 \text{ kg/m}^3$  angepasst. Davon ausgenommen sind die Serien H6 und H7 aus OSB. Deren Referenzrohddichte wurde mit  $\rho_{\text{ref}} = 600 \text{ kg/m}^3$  definiert. Auf einen ähnlichen Referenzwert bezieht sich die Rohddichte bei den Prüfserien aus Baufurniersperrholz aus Buche. Hier liegt der Wert bei  $\rho_{\text{ref}} = 750 \text{ kg/m}^3$ . Aufgrund des direkten Zusammenhangs von  $F_{\text{max}}$  und der Kopfdurchziehfestigkeit  $f_{\text{head}}$  werden hier die Ergebnisse dieser Werte nicht näher besprochen.

### 7-2.1.4 Verformung $w$ bei $F_{\max}$

Es werden nun die Ergebnisse der Verformung  $w$  für die Stelle an der  $F_{\max}$  auftritt beschrieben. Die Mittelwerte der 1s- und 3s-Plattenserien aus Fichte variieren dabei zwischen  $w_{\text{mean}} = 9,37$  mm bis 24,7 mm. Diese große Spannweiten lassen sich mit den unterschiedlichen Dicken der Holzwerkstoffe begründen. Dabei weisen die Serien mit Fügeteildicken zwischen 16 mm bis 54 mm auf. Der Variationskoeffizient der 1s- und 3s-Plattenserien aus Fichte schwankt stark mit  $\text{COV} = 8,09\%$  bis  $35,2\%$ . Dabei fallen speziell die Serien C7 und N7 ( $\text{COV} = 27,8\%$  und  $35,2\%$ ) auf. Auch die Serien aus Bausperrholz aus Fichte zeigen mit dem Bereich  $w_{\text{mean}} = 6,05$  mm bis 17,1 mm der Verformung bei  $F_{\max}$  große Abweichungen. Hier sind die Serien F6 und F7 mit einer Bauteildicke von nur 9 mm separat zu betrachten. Die Werte variieren nun zwischen  $w_{\text{mean}} = 6,11$  mm und 6,0 mm (F6 und F7). Die Werte der Serien M7 und C8 zeigen somit mittlere Verformungswerte von  $w_{\text{mean}} = 14,9$  mm und 17,1 mm. Der Variationskoeffizient der Serien F6 und F7 ergibt sich damit zu  $\text{COV} = 6,1\%$  und  $9,5\%$ . Beim Variationskoeffizient der Serien M7 und C8 mit  $\text{COV} = 20,4\%$  und  $9,6\%$  ist Erstgenannter auffällig hoch. Der Mittelwert der Verformungen von Serie H6 und H7 (OSB-Serien) zeigen mit selber Bauteildicke (12 mm) ähnliche Werte ( $w_{\text{mean}} = 4,95$  mm bzw. 5,19 mm). Der Variationskoeffizient zeigt mit  $\text{COV} = 13,4\%$  und  $8,0\%$  einen erwähnenswerten Unterschied.

Ähnlich wie bei den Serien aus Bausperrholz aus Fichte sind jene Serien aus Baufurniersperrholz aus Buche differenziert zu betrachten. Es wurden je zwei Serien mit einer Bauteildicke von 12 mm (L7 und E8) und 30 mm (K7 und D8) untersucht. Erstgenannte Kategorie zeigt mit der mittleren Verformung von  $w_{\text{mean}} = 5,78$  mm und 7,21 mm ähnliche Werte. Auch bei den Serien K7 und D8 kann mit  $w_{\text{mean}} = 12,6$  mm und 14,5 mm Ähnliches festgehalten werden. Der Variationskoeffizient schwankt bei den Serien L7 und E8 zwischen  $\text{COV} = 12,3\%$  und  $7,2\%$ , wobei dieser Wert bei den Serien K7 und D8 zwischen  $\text{COV} = 17,7\%$  und  $11,0\%$  variiert.

Vergleicht man die Mittelwerte der Verformungen  $w$ , bei der die Kraft  $F_{\max}$  auftritt mit der Dicke  $t$  der jeweiligen Prüfserie, so lässt sich erkennen, dass die Kraft bei einer Verformung erreicht wird, die etwa der halben Fügeteildicke entspricht. Im Mittel wurde bei sämtlichen Kopfdurchziehprüfungen mit Senkkopfschrauben die maximale Kraft nach einer Verformung  $w$  erreicht, die 53,8 % der Fügeteildicke entspricht. Den folgenden Tabellen kann man den jeweiligen, prozentuellen Wert dieser Erkenntnis entnehmen.

**Tabelle 7-1: Beziehung zwischen Fügeteildicke und Verformung  $w$  bei  $F_{\max}$  | Senkkopfschrauben**

Serie		A6	A7	B6	N7	C7	A8	D6	J7	B8
Dicke $t$	[mm]	18,0	18,0	27,0	40	54	27,0	16,0	27,0	27,0
$w$ bei $F_{\max}$	[mm]	10,1	10,2	14,8	21,6	24,7	15,4	9,4	15,1	16,0
% von Dicke $t$	[%]	<b>56,1</b>	<b>56,7</b>	<b>54,8</b>	<b>54,0</b>	<b>45,7</b>	<b>57,0</b>	<b>58,6</b>	<b>55,9</b>	<b>59,3</b>

**Tabelle 7-2: Beziehung zwischen Fügeteildicke und Verformung  $w$  bei  $F_{\max}$  | Senkkopfschrauben (Fortsetzung)**

Serie		F6	F7	M7	C8	R7	H6	H7	I6	L7	K7	E8	D8
Dicke $t$	[mm]	9,0	9,0	30,0	30,0	12,0	12,0	12,0	27	12,0	30,0	12,0	30,0
$w$ bei $F_{\max}$	[mm]	6,11	6,1	14,9	17,1	6,8	4,95	5,2	13,3	5,78	12,6	7,21	14,5
% von Dicke $t$		<b>67,9</b>	<b>67,2</b>	<b>49,7</b>	<b>57,0</b>	<b>56,4</b>	<b>41,3</b>	<b>43,3</b>	<b>49,3</b>	<b>48,2</b>	<b>42,0</b>	<b>60,1</b>	<b>48,3</b>

### 7-2.1.5 Kopfdurchziehparameter nach ÖNORM EN 1383

Die mittleren Kopfdurchziehfestigkeiten der Serien aus 1s- und 3s-Platten aus Fichte weisen Werte zwischen  $f_{\text{head,mean}} = 17,6$  N/mm<sup>2</sup> und 26,3 N/mm<sup>2</sup> auf. Dabei ist der stark schwankende Bereich des Variationskoeffizienten  $\text{COV} = 6,8\%$  bis  $25,6\%$  auffallend. Die charakteristischen Durchziehparameter zeigen bei diesen geprüften Kategorien Werte zwischen  $f_{\text{head,char.}} = 13,9$  N/mm<sup>2</sup> bis 19,0 N/mm<sup>2</sup>. Hier fallen die Ergebnisse der 3s-Platten J7 und B8 auf ( $f_{\text{head,char.}} = 18,9$  N/mm<sup>2</sup> und 19,0 N/mm<sup>2</sup>). Bei den Kopfdurchziehfestigkeiten der Prüfungen mit Bausperrholz werden die Serien mit der Bauteildicke von 9 mm (F6 und F7) separat betrachtet. Hier liegt die mittlere Kopfdurchziehfestigkeit zwischen  $f_{\text{head,mean}} = 14,2$  N/mm<sup>2</sup> und 10,9 N/mm<sup>2</sup> und die charakteristische Kopfdurchziehfestigkeit nach ÖNORM EN 14358



bei  $f_{\text{head, char.}} = 11,3 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $9,43 \text{ N/mm}^2$ . Dabei schwankt der Variationskoeffizient zwischen  $\text{COV} = 11,5 \%$  und  $7,9 \%$ . Der Kopfdurchziehparameter der Serien M7 und C8 weisen mit  $f_{\text{head, mean}} = 22,5 \text{ N/mm}^2$  bis  $23,8 \text{ N/mm}^2$  und  $f_{\text{head, char.}} = 19,6 \text{ N/mm}^2$  bis  $20,1 \text{ N/mm}^2$  annähernd gleiche Werte auf. Der Variationskoeffizient ergab sich daraus zu  $\text{COV} = 7,02 \%$  bis  $8,58 \%$  und ist damit sehr ausgeglichen. Der mittlere bzw. charakteristische Kopfdurchziehparameter der Serie R7 (Bausperrholz aus Kiefer) ergab sich zu  $f_{\text{head, mean}} = 15,4 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $f_{\text{head, char.}} = 13,4 \text{ N/mm}^2$ . Der Variationskoeffizient dieser Serie liefert mit  $\text{COV} = 6,54 \%$  ein homogenes Ergebnis.

Der mittlere Kopfdurchziehparameter der OSB-Serien zeigt eine auffallende Abweichung der einzelnen Serien. Es ergeben sich für Serie H6 und H7 die Wert  $f_{\text{head, mean}} = 19,0 \text{ N/mm}^2$  und  $13,8 \text{ N/mm}^2$ . Damit einhergehend unterscheiden sich auch die charakteristischen Werte dieser Kenngröße mit  $f_{\text{head, char.}} = 13,0 \text{ N/mm}^2$  und  $9,83 \text{ N/mm}^2$  deutlich. Außerdem sticht bei diesen beiden Serien der große Variationskoeffizient von  $\text{COV} = 19,7 \%$  und  $16,4 \%$  heraus.

Wie zuvor werden bei den Serien mit Baufurniersperrholz aus Buche, 12 mm und 30 mm dicke Prüfungen separat betrachtet. Bei den dünneren Holzwerkstoffen (L7 und E8) ergaben sich dabei für die mittlere Kopfdurchziehfestigkeit Werte von  $f_{\text{head, mean}} = 44,0 \text{ N/mm}^2$  und  $29,3 \text{ N/mm}^2$ . Die charakteristischen Werte dieser Kenngröße können mit  $f_{\text{head, char.}} = 39,9 \text{ N/mm}^2$  und  $25,4 \text{ N/mm}^2$  beziffert werden. Dabei ergab sich ein Variationskoeffizient von  $\text{COV} = 4,78 \%$  und  $7,78 \%$ . Noch höhere Festigkeitswerte wurden bei den Serien K7 und D8 erzielt. Dabei wurden Durchziehparameter von  $f_{\text{head, mean}} = 90,3 \text{ N/mm}^2$  und  $89,8 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $f_{\text{head, char.}} = 81,9 \text{ N/mm}^2$  bis  $81,5 \text{ N/mm}^2$  erreicht. Außerdem sind die Variationskoeffizienten mit  $\text{COV} = 3,23 \%$  und  $3,40 \%$  auffallend niedrig

## 7-2.1.6 Kopfdurchziehfestigkeit mit absoluten Verformungsbeiwert

Wie in Abschnitt 5-3 bereits besprochen wurde, wurde die Kopfdurchziehfestigkeit mit zwei verschiedenen Methoden ausgewertet. Diese Kennwerte beziehen sich auf die in Abschnitt 5-3.1.2 definierte, absolute Verformung.

Für die Serien aus 1s- und 3s-Platten ergeben sich dafür mittlere Kopfdurchziehfestigkeiten von  $f_{\text{head, mean}} = 14,3 \text{ N/mm}^2$  bis  $18,8 \text{ N/mm}^2$ . Damit ist eine äußerst homogene Verteilung festzustellen. Bei der charakteristischen Auswertung nach ÖNORM EN 14358 ergeben sich die folgenden Werte  $f_{\text{head, char.}} = 8,83 \text{ N/mm}^2$  bis  $15,0 \text{ N/mm}^2$ . Dabei gilt es allerdings den erstgenannten Wert in Verbindung mit Variationskoeffizient dieser Serie (B8) mit  $\text{COV} = 25,9 \%$  hervorzuheben. Auch der Variationskoeffizient der Serie B6 ist mit  $\text{COV} = 5,71 \%$  auffällig gering. Ansonsten sind diese Koeffizienten mit  $\text{COV} = 10,3 \%$  bis  $17,1 \%$  ähnlich verteilt. Die mittlere sowie charakteristische Kopfdurchziehfestigkeit der Serien F6 und F7 zeigen mit  $f_{\text{head, mean}} = 13,7 \text{ N/mm}^2$  und  $10,8 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $f_{\text{head, char.}} = 10,8 \text{ N/mm}^2$  und  $9,29 \text{ N/mm}^2$  etwas niedrigere Werte als die zuvor genannten Prüfserien. Der Variationskoeffizient ergab sich zu  $\text{COV} = 12,2 \%$  bzw.  $8,2 \%$ . Die Serien mit dem 30 mm dicken Fügeteilen (M7 und C8) zeigen mit  $f_{\text{head, mean}} = 16,8 \text{ N/mm}^2$  und  $13,7 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $f_{\text{head, char.}} = 13,8 \text{ N/mm}^2$  und  $10,8 \text{ N/mm}^2$  davon abweichende Kopfdurchziehfestigkeiten. Der Variationskoeffizient nahm mit  $\text{COV} = 9,89 \%$  und  $12,0 \%$  ähnliche Wert an. Die Serie R7 konnte eine mittlere Kopfdurchziehfestigkeit von  $f_{\text{head, mean}} = 15,2 \text{ N/mm}^2$  erreichen. Die charakteristische Kenngröße der Serie aus Bausperrholz aus Kiefer lag bei  $f_{\text{head, char.}} = 13,1 \text{ N/mm}^2$ . Hervorzuheben ist dabei der niedrige Variationskoeffizient  $\text{COV} = 6,7 \%$ .

Entgegen den Erwartungen zeigen die Festigkeiten der OSB-Platten (Serien H6 und H7) mit  $f_{\text{head, mean}} = 18,9 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $13,8 \text{ N/mm}^2$  und  $f_{\text{head, char.}} = 12,7 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $9,83 \text{ N/mm}^2$  abweichende Werte. Der Variationskoeffizient ergab speziell bei Serie H6 mit  $\text{COV} = 20, \%$  (Serie H7  $\text{COV} = 16,4 \%$ ) einen hohen Wert.

Ähnlich wie zuvor zeigen die Serien aus Baufurniersperrholz aus Buche mit  $f_{\text{head, mean}} = 43,9 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $28,7 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $f_{\text{head, char.}} = 39,9 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $25,3 \text{ N/mm}^2$  (L7 und E8) und  $f_{\text{head, mean}} = 78,1 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $62,6 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $f_{\text{head, char.}} = 69,6 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $54,7 \text{ N/mm}^2$  (K7 und D8) auffallend hohe Festigkeitskennwerte. Der Variationskoeffizient liegt bei den Serien L7 und E8 bei  $\text{COV} = 4,84 \%$  bzw.  $6,45 \%$  und bei den Serien K7 und D8 bei  $\text{COV} = 5,89 \%$  bzw.  $6,53 \%$ .



## 7-2.2 KOPFDURCHZIEHFESTIGKEIT VON TELLERKOPFSCHRAUBEN

### 7-2.2.1 Holzfeuchte

Wie bei den Prüfserien mit Senkkopfschrauben wurden auch jene Prüfkörper mit Tellerkopfschrauben direkt nach Anlieferung der Holzwerkstoffe hergestellt. Die Mittelwerte der Holzfeuchte der 1s- und 3s-Platten-Serien aus Fichte liegen im Bereich von  $u_{\text{mean}} = 9,89\%$  bis  $11,6\%$ . Damit ist eine homogene Verteilung der Holzfeuchte festzustellen. Der Variationskoeffizient ist mit Ausnahme der Serie E7 ( $\text{COV} = 8,9\%$ ) mit den Werten zwischen  $\text{COV} = 2,3\%$  bis  $3,5\%$  sehr niedrig.

Die beiden Serien aus Bausperrholz - Fichte (G6 bzw. G7) weisen mit den mittleren Werten der Holzfeuchte  $u_{\text{mean}} = 9,6\%$  bzw.  $9,72\%$  ähnliche Werte auf. Dabei ist der Variationskoeffizient mit  $\text{COV} = 7,8\%$  bzw.  $9,2\%$  etwas höher als bei den zuvor erwähnten Prüfserien. Auch bei den Serien mit Baufurniersperrholz aus Buche (Q7 und J8) können mit dem mittleren Holzfeuchtegehalt von  $u_{\text{mean}} = 8,79\%$  und  $8,75\%$  ähnliche Ergebnisse festgehalten werden. Der Variationskoeffizient ergab für beide Serien gleiche Werte und ist im Vergleich mit den anderen geprüften Serien am Niedrigsten mit einem  $\text{COV} = 2,2\%$ .

### 7-2.2.2 Rohdichte

Die Werte der mittleren Rohdichte der 1s- und 3s-Platten Serien aus Fichte schwanken im Bereich zwischen  $\rho_{\text{mean}} = 417 \text{ kg/m}^3$  bis  $498 \text{ kg/m}^3$ . Werden die Prüfserien mit 1s-Platten ( $\rho_{\text{mean}} = 417 \text{ kg/m}^3$  bis  $450 \text{ kg/m}^3$ ) und jene mit 3s-Platten ( $\rho_{\text{mean}} = 446 \text{ kg/m}^3$  bis  $498 \text{ kg/m}^3$ ) separat betrachtet, so sind Abweichungen bedingt durch den Aufbau der beiden Produkte zu erkennen. Daraus lässt sich auch ableiten, dass die Mittelwerte der Rohdichte der 3s-Platten Serien aus Fichte etwas höhere Werte aufweisen. Tendenziell werden für beide Kategorien verhältnismäßig hohe Mittelwerte der Rohdichte festgehalten. Beim Variationskoeffizient von 1s- und 3s Plattenserien ist mit Ausnahme der Serien F8 und H8 ( $\text{COV} = 9,5\%$  und  $9,4\%$ ) eine gleichmäßige Verteilung der Rohdichte ( $\text{COV} = 5,1\%$  bis  $9,0\%$ ) zu erkennen.

Sowohl bei den Serien G6 und G7 aus Bausperrholz - Fichte als auch bei den Prüfserien Q7 und J8 aus Baufurniersperrholz - Buche ist eine gleichverteilte mittlere Rohdichte zu erkennen. Bei erstgenannter Kategorie kann der Mittelwert der Rohdichte mit  $\rho_{\text{mean}} = 442 \text{ kg/m}^3$  und  $428 \text{ kg/m}^3$  beziffert werden. Der Variationskoeffizient dieser beiden Serien (G6 und G7) ergab dabei mit  $\text{COV} = 4,8\%$  und  $4,9\%$  niedrige Werte. Ähnliches ist bei den Serien Q7 und J8 festzustellen. Der Mittelwert der Rohdichte lag mit  $\rho_{\text{mean}} = 728 \text{ kg/m}^3$  und  $727 \text{ kg/m}^3$  bei annähernd gleicher Größe und der Variationskoeffizient ergab Werte von  $\text{COV} = 2,5\%$  bzw.  $2,4\%$ .

### 7-2.2.3 Maximale Kraft $F_{\text{max}}$

Analog zur Auswertung der Kopfdurchziehprüfungen mit Senkkopfschrauben wird hier nicht näher auf die Ergebnisse bzw. Werte der maximalen Kraft  $F_{\text{max}}$  eingegangen, weil die  $F_{\text{max}}$  durch den Schraubenkopfdurchmesser skaliert sind.

### 7-2.2.4 Verformung $w$ bei $F_{\text{max}}$

Die Mittelwerte der Verformung  $w$  für die Stelle an der  $F_{\text{max}}$  auftritt, streut bei den 1s- und 3s-Plattenserien aus Fichte mit Werten zwischen  $w_{\text{mean}} = 6,77 \text{ mm}$  bis  $22,0 \text{ mm}$  relativ stark. Ähnlich wie bei den zuvor besprochenen Kopfdurchziehprüfungen mit Senkkopfschrauben lässt sich dieser große Bereich auf die unterschiedlichen Fügeteildicken zurückführen. Diese Dicken variieren serienspezifisch zwischen  $16 \text{ mm}$  und  $54 \text{ mm}$ . Auch der Variationskoeffizient der 1s- und 3s-Plattenserien aus Fichte schwankt erheblich. Es ergaben sich Werte für  $\text{COV} = 7,3\%$  bis  $27,9\%$ .

Die Serien aus Bausperrholz aus Fichte (G6 und G7) weisen aufgrund der selben Fügeteildicke ähnliche Mittelwerte für die Verformung bei  $F_{\text{max}}$  auf. ( $w_{\text{mean}} = 12,2 \text{ mm}$  und  $14,3 \text{ mm}$ ) Der Variationskoeffizient dieser beiden Prüfserien ist mit  $\text{COV} = 26,9\%$  und  $20,6\%$  als hoch einzustufen. Beide Serien aus Baufurniersperrholz aus Buche (Q7 und J8) konnten aufgrund der gleichen Bauteildicke von  $12 \text{ mm}$  ähnliche Ergebnisse erzielen. Der Mittelwert der Verformung liegt dabei zwischen  $w_{\text{mean}} = 3,87 \text{ mm}$  und

5,23 mm. Der dazugehörige Variationskoeffizient des Verformungsverhaltens dieser Prüfserien ergab  $COV = 8,59\%$  und  $5,10\%$ .

Auch bei den Kopfdurchziehprüfungen mit Tellerkopfschrauben lässt sich erkennen, dass der Mittelwert der Verformungen  $w$ , bei der die Kraft  $F_{max}$  auftritt etwa der halben Fügeteildicke der jeweiligen Prüfserie entspricht. Bei den Kopfdurchziehprüfungen mit Tellerkopfschrauben wurde  $F_{max}$  im Mittel nach einer Verformung  $w$  erreicht, die  $43,6\%$  der Fügeteildicke entspricht. Dieser Wert ist um rund  $10\%$  geringer als jener der Kopfdurchziehprüfungen mit Senkkopfschrauben. Den folgenden Tabellen kann man den jeweiligen, prozentuellen Wert der einzelnen Prüfserien entnehmen.

**Tabelle 7-3: Beziehung zwischen Fügeteildicke und Verformung  $w$  bei  $F_{max}$  | Tellerkopfschrauben**

Serie		O7	B7	C6	F8	G8	D7	E6	E7	H8	G6	G7	Q7	J8
Dicke $t$	[mm]	18	27	54	18	40	16	27	27	27	30	30	12	12
$w$ bei $F_{max}$	[mm]	8,5	13,1	22,0	8,4	15,8	6,8	13,0	12,7	11,3	12,2	14,3	3,87	5,23
% von Dicke $t$		47,2	48,5	40,7	46,7	39,5	42,5	48,1	47,0	41,9	40,7	47,7	32,3	43,6

### 7-2.2.5 Kopfdurchziehparameter nach ÖNORM EN 1383

Die mittleren Kopfdurchziehfestigkeiten der Serien aus 1s- und 3s-Platten aus Fichte weisen Werte zwischen  $f_{head,mean} = 17,6\text{ N/mm}^2$  bis  $28,3\text{ N/mm}^2$  auf. Der Variationskoeffizient dieser Prüfserien schwankt zwischen  $COV = 10,8\%$  bis  $21,8\%$ . Für die charakteristische Kopfdurchziehfestigkeit ergab sich der folgende Wertebereich:  $f_{head,char.} = 10,8\text{ N/mm}^2$  bis  $21,8\text{ N/mm}^2$ . Speziell die Serien C6, E6 und E7 mit einer mittleren Kopfdurchziehfestigkeit von  $f_{head,mean} = 28,1\text{ N/mm}^2$ ,  $28,3\text{ N/mm}^2$  und  $28,2\text{ N/mm}^2$  sind auffallend. Nicht nur die Durchziehparameter dieser drei Serien liegen auf gleichen Niveau, sondern auch der dazugehörige Variationskoeffizient ergab Werte von  $COV = 21,1\%$ ,  $19,7\%$  und  $21,8\%$ . Dementsprechend konnten auch für den charakteristischen Kopfdurchziehparameter mit  $f_{head,char.} = 21,1\text{ N/mm}^2$ ,  $19,7\text{ N/mm}^2$  und  $21,8\text{ N/mm}^2$  ähnliche Ergebnisse erzielt werden.

Bei den Kopfdurchziehprüfungen der Serie G6 und G7 ergaben sich mit  $f_{head,mean} = 25,9\text{ N/mm}^2$  und  $23,8\text{ N/mm}^2$  annähernd gleiche Werte für den mittleren Durchzieh Widerstand, wobei sich der Trend erkennen lässt, dass die Kopfdurchziehfestigkeit mit größer werdenden Schraubenkopfdurchmesser kleiner wird. Der Variationskoeffizient von  $COV = 7,2\%$  und  $9,91\%$  liegt dabei im etwas niedrigeren Bereich. Für die charakteristische Kopfdurchziehfestigkeit nach EN 14358 ergeben sich verhältnismäßig hohe Werte von  $f_{head,char.} = 22,5\text{ N/mm}^2$  bzw.  $19,5\text{ N/mm}^2$ .

Die Ergebnisse der Serien aus Baufurniersperrholz aus Buche (Q7 und J8) zeigen aufgrund der unterschiedlichen Prüfkörperdicke von  $t = 12\text{ mm}$  bzw.  $t = 30\text{ mm}$  eine durchschnittlich hohe, aber auch stark voneinander abweichende Kopfdurchziehfestigkeit von  $f_{head,mean} = 32,8\text{ N/mm}^2$  bzw.  $21,4\text{ N/mm}^2$ . Es wird noch einmal die annähernd gleiche mittlere Rohdichte dieser Serien hervorgehoben, welchen den Einfluss dieser Kenngröße minimiert. Bei diesen Serien ergab der Variationskoeffizient mit  $COV = 4,63\%$  und  $5,71\%$  eine geringe Schwankungsbreite. Demnach ergeben sich für die charakteristische Durchziehfestigkeit Wert von  $f_{head,char.} = 29,7\text{ N/mm}^2$  bis  $19,0\text{ N/mm}^2$ .

### 7-2.2.6 Kopfdurchziehfestigkeit mit absoluten Verformungsbeiwert

Wie in Abschnitt 5-3 bereits besprochen wurde, wurde die Kopfdurchziehfestigkeit mit zwei verschiedenen Methoden ausgewertet. Diese Kennwerte beziehen sich auf die in Abschnitt 5-3.1.2 definierte, absolute Verformung.

Für die Serien aus 1s- und 3s-Platten aus Fichte ergab sich eine relativ gleichverteilte, mittlere Kopfdurchziehfestigkeiten von  $f_{head,mean} = 11,7\text{ N/mm}^2$  bis  $16,9\text{ N/mm}^2$ . Bei der charakteristischen Auswertung nach ÖNORM EN 14358 wurden die Werte  $f_{head,char.} = 9,4\text{ N/mm}^2$  bis  $13,5\text{ N/mm}^2$  ermittelt. Dabei ist der erstgenannten Wert der Serie E7 in Verbindung mit dessen Variationskoeffizient von  $COV = 21,6\%$  hervorzuheben. Als hoch gilt auch der Variationskoeffizient der Serie E6 mit  $COV = 19,8\%$ . Der kleinste Koeffizient konnte bei der Serie F8 erzielt werden. Ansonsten verteilen sich die Werte des Variationskoeffizienten von 1s- und 3s-Platten aus Fichte wie folgt:  $COV = 10,1\%$  bis  $17,5\%$ .

Die mittlere- und charakteristische Kopfdurchziehfestigkeit der Serien aus Bausperrholz aus Fichte (G6 und G7) weisen mit  $f_{\text{head,mean}} = 17,4 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $16,2 \text{ N/mm}^2$  und  $f_{\text{head,char.}} = 12,6 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $13,3 \text{ N/mm}^2$  ähnliche Werte wie die zuvor erwähnten Prüfserien auf. Der Variationskoeffizient ergab sich dabei zu  $\text{COV} = 14,5 \%$  und  $10,2 \%$ .

Aufgrund der definierten Auswertemethode wurden die Serien aus Baufurniersperrholz aus Buche (Q7 und J8) bei einer Verformung von  $5,5 \text{ mm}$  bzw.  $6,0 \text{ mm}$  ausgewertet. Wie bereits besprochen wurde die maximale Kraft dieser Prüfserien bei  $3,87 \text{ mm}$  bzw.  $5,23 \text{ mm}$  erreicht. Demnach sind mit dieser Auswertung gleiche Ergebnisse wie nach ÖNORM EN 1383 festzustellen.

## 7-2.3 SCHERPRÜFUNGEN

Vorab wird festgehalten, dass die Prüfserie C1 aus nicht eindeutig geklärten Gründen bei sämtlichen Ergebnissen auffällig ist. Im Zuge der nachstehenden Ergebnisinterpretation wird diese Serie zur Erreichung aussagekräftiger Ergebnisse nicht berücksichtigt.

### 7-2.3.1 Holzfeuchte

Die Ergebnisse der mittleren Holzfeuchte der Scherprüfungen weisen mit Ausnahme der Serien A0 und A1 ( $u_{\text{mean}} = 8,58\%$  für beide Serien) mit den Werten zwischen  $u_{\text{mean}} = 10,2\%$  bis  $11,0\%$  eine gleichmäßige Verteilung auf. Grund dafür ist die Lagerung in normierten Klimabedingungen [20/65]. Der Variationskoeffizient der geprüften 1s- und 3s-Plattenserien aus Fichte ergab Werte zwischen  $\text{COV} = 1,9\%$  bis  $4,1\%$ . Davon ausgenommen ist die Serie C1, welche mit einem Variationskoeffizient von  $\text{COV} = 9,4\%$  signifikant abweicht.

### 7-2.3.2 Maximale Kraft $F_{\text{max}}$

Mit Ausnahme der Serie C1 ( $F_{\text{max,mean}} = 16,7\text{ kN}$ ;  $\text{COV} = 9,95\%$ ;  $F_{\text{max,char.}} = 9,95\text{ kN}$ ) zeigen die Mittelwerte der maximalen Kraft von  $F_{\text{max,mean}} = 17,3$  bis  $20,7\text{ kN}$  in derselben Größenordnung befindliche Werte. Der Variationskoeffizient dieser Prüfserien ergab dabei einen  $\text{COV} = 12,1\%$  bis  $16,6\%$ . Die charakteristischen Werte nach ÖNORM EN 14358 weisen einen Wertebereich zwischen  $F_{\text{max,char.}} = 12,1\text{ kN}$  bis  $16,6\text{ kN}$  auf.

### 7-2.3.3 Verformung $w$ bei $F_{\text{max}}$

Wie man den Kraft-Verformungs-Diagrammen entnehmen kann beschreibt das Erreichen der maximalen Kraft das Versagen bzw. den Bruch des Prüfkörpers und damit das Ende der Prüfung. Es war zu erwarten, dass die Verformung  $w$  bei sämtlichen Scherprüfungen in einer ähnlichen Größenverteilung liegen. Der Mittelwert dieser Verformung ändert sich mit  $w_{\text{mean}} = 1,88\text{ mm}$  bis  $2,7\text{ mm}$  geringfügig. Auch der Variationskoeffizient der geprüften Serien zeigt mit Ausnahme der Serie D2 ( $\text{COV} = 41,5\%$ ) eine Verteilung der Werte von  $\text{COV} = 20,5$  bis  $33,8$ .

### 7-2.3.4 Schubfestigkeit nach EN 14080

Die Scherfestigkeit der Serien mit einem Verhältnis zur maximalen Flächen in Bezug auf die aktuellen Regelungen in ÖNORM B 1995-1-1:2015 von  $1,00$  bis  $2,94$  erzielen eine mittlere Scherfestigkeit von  $f_{v,\text{mean}} = 6,67\text{ N/mm}^2$  bis  $8,28\text{ N/mm}^2$ . Der Variationskoeffizient dieser Serien ergab sich zu  $\text{COV} = 11,1\%$  bis  $17,5\%$ , wobei hier neben der Serie C1 ( $\text{COV} = 23,3\%$ ), die Werte der Serie A0 und D0 ( $\text{COV} = 16,4\%$  und  $17,5\%$ ) auffällig abweichen. Die Werte wurden entsprechend ÖNORM EN 14358 für Scherversuche bestimmt. Dabei ergaben sich für die oben besprochenen Serien Scherfestigkeiten zwischen  $f_{v,\text{char.}} = 4,84\text{ N/mm}^2$  bis  $6,64\text{ N/mm}^2$ . Dabei ist der niedrige Wert von  $f_{v,\text{char.}} = 4,84\text{ N/mm}^2$  der Serie D0 zuzuordnen. Außerdem ist die charakteristische Schubfestigkeit der Serie C1 mit  $f_{v,\text{char.}} = 3,98\text{ N/mm}^2$  erwähnenswert.

Insgesamt hatten  $22/282$  ( $\sim 8\%$ ) Prüfkörper die Scherfestigkeitsgrenze von  $6\text{ N/mm}^2$  nicht erreicht. Die elf Prüfkörper der Serie C1 sind hierbei nicht eingerechnet. Dabei fallen speziell die Serien A0, B2, B2 und C0 mit vier bzw. sechs Probekörpern auf, die dieser Schubfestigkeit nicht genügten. Dem hinzu kommen zwei Prüfkörper der Serie D0 (drei der Serie C1), welche die absolute Mindestanforderung nach ÖNORM EN 14080 von  $4\text{ N/mm}^2$  bei  $100\%$  Faserbruchanteil nicht einhalten konnten.

### 7-2.3.5 Klebefugendicke

Den Messergebnissen mit einer Genauigkeit von  $0,05\text{ mm}$  kann eine mittlere Klebefugendicke von  $k_t = 0,20\text{ mm}$  bis  $0,22\text{ mm}$  entnommen werden. Erneute Ausnahme bildet die Serie C1 ( $\text{COV} = 23,0\%$ ) mit einer Klebefugendicke von  $k_t = 0,24\text{ mm}$ . Daraus lässt sich eine homogene Verteilung dieser Kenngröße ableiten. Der Variationskoeffizient schwankt dabei zwischen  $\text{COV} = 10,9\%$  bis  $22,2\%$ , wobei der erstgenannte Wert der Serie B0 auffällt. Zwei von insgesamt  $282$  Prüfkörper weisen eine Klebefugendicke

größer als 0,3 mm auf. Die Klebefugendicke für PU-Klebstoffe von 0,3 mm kann damit im Allgemeinen eingehalten werden. Zusätzlich haben zwei Prüfkörper der Serie C1 diese Grenzdicke überschritten.

### 7-2.3.6 Faserbruchanteil

Der Faserbruchanteil (FBA) der geprüften Serien weist durchschnittlich Werte zwischen  $FBA_{\text{mean}} = 83,6 \%$  bis  $97,8 \%$  auf. Dabei ist der niedrige Wert der Serie D2 ( $FBA_{\text{mean}} = 83,6 \%$ ) zuzuordnen. Der Variationskoeffizient schwank dabei im Wertebereich zwischen  $COV = 6,07 \%$  bis  $37,4 \%$  stark. Insgesamt 42 Prüfkörper hatten einen Faserbruchanteil kleiner als  $74 \%$ . Davon sind 16 Prüfkörper der Serie C1 und 9 Prüfkörper der Serie B2 zuzuschreiben.

## 7-3 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

### 7-3.1 KOPFDURCHZIEHPRÜFUNGEN

#### 7-3.1.1 Kopfdurchziehparameter für Holz- bzw. Holzwerkstoffe aus Fichte nach ÖNORM EN 1383

In der nachstehenden Abbildung 7-2 wird der Kopfdurchziehparameter in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers sämtlicher geprüfter Serien aus Fichte dargestellt. Obwohl zwischen den geprüften unterschiedlichen Produkten (ein- und dreischichtige Massivholzplatten, Sperrholz, KERTO-S) unterschiedliche Kopfdurchziehparameter auftreten, wurde aufgrund der Ergebnisverteilung der pragmatische Weg gewählt alle Prüferien zu Fichte in einer Gruppe zusammenzufassen. Die einhüllende Kurve stellt damit ein „worst-case“ für Produkte aus Fichte dar. Für die Ergebnisse der Auswertung nach ÖNORM EN 1383 [50] ist prinzipiell zu erkennen, dass die Kopfdurchziehfestigkeit mit größer werdendem Kopfdurchmesser sinkt. Dieser Trend ist sowohl für Senk- als auch Tellerkopfschrauben zu beobachten. Ein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Schraubenkopftypen ist dabei nicht zu erkennen. Mit Hilfe der punktierten (roten) Linie kann die charakteristische Kopfdurchziehfestigkeit bis zum Vorliegen weiterer Ergebnisse für Holz- bzw. Holzwerkstoffe aus Fichte mit der folgenden Potenzfunktion (gültig für Schraubenkopfdurchmesser von 9 mm bis 22 mm) ausreichend beschrieben werden

$$f_{\text{head,k}} = 41,2 \cdot d_{\text{head}}^{-0,44} \quad (15)$$

Dabei sind:

- $f_{\text{head,k}}$  ..... charakteristische Kopfdurchziehfestigkeit [N/mm<sup>2</sup>]
- $d_{\text{head}}$  ..... Schraubenkopfdurchmesser [mm]

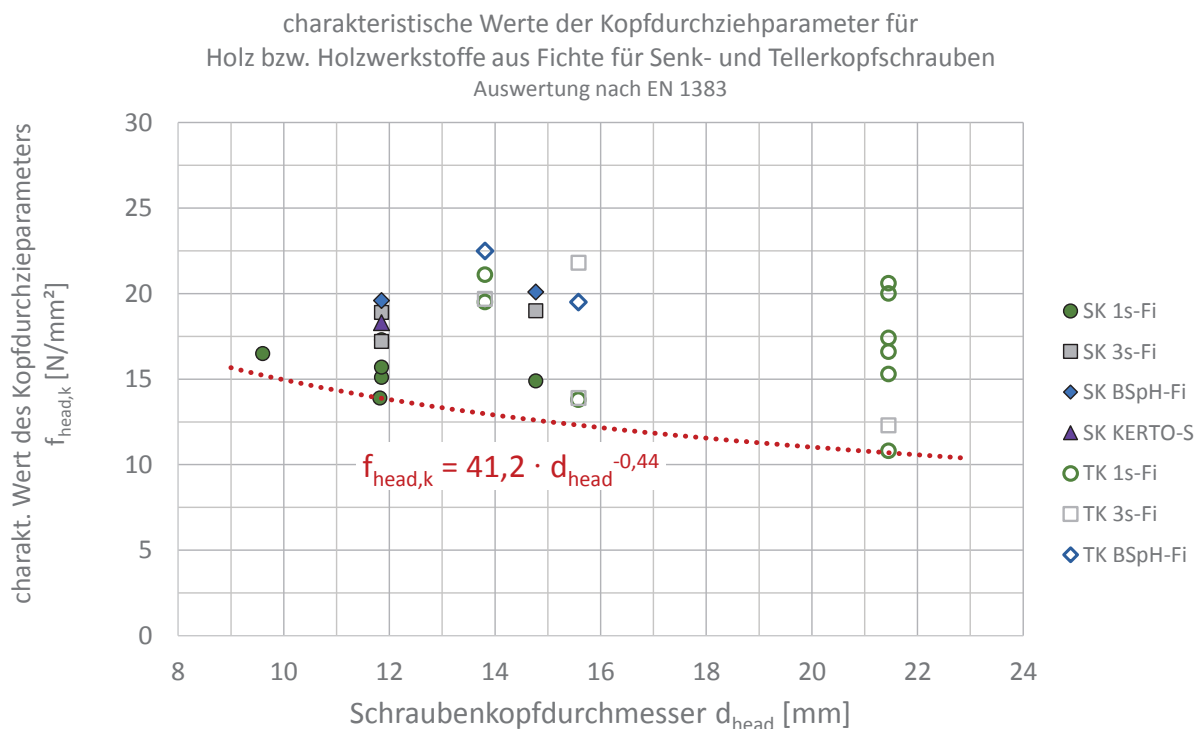


Abbildung 7-2: *Kopfdurchziehfestigkeit von Holz und Holzwerkstoffen aus Fichte in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers nach ÖNORM EN 1383*



### 7-3.1.2 Kopfdurchziehparameter für Holz- bzw. Holzwerkstoffe aus Fichte mit absolutem Verformungswert

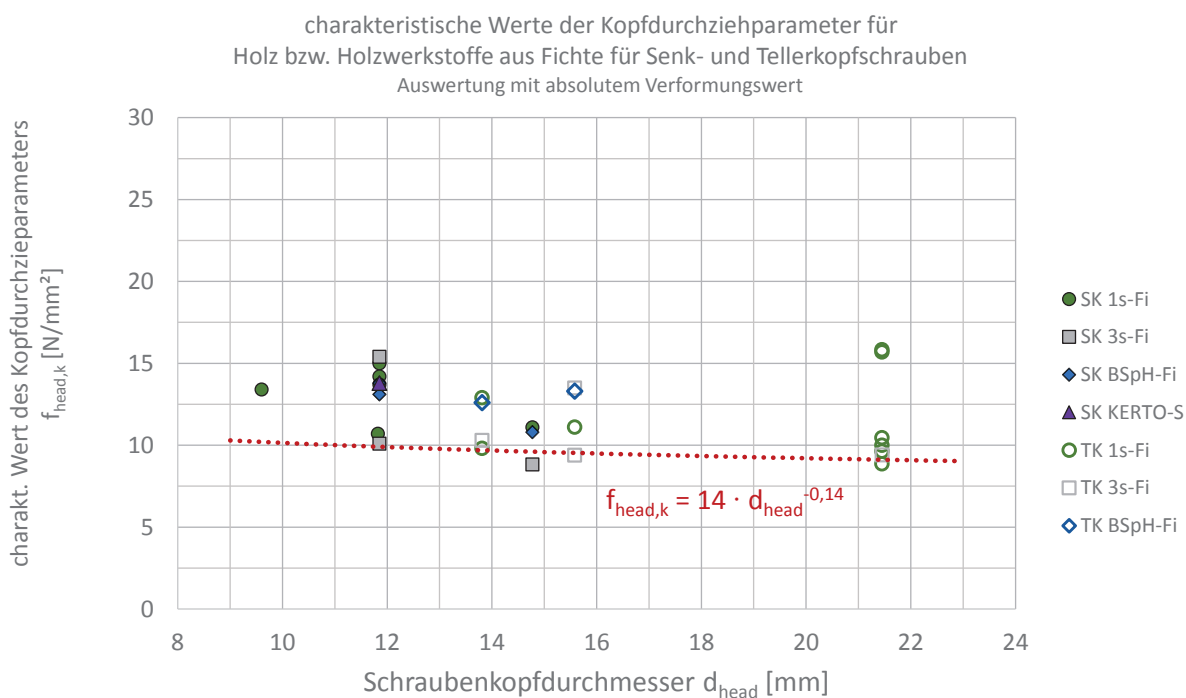
Wie in Abschnitt 6-2 angesprochen, verteilen sich die Ergebnisse der Kopfdurchziehfestigkeit bei absolutem Verformungsbeiwert sehr homogen. Mit Abbildung 7-3 sind die Auswirkungen im Vergleich zur Auswertung nach ÖNORM EN 1383 deutlich zu erkennen.

Die Kopfdurchziehfestigkeit der Senk- und Tellerkopfschrauben aus Fichte weisen einen deutlich geringeren Streubereich auf. Anhand der punktierten (roten) Linie werden die Mindestkopfdurchziehfestigkeiten bei absolutem Verformungsbeiwert  $w$  beschrieben. Dabei ist eine, mit steigendem Kopfdurchmesser, leicht fallende Tendenz zu erkennen, welche sich aufgrund der unterschiedlichen Auswertestellen der Verformung bei 5,5 mm, 6,0 mm oder 7,0 mm erklären lässt. Somit verbleibt ein geringer Einfluss der Bauteildicke. Es ist davon auszugehen, dass bei der Auswertung mit einem einheitlichen Verformungswert ein konstanter Wert für den Kopfdurchziehparameter erzielt wird.

Die Kopfdurchziehfestigkeit für Holz und Holzwerkstoffe aus Fichte lässt sich für eine Auswertung bei absoluter Verformung  $w$  für Schraubenkopfdurchmesser von 9 mm bis 22 mm wie folgt beschreiben

$$f_{\text{head,k}} = 14 \cdot d_{\text{head}}^{-0,14} \quad (16)$$

Aufgrund des nicht klar zu definierenden Unterschieds des Durchziehparameters zwischen Senk- und Tellerkopfschrauben wird vorgesehen die in Abbildung 7-2 bzw. Abbildung 7-3 eingetragenen Funktionen bis zum Vorliegen weiterer Ergebnisse zu verwenden.



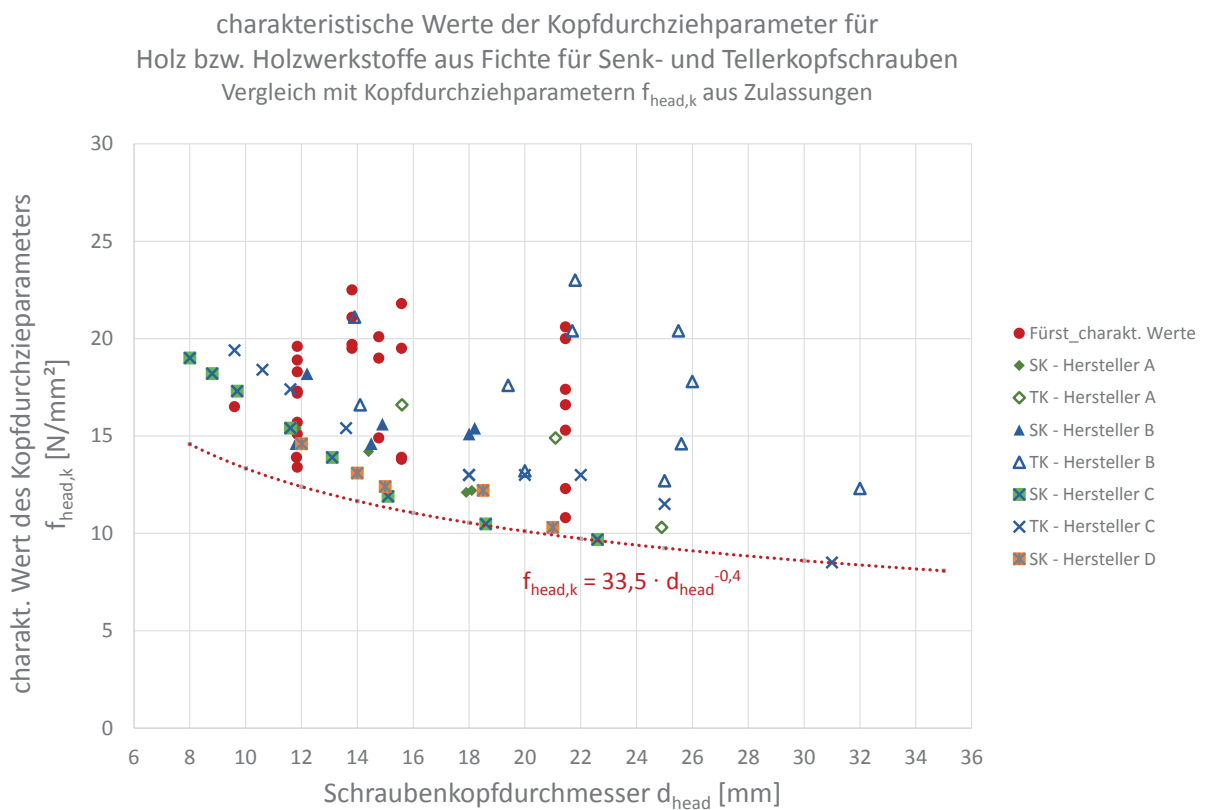
**Abbildung 7-3:** *Kopfdurchziehfestigkeit von Holz und Holzwerkstoffen aus Fichte in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers bei absolutem Verformungsbeiwert*

### 7-3.1.3 Kopfdurchziehparameter für Holz- bzw. Holzwerkstoffe aus Fichte nach ÖNORM EN 1383 | Schraubenzulassungen

In Abbildung 7-4 werden die charakteristischen Werte der Kopfdurchziehfestigkeit, welche aus unterschiedlichen Schraubenzulassungen entnommen wurden, in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers veranschaulicht. Es ist festzuhalten dass es sich hier um charakteristische Festigkeitskennwerte handelt, welche nach ÖNORM EN 1383 ausgewertet wurden. Wie bereits besprochen, ist mit dieser Auswertemethode eine, mit steigendem Kopfdurchmesser, fallende Kopfdurchziehfestigkeit zu erkennen. Durch Einbeziehen unterschiedlicher Angaben aus den Schraubenzulassungen und den Kopfdurchziehparametern für Holz und Holzwerkstoffe aus Fichte aus dieser Arbeit, können die charakteristischen Werte des Kopfdurchziehparameters in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers zwischen 9 mm bis 22 mm mit der Funktion

$$f_{\text{head,k}} = 33,5 \cdot d_{\text{head}}^{-0,4} \quad (17)$$

beschrieben werden. Mit dieser Funktion wird die Kopfdurchziehfestigkeit annähernd gleich beschrieben wie mit der Gleichung (15).



**Abbildung 7-4:** *Kopfdurchziehfestigkeiten unterschiedlicher Schraubenzulassungen und die Ergebnisse dieser Arbeit von Holz und Holzwerkstoffen aus Fichte in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers*

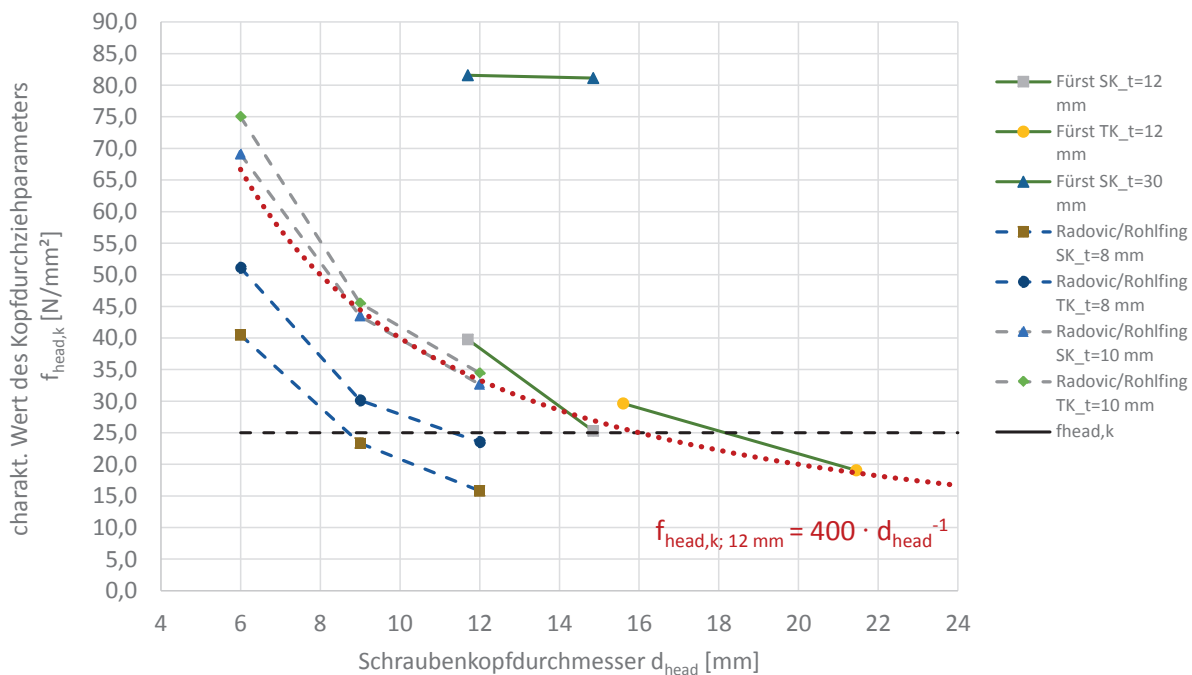
### 7-3.1.4 Kopfdurchziehparameter für Baufurniersperrholz aus Buche nach ÖNORM EN 1383

Aus Abbildung 7-5 sind die Kopfdurchziehfestigkeiten von Baufurniersperrholz aus Buche in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers zu entnehmen. Die eingetragenen Daten stammen zum einen aus einem Forschungsbericht [54] bezüglich des Einflusses des Nagelkopfes beim Durchziehen von unterschiedlichen Plattenwerkstoffen und zum anderen aus den Prüfergebnissen dieser Arbeit. [54] Mit der Funktion

$$f_{\text{head,k}} = 400 \cdot d_{\text{head}}^{-1}, \quad (18)$$

wird der Zusammenhang der sinkenden Kopfdurchziehfestigkeit bei steigendem Kopfdurchmesser für Plattendicken von rund 12 mm beschrieben. Bei diesem Werkstoff ist eine deutliche Abhängigkeit der Prüfkörperdicke zu erkennen. Aufgrund der großen Dickenunterschiede (8 mm bis 30 mm) streuen die Festigkeitskennwerte teilweise stark. Zusammenfassend kann für Baufurniersperrhölzer aus Buche, unabhängig des Schraubenkopfdurchmessers, bei einer Bauteildicke von  $t \geq 12$  mm eine Kopfdurchziehfestigkeit von  $25 \text{ N/mm}^2$  angesetzt werden.

charakteristische Werte der Kopfdurchziehparameter für  
Baufurniersperrholz aus Buche für Senk- und Tellerkopfschrauben  
Auswertung nach EN 1383

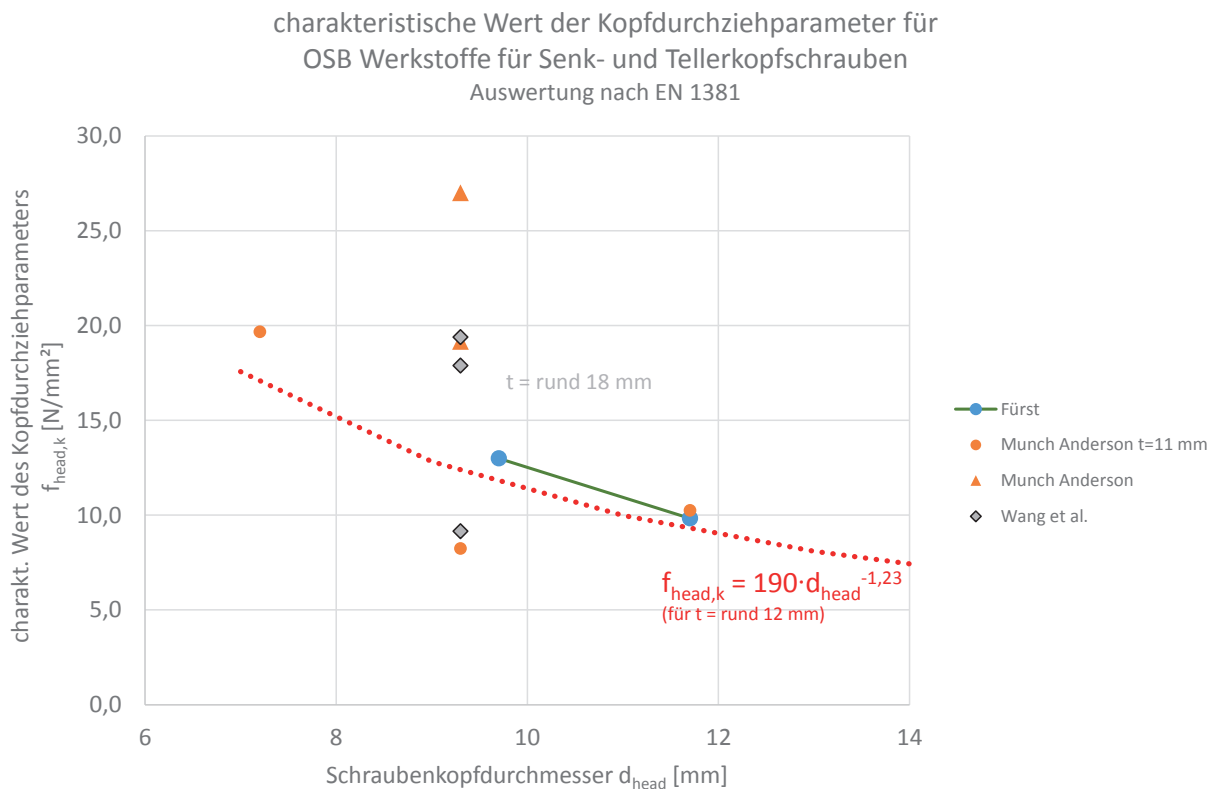


**Abbildung 7-5:** *Kopfdurchziehfestigkeiten von Radovic und den Ergebnissen dieser Arbeit von Holzwerkstoffen aus Baufurnier aus Buche in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers [54]*

### 7-3.1.5 Kopfdurchziehparameter für OSB-Produkte nach ÖNORM EN 1383

In Abbildung 7-6 sind charakteristische Werte des Kopfdurchziehparameters aus den Berichten von Munch Andersen, Weng, Salenikovitch sowie die Ergebnisse dieser Arbeit dargestellt [55], [56]. Ähnlich wie zuvor, ist für OSB-Werkstoffe ein deutlicher Abfall des Durchziehparameters mit größer werdendem Kopfdurchmesser festzustellen. Aufgrund der gesammelten Daten kann für OSB-Platten die Kopfdurchziehfestigkeit in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers für eine Bauteildicke von  $t = 12$  mm und Schraubenkopfdurchmesser zwischen 7 mm bis 12 mm wie folgt beschrieben werden

$$f_{\text{head,k}} = 190 \cdot d_{\text{head}}^{-1,23} \quad (19)$$



**Abbildung 7-6:** *Kopfdurchziehfestigkeiten von Munch Anderson, Wang et al. und den Ergebnissen dieser Arbeit von OSB in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers [55] [56]*

## 7-3.2 SCHERPRÜFUNGEN

Aus den Ergebnissen der Scherfestigkeit, des damit einhergehenden Faserbruchanteils sowie der Daten der Klebefugendicken, kann festgehalten werden, dass die durchgeführte Schraubpressverklebung, mit Ausnahme der Serien C1 und B2 sowie D2 die Schraubpressverklebung die Anforderungen an die Klebefuge weitgehen erfüllt.

Mit Hilfe der experimentellen Untersuchungen und den daraus resultierenden Ergebnissen kann für streifen- und plattenförmigen Schraubpressverklebungen darauf zurückgeschlossen werden, dass die Erhöhung der Einflussfläche pro Schraube um 100 %, bezogen auf die aktuell normativ festgelegte maximale Fläche (15.000 mm<sup>2</sup>), ohne konkreten Einfluss auf die Scherfestigkeit, den Faserbruchanteil sowie der Klebefugendicke bleibt.

**Tabelle 7-4:** *prozentueller Anteil der Prüfkörper mit unzureichender Scherfestigkeit nach ÖNORM EN 14080 [26]*

	A0	A1	C0	C1	B0
<b>F<sub>Aef</sub><sup>1)</sup></b>	1,00	1,44	1,50	2,16	1,00
<b>Anzahl</b>	32	32	32	32	32
<b>PK mit Versagen<sup>2)</sup></b>	2	2	1	13	0
<b>in [%]</b>	6,25	6,25	3,13	41,6	0

<sup>1)</sup>F<sub>Aef</sub>...Flächenvergrößerungsfaktor im Verhältnis zur maximalen Fläche lt. ÖNORM B 1995-1-1 [1]

<sup>2)</sup> ...Anzahl der Prüfkörper mit unzureichender Scherfestigkeit nach ÖNORM EN 14080 [26]

**Tabelle 7-4:** *prozentueller Anteil der Prüfkörper mit unzureichender Scherfestigkeit nach ÖNORM EN 14080 [26] (Fortsetzung)*

	B1	B2	D0	D1	D2
<b>F<sub>Aef</sub><sup>1)</sup></b>	1,44	1,96	1,50	2,16	2,94
<b>Anzahl</b>	33	32	31	32	28
<b>PK mit Versagen<sup>2)</sup></b>	1	6	2	3	5
<b>in [%]</b>	3,03	18,8	6,45	9,38	18,9

<sup>1)</sup>F<sub>Aef</sub>...Flächenvergrößerungsfaktor im Verhältnis zur maximalen Fläche lt. ÖNORM B 1995-1-1 [1]

<sup>2)</sup> ...Anzahl der Prüfkörper mit unzureichender Scherfestigkeit nach ÖNORM EN 14080 [25]

**Tabelle 7-5:** Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Scherprüfungen nach ÖNORM EN 14080 [5]

Material des Fügeteils	Dicke t [mm]	$F_{char.}^{1)}$ [kN]	$A_{eff}^{2)}$ [mm <sup>2</sup> ]	Fugendicke <sup>3)</sup> [mm]	nicht bestandene Scherprüfungen <sup>4)</sup> [%]	$F_{char.}/A_{eff}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
S-11-18-A0	18	1,27	15.000 $\pm$ 1,0 $\cdot$ A <sub>Norm,max</sub>	0,223	8,3	0,08
S-11-18-A1	18	1,27	21.600 $\pm$ 1,44 $\cdot$ A <sub>Norm,max</sub>	0,245	4,2	0,06
S-14-27-B0	27	2,51	15.000 $\pm$ 1,0 $\cdot$ A <sub>Norm,max</sub>	0,215	0	0,17
S-14-27-B1	27	2,51	21.600 $\pm$ 1,44 $\cdot$ A <sub>Norm,max</sub>	0,232	0	0,12
S-14-27-B2	27	2,51	29.400 $\pm$ 1,96 $\cdot$ A <sub>Norm,max</sub>	0,226	20,8	0,09
S-11-16-C0	16	1,57	22.500 $\pm$ 1,5 $\cdot$ A <sub>Norm,max</sub>	0,235	0	0,07
S-11-16-C1	16	1,57	32.400 $\pm$ 2,16 $\cdot$ A <sub>Norm,max</sub>	0,243	50,0	0,05
S-14-27-D0	27	2,54	22.500 $\pm$ 1,5 $\cdot$ A <sub>Norm,max</sub>	0,224	0	0,11
S-14-27-D1	27	2,54	32.400 $\pm$ 2,16 $\cdot$ A <sub>Norm,max</sub>	0,237	12,5	0,08
S-14-27-D2	27	2,54	44.100 $\pm$ 2,94 $\cdot$ A <sub>Norm,max</sub>	0,220	20,8	0,06

Anmerkungen:

<sup>1)</sup> aufgrund der Relaxation wird die Schraubenkraft aus den Kopfdurchziehprüfungen mit dem Faktor 2/3 abgemindert

<sup>2)</sup> A<sub>eff</sub> beschreibt die effektive Fläche pro Scherprüfkörper

<sup>3)</sup> <sup>4)</sup> n=24 (Prüfkörper aus Standard- und Schraubenbereich)



# KAPITEL 8: THEORETISCHER ANSATZ ZUR BERECHNUNG DER SPV

## 8-1 EINLEITUNG/ALLGEMEINES

---

Elastisch gebettete Balken und Platten werden im Bauwesen vielfach für die Berechnung von Gründungsaufgaben der Geotechnik angewandt. Erstmals wurde dieses Balkenmodell von Winkler im Jahre 1867 verwendet, der mit Hilfe der Theorie des elastisch gebetteten Balkens die Beanspruchung von Eisenbahnschienen berechnete. Das Prinzip des sogenannten „Winkler’schen Balkens“ besteht darin, dass infolge der Verformung des kontinuierlich oder auch diskret gelagerten Balkens diesem eine Bettungskraft des Untergrundes entgegenwirkt.

Mit der Verfügbarkeit moderner und leistungsfähiger Berechnungsmethoden wurde das Prinzip des elastisch gebetteten Balkens auch auf komplexe Modelle übertragen. In fallender Komplexitätsstufe erfolgt dies in Form von

- räumlichen Kontinuumsmodellen
- kontinuierlich gebetteten Elementen
- Randelementen
- Federn

Die Bettungskraft des Untergrundes ergibt sich im einfachsten Fall aus einer Konstante (Bettungsziffer) multipliziert mit der jeweiligen Durchbiegung. Mechanisch gesehen entspricht dies dem Verhalten einer Feder mit der Federkonstante  $k$ .

In diesem Kapitel soll ein theoretischer Ansatz zur Berechnung der Spannungen in der Klebefuge einer Schraubpressverklebung, als auch der damit verbundenen Verformungen im aufzuklebenden Fügeteil entwickelt werden.

Betrachtet man ein „Regelfeld“ einer Schraubpressverklebung, so lässt sich dieses näherungsweise als orthotrope elastisch gebettete Platte interpretieren bzw. modellieren. Der, gedanklich auf Federn gelagerte (gebettete) aufzuklebende Teil, wird dabei durch den, über den Schraubenkopf in die Platte eingepprägten Eigenspannungszustand beansprucht. Die auf Kontakt eingeleiteten Kräfte des Schraubenkopfes (Beanspruchung des Schraubenkopfes und des aufzuklebenden Teils auf Kopfdurchziehen) stehen dabei im Gleichgewicht mit der, über das Schraubengewinde eingebrachten, Beanspruchung auf Herausziehen im Basisbauteil. Beide genannten Belastungen stehen wiederum im Gleichgewicht mit den Spannungen in der Klebefuge.

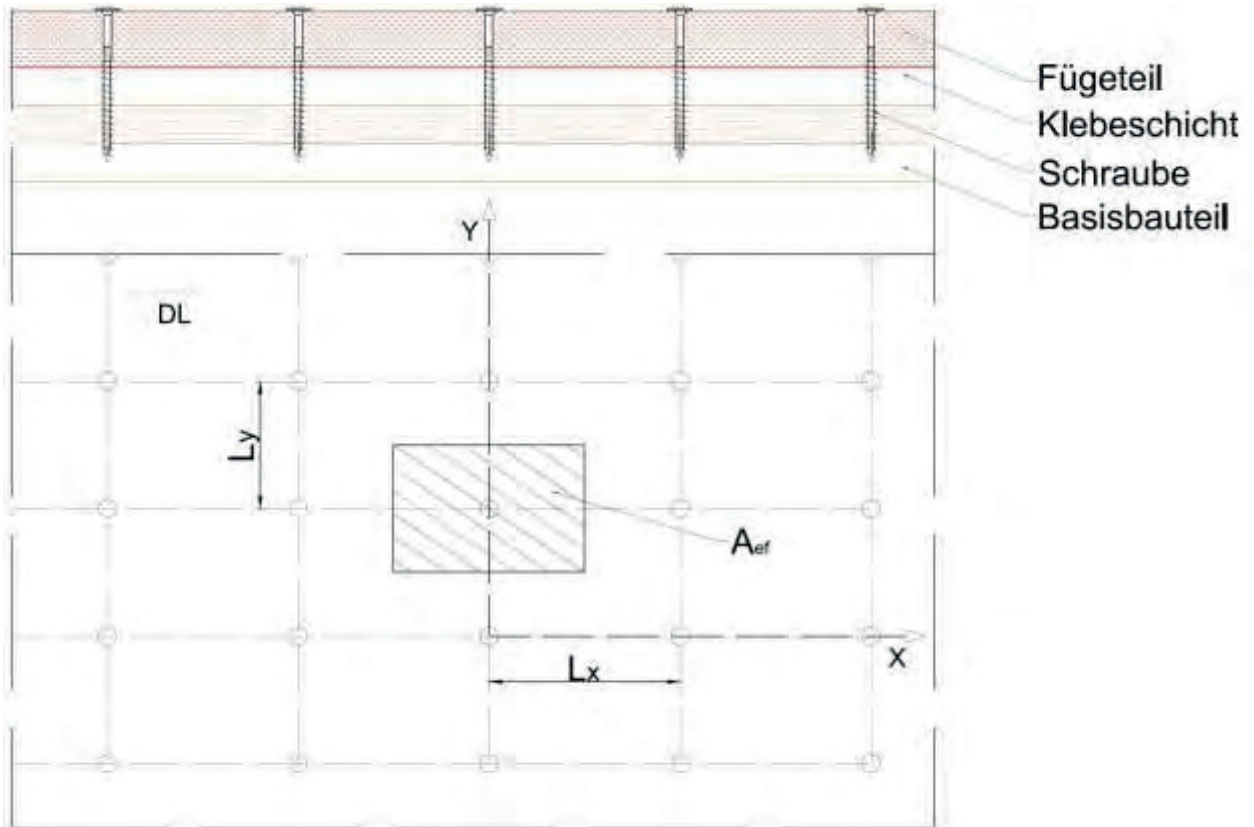


Abbildung 8-1: Grund- und Aufriss eines „Regelfeldes“ bei der Schraubpressverklebung

## 8-2 ORTHOTROPE ELASTISCH GEBETTETE PLATTE

Das orthotrope Materialverhalten von Holz beschreibt dessen Richtungsabhängigkeit, insbesondere sind die Eigenschaften in und quer zur Decklagenrichtung des aufzuklebenden Teils zu berücksichtigen. Um die Schraubpressverklebung und das damit einhergehende Zusammenwirken der Systemkomponenten modellieren und berechnen zu können, wird nachfolgend auf die Theorie der orthotrop elastisch gebetteten Platte zurückgegriffen.

### 8-2.1 PLATTENGLEICHUNG | ORTHOTROP

Die schubstarre, orthotrope Plattengleichung ist wie folgt definiert [57]:

$$B_x \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^4} + 2 \cdot (B_{xy} + 2 \cdot D_{xy}) \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + B_y \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial y^4} = q_z(x, y) \quad (20)$$

mit:

- $B_x$  ..... Biegesteifigkeit in x - Richtung
- $B_y$  ..... Biegesteifigkeit in y - Richtung
- $B_{xy}$  ..... gekoppelte Biegesteifigkeit
- $D_{xy}$  ..... Drillsteifigkeit
- $w(x, y)$  ... unbekannte Durchbiegungsfunktion
- $q_z(x, y)$  .. Belastungsfunktion

### 8-2.2 PLATTENGLEICHUNG | ORTHOTROP, DRILLWEICH

In Gleichung (20) wird die Drillsteifigkeit mit dem Steifigkeitsterm  $2 \cdot (B_{xy} + 2 \cdot D_{xy})$  beschrieben. Die Drillsteifigkeit von, für die Schraubpressverklebung verwendeten HWS-Platten ist vergleichsweise gering.

Für eine orthotrope, drillweiche Platte darf dieser Term näherungsweise vernachlässigt werden. Daraus folgt die Gleichung

$$B_x \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^4} + B_y \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial y^4} = q_z(x, y). \quad (21)$$

Diese Gleichung der orthotropen, drillweichen Platte kann als Differentialgleichung für zwei, sich kreuzende Scharen von Balken aufgefasst werden. Für eine Analogiebetrachtung der an allen vier Plattenrändern gelenkig gelagerten Platten, kann zur näherungsweisen Lösung dieser Gleichung das anschauliche Lastaufteilungsverfahren nach Marcus angewandt werden. Das Vorgehen bei diesem Verfahren wird in Abbildung 8-2 skizziert.

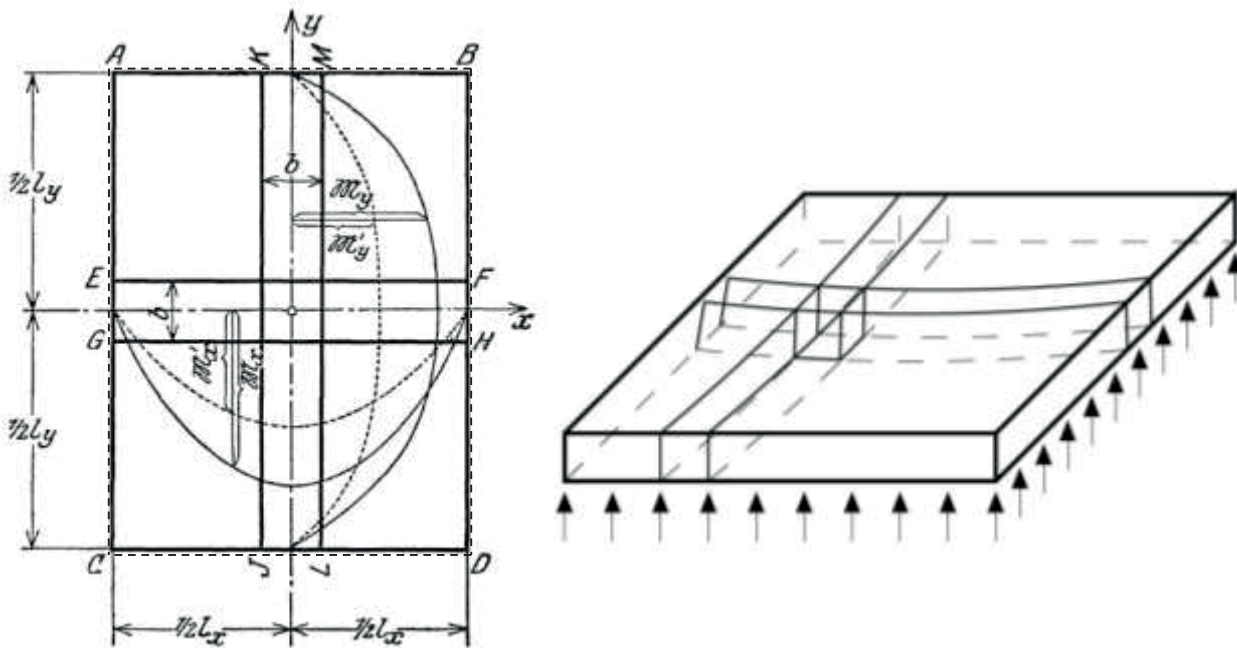


Abbildung 8-2: Lastaufteilungsverfahren nach Marcus (li) und Ansicht einer in Streifen aufgeteilten Platte (re) [58] [59]

Der oben angeführten Systemskizze entsprechend werden kreuzende Plattenstreifen betrachtet. Für den Kreuzungsbereich der Platte kann die Randbedingung aufgestellt werden, dass die Durchbiegung in x- und y- Richtung gleich groß sein muss.

$$w_x = w_y \quad (22)$$

Für eine unter Gleichlast beanspruchte Platte kann in weiterer Folge festgestellt werden, dass die Lastabtragung aus Komponenten in x- und y- Richtung erfolgt.

$$q = q_x + q_y. \quad (23)$$

Für die Durchbiegungen der Balkenscharen in x- und y- Richtung können außerdem die folgenden Gleichungen (Durchbiegung eines Einfeldträgers in Balkenmitte) verwendet werden

$$w_x = \frac{5 \cdot q_x \cdot l_x^4}{384 \cdot (E \cdot I)_x}, \quad (24)$$

$$w_y = \frac{5 \cdot q_y \cdot l_y^4}{384 \cdot (E \cdot I)_y} \quad (25)$$

Mit Hilfe der oben erwähnten Randbedingung, kann man die Durchbiegungen gleichsetzen, wodurch sich folgende Gleichung ergibt

$$w_x = w_y = \frac{5 \cdot q_x \cdot l_x^4}{384 \cdot (E \cdot I)_x} = \frac{5 \cdot q_y \cdot l_y^4}{384 \cdot (E \cdot I)_y} \rightarrow \frac{q_y}{q_x} = \left( \frac{l_x}{l_y} \right)^4 \cdot \frac{(EI)_y}{(EI)_x} \quad (26)$$

Mit der Festlegung, dass die Lastabtragung einer Schraubpressverklebung in x- und y-Richtung optimalerweise gleich sein soll, kann man das Spannweitenverhältnis  $l_y/l_x$  und damit die Schraubenabstände in Faserrichtung und quer dazu bestimmen. Es ergibt sich somit folgendes Verhältnis der Schraubenabstände

$$\frac{q_y}{q_x} = 1 \rightarrow \left( \frac{l_x}{l_y} \right)^4 = \frac{(EI)_y}{(EI)_x} \rightarrow l_y = l_x \cdot \sqrt[4]{\frac{(EI)_y}{(EI)_x}} \quad (27)$$

### 8-2.3 PLATTENGLEICHUNG | ORTHOTROP, ELASTISCH GEBETTET

Die Differentialgleichung der elastisch gebetteten, orthotropen Platte lässt sich wie folgt beschreiben [57].

$$B_x \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^4} + 2 \cdot (B_{xy} + 2 \cdot D_{xy}) \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + B_y \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial y^4} + k_0 \cdot w(x, y) = q_z(x, y) \quad (28)$$

Auch in dieser Gleichung beschreibt der Term  $2 \cdot (B_{xy} + 2 \cdot D_{xy})$  die Drillsteifigkeit der Platte. Diese Steifigkeit ist vergleichsweise gering, sodass dieser Term vernachlässigt werden kann und sich die nachstehende Differentialgleichung ergibt.

### 8-2.4 PLATTENGLEICHUNG | ORTHOTROP, ELASTISCH GEBETTET, DRILLWEICH

Unter Vernachlässigung der Drillsteifigkeit ergibt sich die damit einhergehende Differentialgleichung wie folgt

$$B_x \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^4} + B_y \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial y^4} + k_0 \cdot w(x, y) = q_z(x, y) \quad (29)$$

Mit Hilfe des gezeigten Lastaufteilungsverfahrens nach Marcus, kann die Lösung dieses Plattenproblems auf ein wesentlich einfacher zu handhabendes Balkenproblem zurückgeführt werden. Für dieses sind der Literatur aufbereitete Lösungsverfahren zu entnehmen.

## 8-3 ELASTISCH GEBETTETER BALKEN

### 8-3.1 BALKENTHEORIE

Mit der Verwendung der Balkentheorie nach Euler-Bernoulli kommt es zur Vereinfachung des Systems aufgrund der folgenden Überlegungen:

- Betrachtung von geraden Balken
- keine Verlängerung und Torsion entlang bzw. um die x-Achse
- keine schiefe Biegung

- einfache Querschnitte, keine Verformungen

Bei der Modellierung von Balken werden schubstarre und schubweiche Systeme unterschieden, wobei sich die Theorie des Euler-Bernoulli Balkens auf den klassischen schubstarreren Balken beschränkt. Dies führt folglich zur Vernachlässigung von Verformungen aus Schub- bzw. Querkräften. Bei der Betrachtung eines derartigen Modells treten zwei sogenannten Bernoulli-Hypothesen auf. Zum einen (Bernoulli-Hypothese I) wird davon ausgegangen, dass ein Querschnitt stets normal auf die Balkenachse steht, sowohl vor-, als auch nach der Verformung. Zum anderen wird vorausgesetzt, dass sich die Querschnitte nicht wölben, d.h. es wird das Ebenbleiben des Querschnitts infolge einer Schubbeanspruchung angenommen (Bernoulli-Hypothese II).

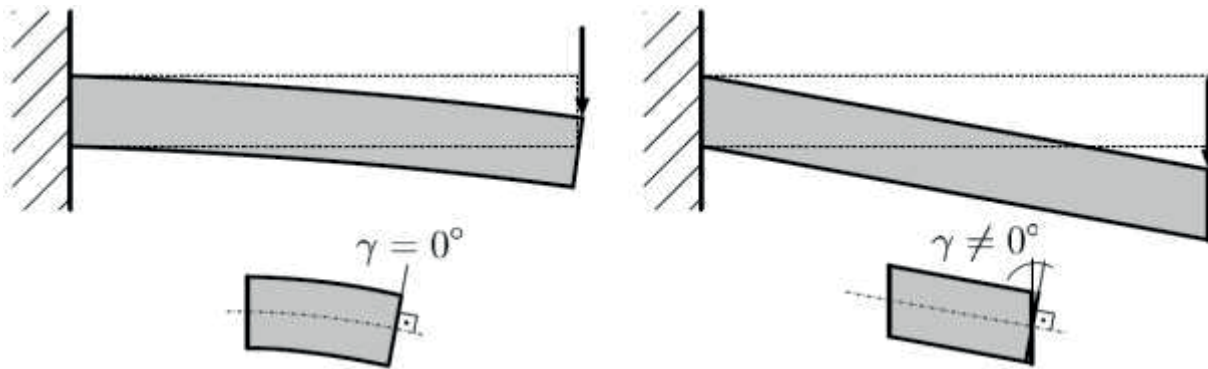


Abbildung 8-3: schubweicher Balken (li) und schubstarrer Balken (re) [60]

Aus Gründen der Anschaulichkeit wird in weiterer Folge auf die Berücksichtigung der Beeinflussung durch die Schubnachgiebigkeit verzichtet.

### 8-3.2 DIFFERENTIALGLEICHUNG | STAB

Nachfolgend wird die Differentialgleichung eines Balkens am System des Einfeldträgers unter Gleichlast abgeleitet. Darauf aufbauend wird in weiterer Folge die Differentialgleichung des elastisch gebetteten Balkens aufgestellt.

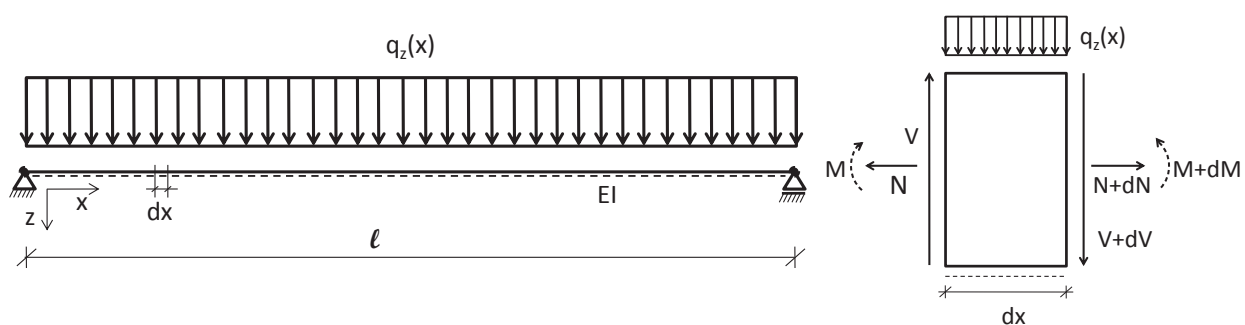


Abbildung 8-4: Balkensystem (li) und Gleichgewichtsbedingungen eines infinitesimal kleinen Balkenelements (re)

#### Gleichgewicht

Aus der Erfüllung der Gleichgewichtsbedingungen und der Kenntnis, der Kleinheit von Größen 2. Ordnung ( $dx^2 \ll$ ) ergeben sich die nachfolgenden Gleichungen

$$\begin{aligned} \sum H &= 0 \\ N + dN - N &= 0 \rightarrow dN = 0 \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \Sigma V &= 0 \\ V + dV - V + q_z(x) \cdot dx &= 0 \end{aligned} \quad (31)$$

$$dV + q_z(x) \cdot dx = 0 \rightarrow \frac{dV}{dx} = -q_z(x)$$

$$\begin{aligned} \Sigma M &= 0 \\ M + dM - M - V \cdot dx + q_z(x) \cdot dx \frac{dx}{2} &= 0 \\ dM - V \cdot dx &= 0 \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \frac{dM}{dx} &= V \dots / \cdot \frac{d}{dx} \\ \rightarrow \frac{d^2 M}{dx^2} &= \frac{dV}{dx} = -q_z(x) \end{aligned}$$

### Kinematik

Mit der nachstehenden Abbildung wird das verformte Balkensystem und das damit einhergehende infinitesimale Element skizziert.

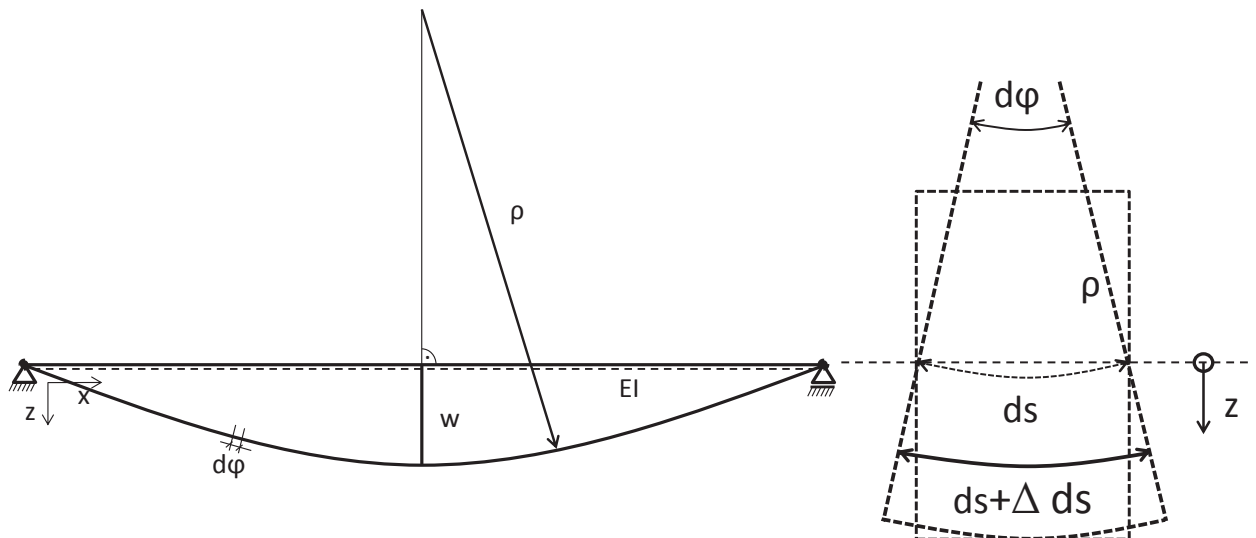


Abbildung 8-5: Kinematik des Balkensystems (li) und infinitesimales Balkenelement (re)

Betrachtet man nun die Kinematik des Balkensystems unter der Annahme eines konstant wirkenden Biegemoments, so ergeben sich die nachstehenden Beziehungen

$$ds = \rho \cdot d\varphi, \quad (33)$$

$$\kappa = (-) \frac{1}{\rho} = \frac{d\varphi}{ds} = \frac{w'''}{(1 + w'^2)^{3/2}} \quad (34)$$

mit



$$\begin{aligned}
 w' &\approx 0 \\
 \rightarrow \frac{d\varphi}{ds} &\approx w'' = \frac{1}{\rho}
 \end{aligned} \tag{35}$$

Aus dem nachstehenden Verhältnis

$$\begin{aligned}
 \frac{ds}{\rho} &= \frac{ds + \Delta ds}{\rho + z} \dots / : ds \\
 \frac{1}{\rho} &= \frac{1 + \frac{\Delta ds}{ds}}{\rho + z}
 \end{aligned} \tag{36}$$

ergibt sich schlussendlich die folgende Beziehung

$$\begin{aligned}
 \rightarrow \rho + z &= \rho \cdot (1 + \varepsilon) \dots / : \rho \\
 1 + \frac{z}{\rho} &= 1 + \varepsilon \\
 \rightarrow \frac{z}{\rho} &= \varepsilon \\
 \rightarrow \frac{1}{\rho} &= \frac{\varepsilon}{z}
 \end{aligned} \tag{37}$$

### Konstitution

Unter Verwendung des Hooke'schen Gesetzes ist es schließlich möglich die Differentialgleichung der Biegelinie für das oben gezeigte System zu formulieren.

$$\begin{aligned}
 \sigma &= E \cdot \varepsilon \\
 \sigma &= \frac{M}{I} \cdot z \\
 \rightarrow \sigma = E \cdot \frac{z}{\rho} = \frac{M}{I} \cdot z &\rightarrow M = EI \cdot \frac{1}{\rho} = EI \cdot w''(x) \dots / 2 \cdot \frac{d}{dx} \\
 \rightarrow \frac{d^2 M}{dx^2} &= \frac{EI \cdot d^4 w(x)}{dx^4} = -q_z(x)
 \end{aligned} \tag{38}$$

## 8-3.3 DIFFERENTIALGLEICHUNG | ELASTISCH GEBETTETER BERNOULLI-EULER STAB

Um die Differentialgleichung eines elastisch gebetteten Balkens abzuleiten, wird das statische System der folgenden Abbildung 8-6 betrachtet.

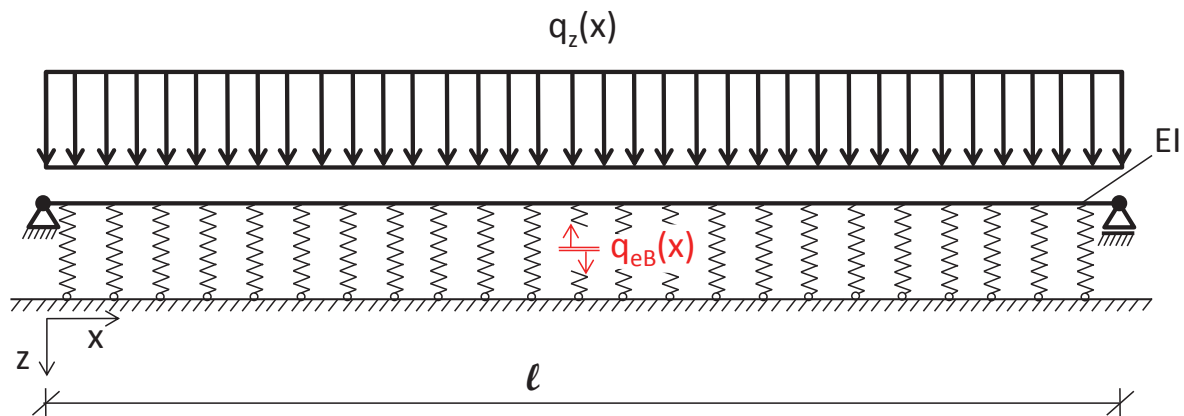


Abbildung 8-6: *elastisch gebetteter Balken*

Aufgrund der elastischen Bettung des aufzuklebenden Teils auf das Basisbauteil, wirken der Belastung  $q_z(x)$  gedanklich unzählige Federn  $q_{eB}(x)$  entgegen. Aus Zusammensetzen dieser Lasten erhält man

$$EI \cdot w^{IV}(x) = p_z(x)$$

wobei

$$p_z(x) = -q_z(x) + q_{eB}(x) \dots \text{und} : q_{eB}(x) = k \cdot w(x)$$
(39)

Dadurch lässt sich die Differentialgleichung wie folgt anschreiben

$$\rightarrow EI \cdot w^{IV}(x) = -q_z(x) + k \cdot w(x)$$

$$\rightarrow EI \cdot w^{IV}(x) - k \cdot w(x) = -q_z(x)$$
(40)

Mit Hilfe dieser Differentialgleichung 4. Ordnung lassen sich unter Einbeziehung von vier Rand- bzw. Symmetriebedingungen die Verformungen bzw. Schnittgrößen im aufzuklebenden Teil einer Schraubpressverklebung modellieren. In den folgenden Abbildung 8-7 und Abbildung 8-8 ist dies anschaulich dargestellt. Die elastische Bettung wurde dabei mit Hilfe einer nachgiebigen Kunststoffmatte simuliert.

Elastisch gebetteter Balken | Steifigkeitsmatrix

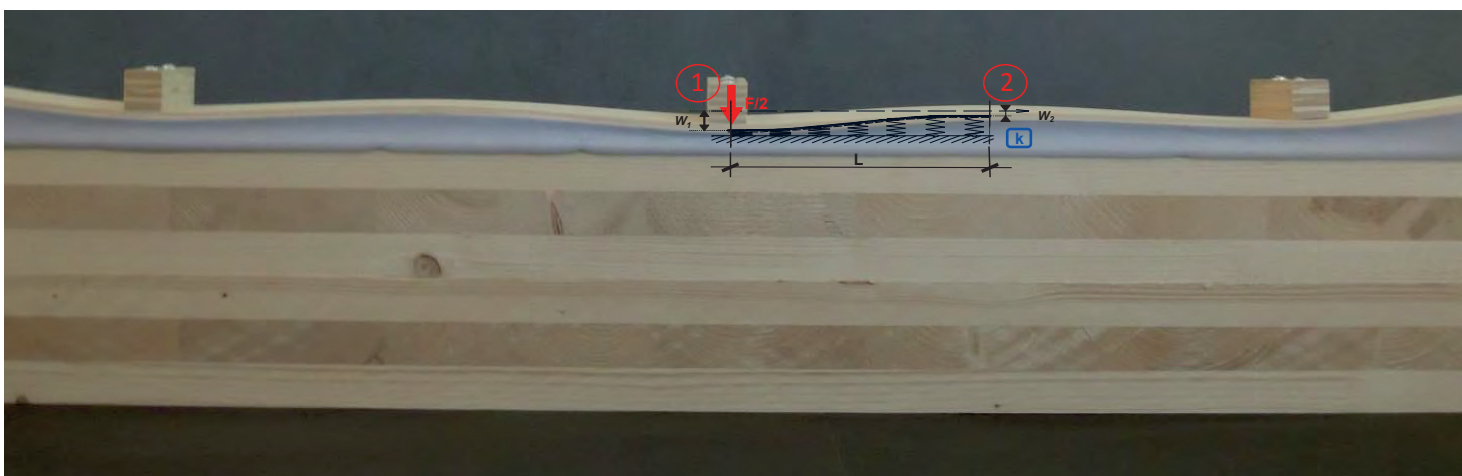


Abbildung 8-7: *Schraubpressverklebung modelliert als elastisch gebetteter Balken*

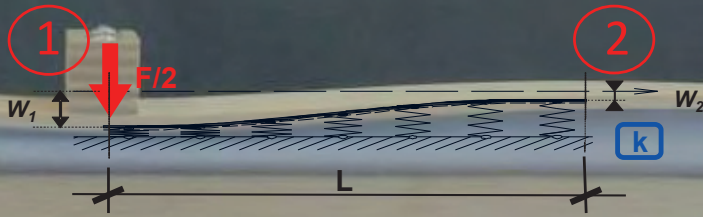


Abbildung 8-8: Detail des elastisch gebetteten Balkens mit Modell des aufzuklebenden Teils

Die Steifigkeitsmatrix des elastisch gebetteten Balkens kann allgemein wie folgt beschrieben werden [61]

$$[K] \cdot [U] = [P]. \quad (41)$$

mit:

$$\begin{cases} [K] & \dots\dots\dots \text{Steifigkeitsmatrix des elastisch gebetteten Balkens} \\ [U] & \dots\dots\dots \text{Verformungsvektor} \\ [P] & \dots\dots\dots \text{Belastungsvektor} \end{cases}$$

Die Steifigkeitsmatrix für den elastisch gebetteten Balken ist dabei, wie nachstehend angeschrieben, definiert

$$[K] = \frac{EI}{\frac{1}{2} \cdot (S^2 - s^2)} \begin{bmatrix} 2 \cdot \beta^2 \cdot (S \cdot C + s \cdot c) & -\beta \cdot (S^2 - s^2) & -2 \cdot \beta \cdot (S \cdot c + C \cdot s) & -2 \cdot \beta \cdot S \cdot s \\ -\beta \cdot (S^2 - s^2) & S \cdot C - s \cdot c & 2 \cdot \beta \cdot S \cdot s & -(S \cdot c - C \cdot s) \\ -2 \cdot \beta \cdot (S \cdot c + C \cdot s) & 2 \cdot \beta \cdot S \cdot s & 2 \cdot \beta \cdot (S \cdot c + C \cdot s) & \beta \cdot (S^2 - s^2) \\ -2 \cdot \beta \cdot S \cdot s & -(S \cdot c - C \cdot s) & \beta \cdot (S^2 - s^2) & S \cdot C - s \cdot c \end{bmatrix}. \quad (42)$$

Dabei sind:

$$k = b \cdot k_0 \quad (43)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot EI}} \quad (44)$$

bzw. die charakteristische Länge

$$l_0 = \frac{1}{\beta} \quad (45)$$

mit den Abkürzungen:

$$\begin{aligned} C & \dots\dots\dots \cosh(\beta \cdot L) \\ c & \dots\dots\dots \cos(\beta \cdot L) \\ S & \dots\dots\dots \sinh(\beta \cdot L) \\ s & \dots\dots\dots \sin(\beta \cdot L) \end{aligned}$$

Verformungen, Verdrehungen sowie Schnittgrößen des elastisch gebetteten Balkens können mit Gleichung (41) für beliebige, diskrete Stellen ausgewertet werden. Zwischen diesen Stellen können weitere interessierende Werte mit Hilfe einer Fortleitungsmatrix des elastisch gebetteten Balkens bestimmt werden. Diese ist wie folgt definiert

$$w(x) = y_0 \cdot F_1(\beta \cdot x) + \frac{1}{\beta} \cdot F_2(\beta \cdot x) - \frac{1}{\beta^2 \cdot EI} \cdot M_0 \cdot F_3(\beta \cdot x) + \frac{1}{\beta^3 \cdot EI} \cdot V_0 \cdot F_4(\beta \cdot x). \quad (46)$$

Mit dem von Bettung- und Stabkennzahl abhängigen Faktor  $\beta$  lassen sich die Hilfsfunktionen F1 bis F4 definieren:

$$F_1(\beta \cdot x) = \cosh(\beta \cdot x) \cdot \cos(\beta \cdot x) \quad (47)$$

$$F_2(\beta \cdot x) = \frac{1}{2} \cdot [\cosh(\beta \cdot x) \cdot \sin(\beta \cdot x) + \sinh(\beta \cdot x) \cdot \cos(\beta \cdot x)] \quad (48)$$

$$F_3(\beta \cdot x) = \frac{1}{2} \cdot \sinh(\beta \cdot x) \cdot \sin(\beta \cdot x) \quad (49)$$

$$F_4(\beta \cdot x) = \frac{1}{4} \cdot [\cosh(\beta \cdot x) \cdot \sin(\beta \cdot x) - \sinh(\beta \cdot x) \cdot \cos(\beta \cdot x)] \quad (50)$$

Für den in Abbildung 8-8 dargestellten Stab lassen sich für ein „Regelement“ die folgenden kinematischen und kinetischen Randbedingungen definieren.

$w'(0) = 0$	horizontale Tangente in Punkt 1
$V(0) = F/2$	Querkraft in Punkt 1 ist halb so groß wie die äußere Last (Symmetrie)
$w'(L) = 0$	horizontale Tangente in Punkt 2
$V(L) = 0$	unter Berücksichtigung der Gleichgewichtsbedingungen (Symmetrie)

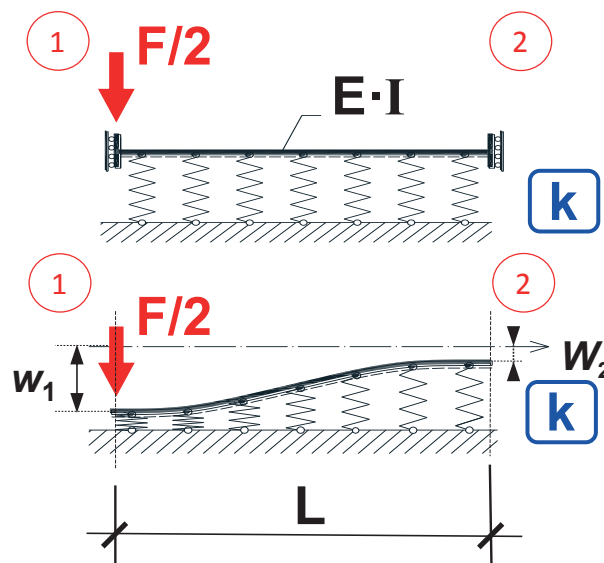


Abbildung 8-9: Kraft/Verformungs-Modell des elastisch gebetteten Balkens [58]

Das mechanische Modell der Schraubpressverklebung ist somit unter Berücksichtigung der getätigten Annahmen vollständig bestimmt. Bei Kenntnis der Biegesteifigkeit EI und der Bettungsziffer k kann daraus der Abstand L bzw. der Abstand der Schrauben  $a_1 = 2L$  (in Faserrichtung der Decklage) sowie  $a_2$  berechnet werden.

Durch Invertieren der Steifigkeitsmatrix [K] und multiplizieren mit dem Belastungsvektor [P] erhält man die Durchbiegungen  $w_1$  und  $w_2$  des Verformungsvektors [U] wie folgt

$$w_1 = y_1 = \frac{F \cdot \beta}{2 \cdot k} \cdot \frac{[\sin(2 \cdot \beta \cdot L) + \sinh(2 \cdot \beta \cdot L)]}{\cos(2 \cdot \beta \cdot L) - \cosh(2 \cdot \beta \cdot L)}, \quad (51)$$

$$w_2 = y_2 = \frac{F \cdot \beta}{2 \cdot k} \cdot \frac{[\cos(\beta \cdot L) \cdot \sin(\beta \cdot L) + \sinh(\beta \cdot L) \cdot \cos(\beta \cdot L)]}{\cos(2 \cdot \beta \cdot L) - \cosh(2 \cdot \beta \cdot L)}. \quad (52)$$

Den maximalen Schraubenabstand erhält man, indem man den Grenzfall untersucht, bei dem  $w_2 = 0$  wird, d.h. jener Abstand bei dem der Kontakt zwischen dem Basisteil und dem aufzuklebenden Teil gerade verloren geht.

$$w_2 = 0 = y_2 = \frac{F \cdot \beta}{2 \cdot k} \cdot \frac{[\cos(\beta \cdot L) \cdot \sin(\beta \cdot L) + \sinh(\beta \cdot L) \cdot \cos(\beta \cdot L)]}{\cos(2 \cdot \beta \cdot L) - \cosh(2 \cdot \beta \cdot L)} = 0. \quad (53)$$

dies führt auf eine Nullstellenbestimmung der folgenden goniometrischen Gleichung

$$\begin{aligned} \rightarrow [\cos(\beta \cdot L) \cdot \sin(\beta \cdot L) + \sinh(\beta \cdot L) \cdot \cos(\beta \cdot L)] &= 0 \\ \rightarrow \beta \cdot L \approx 2,36502 \approx \frac{3 \cdot \pi}{4} \end{aligned}, \quad (54)$$

bzw.

$$L \approx 2,36502 \cdot l_0. \quad (55)$$

#### Elastisch gebetteter Balken | unendlich lang

Vergleichend soll nachfolgend der Abstand der Nullstellen des unendlichen langen elastisch gebetteten Balkens ermittelt werden.

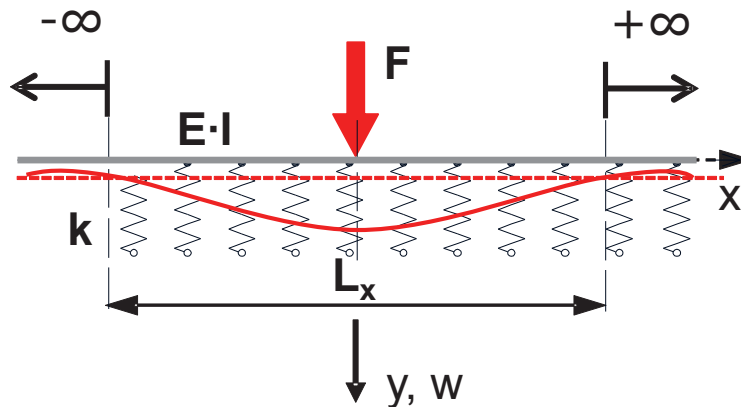


Abbildung 8-10: *elastisch gebetteter Balken | unendlich lang*

Die Differentialgleichung des elastisch gebetteten Balkens ist wiederum

$$EI \cdot w^{IV}(x) + k \cdot w(x) = -q_z(x). \quad (56)$$

Unter Berücksichtigung der folgenden Bedingungen

$$p(x) = -k \cdot w(x)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot EI}} \quad \text{bzw.} \quad (57)$$

$$l_0 = \frac{1}{\beta} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot EI}{k}}$$

mit  
 $l_0$  ...charakteristische Länge des elastisch gebetteten Balkens

ergibt sich schließlich die nachstehende Differentialgleichung des querbelasteten elastisch gebetteten Balkens

$$w^{IV}(x) + 4 \cdot \beta^4 \cdot w(x) = -\frac{q}{EI}. \quad (58)$$

Es lässt sich erkennen, dass es sich um eine inhomogene Differentialgleichung 4. Ordnung handelt. Nachdem bei einer Schraubpressverklebung der partikuläre Anteil Null ist ( $q = 0$ ), wird im Weiteren nur die homogene Teillösung der Differentialgleichung bestimmt.

Mit dem Ansatz  $w(x) = e^{\lambda \cdot x}$  ergibt sich die allgemeine Lösung nach einiger Rechnung zu

$$w(x) = e^{-\beta \cdot x} [C_1 \cdot \sin(\beta \cdot x) + C_2 \cdot \cos(\beta \cdot x)] + e^{\beta \cdot x} [C_3 \cdot \sin(\beta \cdot x) + C_4 \cdot \cos(\beta \cdot x)]. \quad (59)$$

Nachdem die Verformungen für  $x \rightarrow \infty$  endliche Werte annehmen müssen, können die Konstanten zu  $C_3 = C_4 = 0$  bestimmt werden. Die Konstanten  $C_1$  und  $C_2$  folgen aus:

$$w'(x) = 0 \quad (60)$$

und

$$EI \cdot w'''(0) = \frac{F}{2} \quad (61)$$

und können nach einiger Rechnung wie folgt definiert werden

$$C_1 = C_2 = \frac{F \cdot \beta}{2 \cdot k}. \quad (62)$$

Damit lässt sich die folgende Gleichung für die Biegelinie anschreiben

$$w(x) = \frac{F \cdot \beta}{2 \cdot k} \cdot e^{-\beta \cdot x} [\sin(\beta \cdot x) + \cos(\beta \cdot x)]. \quad (63)$$

mit

$$k = b \cdot k_0 \quad (64)$$

Aus der Nullstellenbestimmung ergibt sich für die Länge  $x_{0,1}$  von der Symmetrieachse zur ersten Nullstelle



$$\begin{aligned}
 w(x) &= 0 \\
 \rightarrow \sin(\beta \cdot x) &= -\cos(\beta \cdot x) \rightarrow x_{0,1} = \frac{3 \cdot \pi}{4 \cdot \beta} = 2,356 \cdot \frac{1}{\beta} = 2,356 \cdot l_0 \quad (65) \\
 L_x &= 2 \cdot x_{0,1} = 4,712 \cdot l_0
 \end{aligned}$$

Der Vergleich der mit Hilfe der beiden Modelle

elastisch gebetteten Balken | Symmetrie RB

$$\begin{aligned}
 L &\approx 2,36502 \cdot l_0 \\
 L_x &= 2 \cdot L = 4,73 \cdot l_0 \quad (66)
 \end{aligned}$$

elastisch gebetteter Balken | unendlich lang

$$L_x = 2 \cdot x_{0,1} = 4,712 \cdot l_0, \quad (67)$$

ermittelten Schraubenabstände zeigt, dass der Unterschied für die Praxis vernachlässigbar gering ist. In guter Näherung darf der Abstand zwischen den Schrauben mit Hilfe der Gleichung

$$L_x = \frac{3 \cdot \pi}{2 \cdot \beta} \quad (68)$$

ermittelt werden.

### 8-3.4 BESTIMMUNG DER BETTUNGSZIFFER

Aus der Definition  $\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot EI}}$  bzw. der sogenannten charakteristischen Länge  $l_0 = \frac{1}{\beta} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot EI}{k}}$  geht

hervor, dass das Verhalten des elastisch gebetteten Balkens durch die Biegesteifigkeit EI des aufzuklebenden Teils und der Bettungsziffer k determiniert wird. Während die Biegesteifigkeit durch die Verwendung von Bauprodukten mit definierten Eigenschaften gut eingeschätzt werden kann, ist die Bettungsziffer k weit schwieriger zu bestimmen. Prinzipiell kann dies auf experimenteller und theoretische Basis erfolgen.

experimentell

Basierend auf den Zusammenhang für den unendlich langen Balken kann die Bettungsziffer durch Messung der Durchbiegung und der dafür erforderlichen Kraft im Nullpunkt experimentell bestimmt werden. (Glg. (63)) Dabei ist darauf zu achten, dass der aufzuklebende (nicht verklebte) Teil im Zuge der Prüfung am Abheben gehindert wird.

$$w(0) = \frac{F \cdot \beta}{2 \cdot k} \rightarrow w(0) = \frac{F \cdot \sqrt[4]{\frac{b \cdot k_0}{4 \cdot EI}}}{2 \cdot b \cdot k_0} \rightarrow k_0 = \frac{1}{4 \cdot b} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1}{EI}\right) \cdot \left(\frac{F}{w(0)}\right)^4} \quad (69)$$

theoretisch

Die theoretische Bestimmung der Bettungsziffer k erfolgt zielführenderweise unter Verwendung bekannter Kenngrößen. Aufgrund der vorhandenen Beanspruchung bietet sich dazu der E-Modul  $E_{c,90}$  des Basisbauteils bei einer Beanspruchung auf Querdruck an.

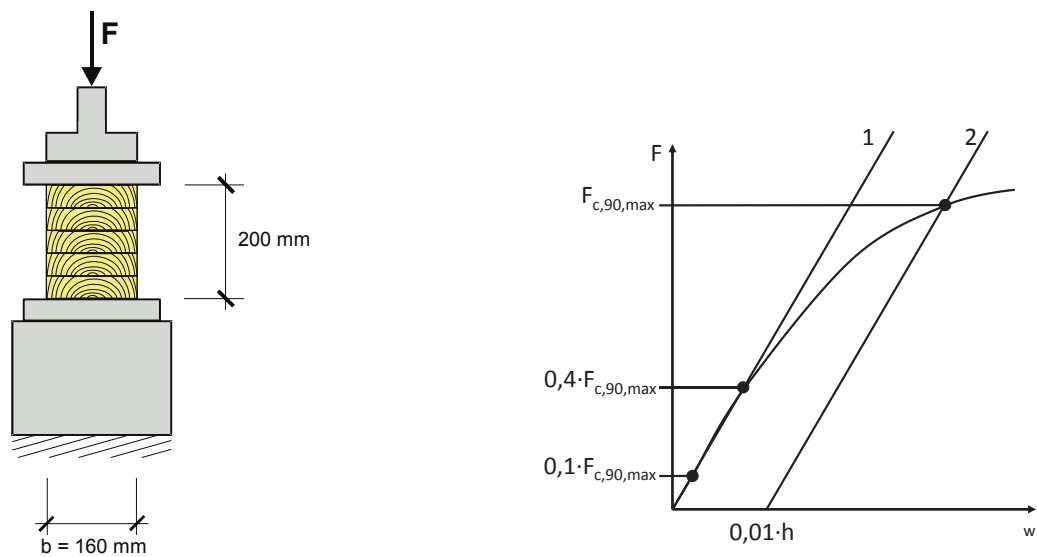


Abbildung 8-11: Querdruckversuch (li) und Kraft/Wegdiagramm bei Querdruckbeanspruchung (re)

Der E-Modul kann dabei auch als Federsteifigkeit gedeutet werden. Aus dem Hooke'schen Gesetz folgt

$$\sigma_{c,90} = E_{c,90} \cdot \varepsilon, \quad (70)$$

bei konstanter Druckkraft ergibt sich

$$\sigma_{c,90} = E_{c,90} \cdot \frac{\Delta h}{h}. \quad (71)$$

Die Federsteifigkeit ergibt sich mit  $\Delta h = 1$  zu

$$k_0 = \frac{E_{c,90}}{h} [N / mm^2]. \quad (72)$$

Im Vergleich zur Prüfsituation wird die Dehnung in den Querrichtungen eines auf den Querdruck beanspruchten Blockes bei der Schraubpressverklebung jedoch durch benachbarte Elemente behindert, d.h. die effektive Steifigkeit eines „Einheitsblockes“ wird sich aufgrund dieses Effektes erhöhen. (Abbildung 8-12) Zusätzlich gilt es zu beachten, dass die Querdruckbeanspruchung beim normgemäßen (ÖNORM EN 408) Prüfkörper über die Höhe konstant bleibt, während sich diese bei der Krafteinleitung einer Schraube annähernd dreiecksförmig über die Gewindelänge verteilt.

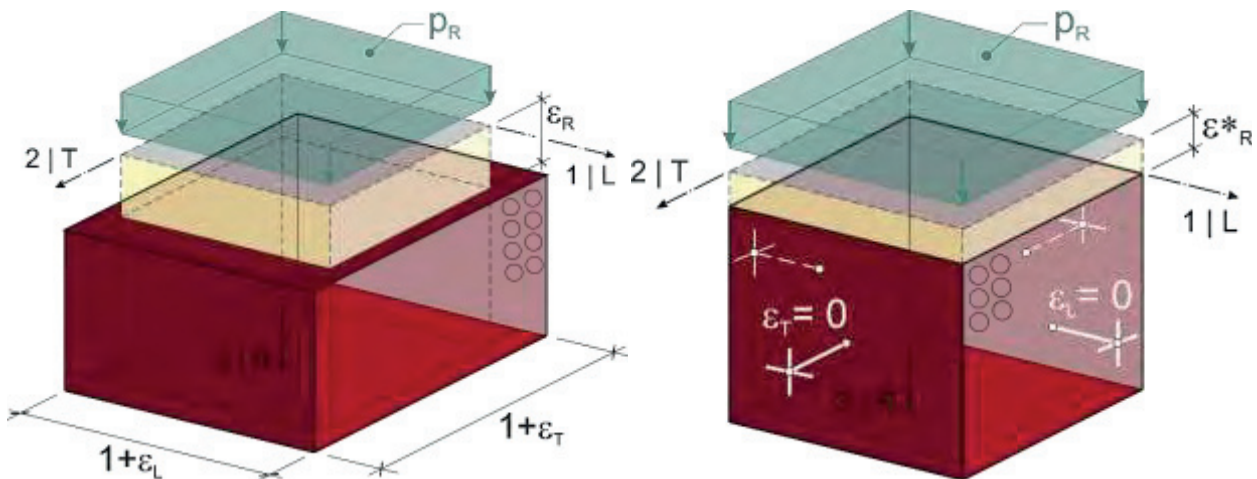


Abbildung 8-12: 3d-„Regelement (ohne (li) und mit Querdehnungsbehinderung (re))“

Die Erhöhung der Dehnsteifigkeit eines auf Querdruck beanspruchten Holzblockes kann aus der Steifigkeitsmatrix wie folgt berechnet werden.

$$\begin{bmatrix} \sigma_L \\ \sigma_T \\ \sigma_R \\ \tau_{LT} \\ \tau_{LR} \\ \tau_{TR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_L \cdot (1 - \nu_{RT} \cdot \nu_{TR})}{\Delta} & \frac{E_L \cdot (\nu_{LT} + \nu_{LR} \cdot \nu_{RT})}{\Delta} & \frac{E_L \cdot (\nu_{LR} + \nu_{LT} \cdot \nu_{TR})}{\Delta} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{E_T \cdot (\nu_{TL} + \nu_{RT} \cdot \nu_{RL})}{\Delta} & \frac{E_T \cdot (1 - \nu_{RL} \cdot \nu_{LR})}{\Delta} & \frac{E_T \cdot (\nu_{TR} + \nu_{LR} \cdot \nu_{TL})}{\Delta} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{E_R \cdot (\nu_{RL} + \nu_{TL} \cdot \nu_{RT})}{\Delta} & \frac{E_R \cdot (\nu_{RT} + \nu_{LT} \cdot \nu_{RL})}{\Delta} & \frac{E_R \cdot (1 - \nu_{LT} \cdot \nu_{TL})}{\Delta} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_{LT} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G_{LR} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G_{TR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_T \\ \varepsilon_R \\ \varepsilon_{LT} \\ \varepsilon_{LR} \\ \varepsilon_{TR} \end{bmatrix} = 0 \quad (73)$$

mit

$$\Delta = 1 - \nu_{LT} \cdot \nu_{TL} - \nu_{LR} \cdot \nu_{RL} - \nu_{TR} \cdot \nu_{RT} - \nu_{LT} \cdot \nu_{TR} \cdot \nu_{RL} - \nu_{TL} \cdot \nu_{RT} \cdot \nu_{LR} \quad (74)$$

Wie oben beschrieben wird die Querkontraktion aufgrund der angrenzenden „Regelblöcke“ verhindert. Demnach gilt für die Verzerrung in Längs- und Tangentialrichtung  $\varepsilon_L = \varepsilon_T = 0$ . Unter Verwendung der nachstehenden Materialkenngrößen ergibt sich der für die Schraubpressverklebung wirksame E-Modul (in radialer Richtung) zu

$$E_{c,90}^* = E_R \cdot \frac{1 - \nu_{LT} \cdot \nu_{TL}}{\Delta} \quad (75)$$

$$E_{c,90}^* = E_R \cdot \frac{1 - \nu_{LT} \cdot \nu_{TL}}{1 - \nu_{LT} \cdot \nu_{TL} - \nu_{LR} \cdot \nu_{RL} - \nu_{TR} \cdot \nu_{RT} - \nu_{LT} \cdot \nu_{TR} \cdot \nu_{RL} - \nu_{TL} \cdot \nu_{RT} \cdot \nu_{LR}}$$

$$E_{c,90,mean}^* \approx 1,42 \cdot E_{c,90,mean} \quad (76)$$

mit:

$$\nu_{LT} = 0,01750$$

$$\nu_{TL} = 0,52500$$

$$\nu_{LR} = 0,02875$$

$$v_{RL} = 0,46000$$

$$v_{TR} = 0,71250$$

$$v_{RT} = 0,38000$$

Abbildung 8-14 (li) zeigt die aus einer FEM-Berechnung gewonnene Verteilung der vertikalen Spannungen im Bereich der Schraube einer Schraubpressverklebung. Anschaulich sind daraus die zur Schraubenspitze hin abfallenden Querdruckverteilungen ersichtlich. Tanahanashi hat den Spannungsabfall in einem Holzblock bei einer Teilflächenpressung untersucht. Mit Hilfe der von Vlasov [62] stammenden Gleichungen, lassen sich die aus der Formfunktion  $\phi(z)$  resultierenden Spannungen berechnen.

Für die Verwendung des Querdruck E-Moduls des Basisteils muss, um den Randbedingungen von  $E_{c,90}$  zu entsprechen, eine konstante Beanspruchung über die Tiefe des Probekörpers vorliegen. Durch Integration der Spannungswerte aus Tanahanashi kann eine „wirksame“ Tiefe bestimmt werden, in der die durch die Schraube eingebrachte Gleichgewichtskraft wirkt. Mit der nachstehend skizzierten Überlegung, soll die Ermittlung von  $k_0$  und in weiterer Folge die Bestimmung des Vorfaktors verdeutlicht werden.

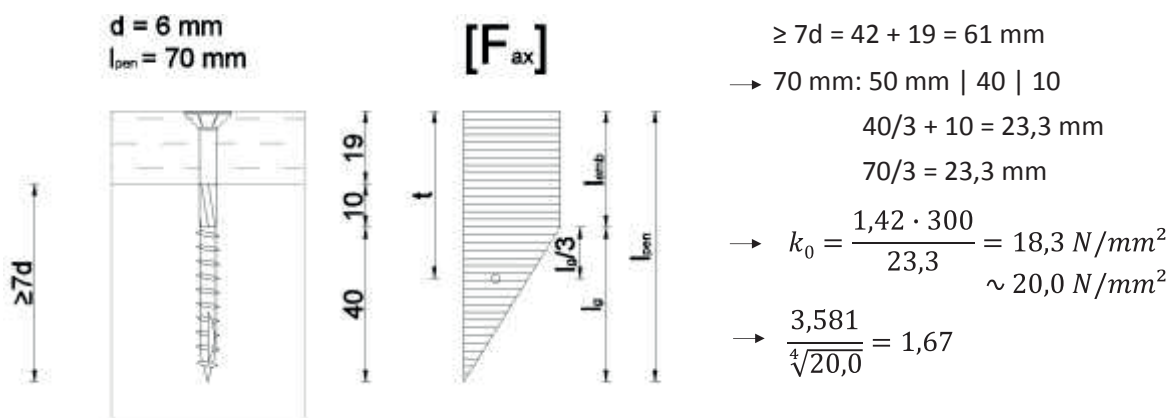


Abbildung 8-13: Skizze zur Bestimmung von  $t$ ,  $k_0$  und dem Vorfaktor

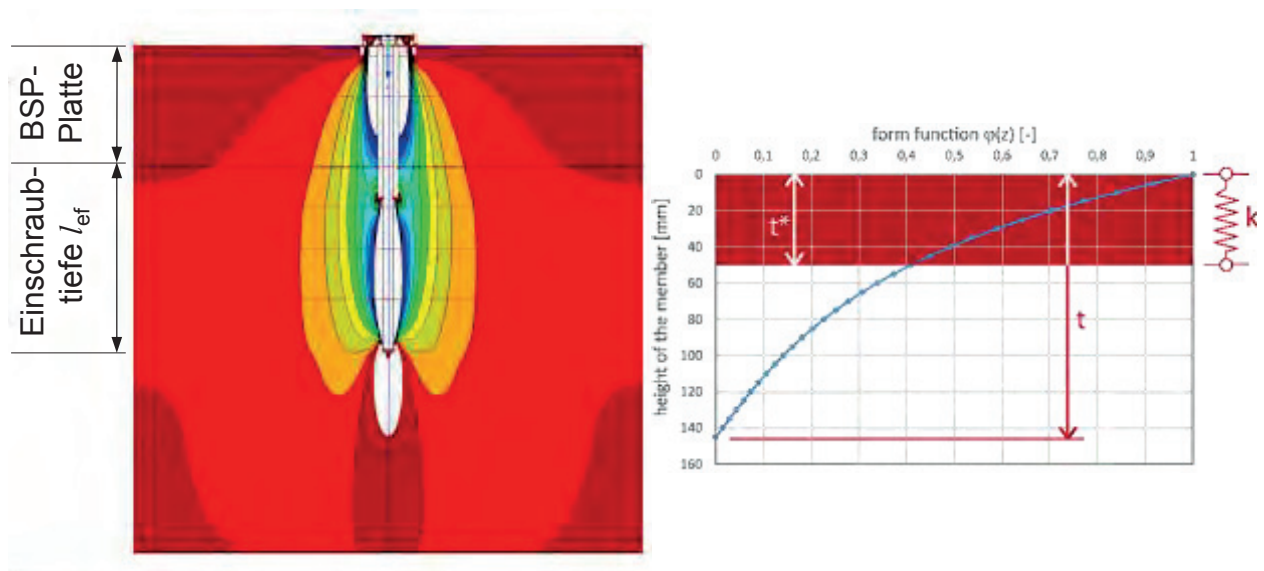


Abbildung 8-14: Verteilung der vertikalen Spannungen im Bereich der Schraube einer Schraubpressverklebung (li) [K. Bratulic] und Verlauf der Schraubenkraft über die Tiefe (im Gewindebereich) sowie „wirksame“ Tiefe mit konstanter Kraft [M. Augustin] [2]

Durch die theoretische Betrachtung mit Hilfe der Kontinuumsmechanik kann laut Tanahanashi  $k_0$  wie folgt bestimmt werden

$$\theta = \frac{\sinh\left[\eta \cdot \left(1 - \frac{z}{H}\right)\right]}{\sinh(\eta)}$$

$$\eta \approx 1,5 \sim 2,5$$

$$l_g = \frac{[\cosh(\eta) - 1]}{\eta \cdot \sinh(\eta)} \cdot l_g \quad (77)$$

$$\rightarrow l_g \approx (0,423 - 0,339) \cdot l_g \approx \frac{l_g}{3}$$

$$\rightarrow t \approx \frac{l_g}{3} + l_{\text{emb}}$$

Für die Schraubpressverklebung gilt es zu beachten, dass steifere Bettungsziffern (und damit kurze Schraubenabstände) mit den kürzesten Einbindelängen einhergehen.

Somit ergibt sich

$$k_0 = \frac{E_{c,90,mean}^*}{t} = 1,42 \cdot \frac{E_{c,90,mean}}{t} \quad (78)$$

Beispielsweise

$$E_{c,90,mean} = 300 \text{ N/mm}^2, \quad (79)$$

$$k_0 = \frac{E_{c,90,mean}^*}{t} = 1,42 \cdot \frac{300}{23,3} = 18,3 \text{ N/mm}^3 \sim 20,0 \text{ N/mm}^3, \quad (80)$$

Unter Berücksichtigung der minimalen Variation der Einbindelängen kann damit näherungsweise für Basisteile aus Voll- und Brettschichtholz  $k_0 = 20 \text{ N/mm}^3$  angesetzt werden. Somit ergibt sich für den maximalen Schraubenabstand

$$L_x = \frac{3}{2} \cdot \frac{\pi}{\beta} = \frac{3}{2} \cdot \pi \cdot l_0 = \frac{3}{2} \cdot \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E_{0,mean,x} \cdot I}{K}}$$

$$L_x = \frac{3}{2} \cdot \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E_{0,mean,x} \cdot b \cdot t^{*3}}{12 \cdot b \cdot k_0}} \quad (81)$$

$$L_x = \frac{3,581}{\sqrt[4]{k_0}} \cdot \pi \cdot \sqrt[4]{E_{0,mean,x} \cdot t^{*3}}$$

mit  $k_0 = 20,0 \text{ N/mm}^3$  ergibt sich der Vorfaktor 1,67 bzw. der maximale Schraubenabstand

$$L_x = 1,67 \cdot \sqrt[4]{E_{0,mean,x} \cdot t^{*3}} \quad (82)$$

### 8-3.5 MINDESTPRESSDRUCK

Für eine ausreichend tragfähige Holzverklebung zu erzielen war/ist seit jeher die Höhe des aufzubringenden Mindestpressdrucks von großer Bedeutung. Dieser ist in verschiedenen Zulassungen und Normen, in Abhängigkeit der Verklebungsart definiert, die unterschiedliche Mindestanforderungen an den Pressdruck stellen. Dem hinzukommen die technischen Merkblätter der Klebstoffhersteller, deren Angaben für die

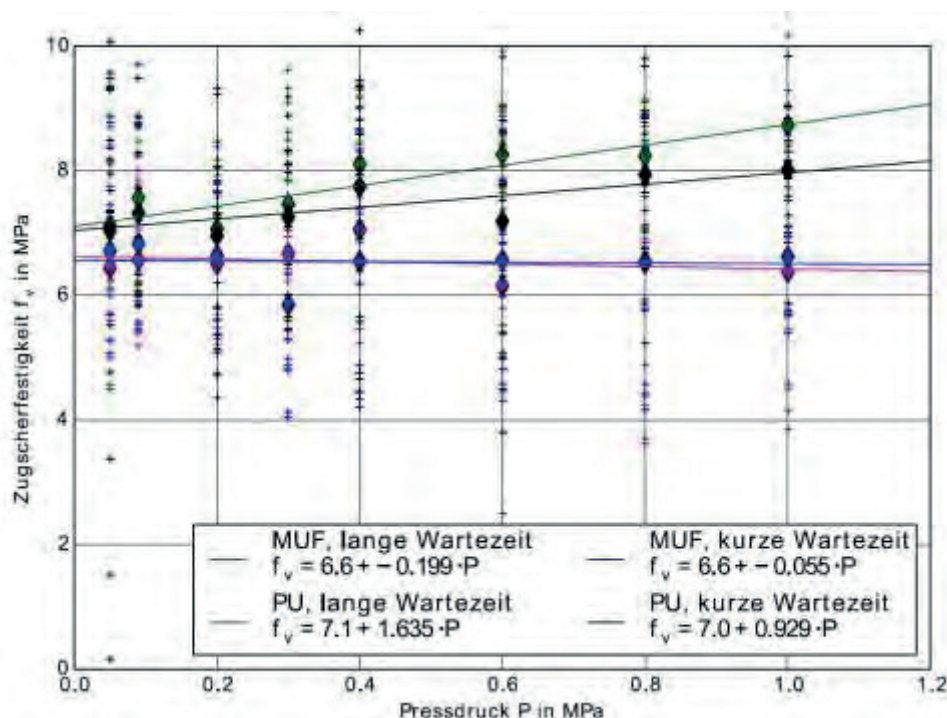
unterschiedlichen Möglichkeiten des Aufbringens und den Produkten abweichende Mindestpressdrücke verlangen. Die nachstehende Tabelle 8-1 zeigt die Spannweite der Pressdrücke.

**Tabelle 8-1:** praxisrelevante Pressdrücke für unterschiedliche Holzprodukte [63]

Verklebungsart	Pressdruck [N/mm <sup>2</sup> ]
Vakuumverklebung von Brettsperrholz	0,08
geklebte Verbundbauteile	mind. 0,30
geklebte Holzwerkstoffplatten, Holzrippen	mind. 0,60
Brettschichtholz	rd. 0,60-0,70
gekrümmtes Brettschichtholz	rd.0,80-0,90
Hartholzverklebung	rd. 1,20

Zur Abklärung der Fragestellung welche Pressdrücke für eine ausreichende Klebefugenfestigkeit erforderlich sind, wurde an der FMPA Stuttgart ein Projekt durchgeführt [63].

Dazu wurde unter anderem die Höhe des Pressdruckes variiert und nachfolgend die erreichte Scherfestigkeit für zwei Klebstofftypen (PU- und MUF-Klebstoff) mit zwei unterschiedlichen Wartezeiten bestimmt. Wie in Abbildung 8-15 dargestellt, stellte sich heraus, dass die erreichte Scherfestigkeit für die MUF-Klebstoffe vom Pressdruck unabhängig ist, während diese für PU-Klebstoffe mit zunehmendem Pressdruck eine steigende Tendenz aufweist.



**Abbildung 8-15:** Abhängigkeit der Scherfestigkeit vom Pressdruck [63]

Zum Überbrücken lokaler geometrischer Unebenheiten, sowie zum Einpressen vom Klebstoff in die Holzoberfläche wird für die Schraubpressverklebung bei ebenen, sauberen und gehobelten Oberflächen der Fügeiteile ein „Basispressdruck“ von mindestens 0,1 N/mm<sup>2</sup> vorgeschlagen. Im Falle vorverformter/gekrümmter Holzbauteile ist zusätzlich ein Pressdruck  $\Delta p$  zur Schließung der Klaffung



aufzubringen. Dieser ist, im Wesentlichen von den Steifigkeiten der Fügeteile abhängig. Im nachfolgenden Abschnitt wird dazu eine ingenieurmäßige Abschätzung gezeigt.

### 8-3.6 VORVERFORMUNG/VERDREHUNGEN DER FÜGETEILE

Aufgrund von geometrischer Unregelmäßigkeit der Bauteiloberflächen, bzw. von Vorverformungen/Krümmungen muss zur Schließung der Klaffung zwischen dem Fügeteil und dem Basisteil, eine Kraft aufgebracht werden. Daten zu Verformungen bzw. Verdrehungen der für eine Schraubpressverklebung eingesetzten Fügeteile sind nur spärlich vorhanden und publiziert.

Einen groben Anhaltspunkt gibt ÖNORM EN 14080, wo festgehalten ist, dass der Stich einer 2 m langen Messlatte für BSH höchstens 4 mm/2 m Messlänge betragen darf. Im Rahmen eines laufenden FFG Projektes an der holz. bau forschungs gmbh Graz wurden In-Situ Messungen von BSP und BSH Elementen in vier Betrieben durchgeführt [64]. Dabei wurde das in der Arbeit von Bauer [65] entwickelte Messsystem angewandt. Vorläufige Ergebnisse daraus können deutlich geringerer Vorverformungen von rund 1 bis 1,5 mm an den Bauteilen feststellen. Für die weitere Abschätzung der zur Schließung der Klaffung erforderlichen Kraft wird daher bei Rippenplatten von einem Stich von 2 mm/2 m ausgegangen. Für platten- oder streifenförmige Schraubpressverklebungen, geht man von einer maximalen Vorverformung von 1 mm/1 m aus.

Mit Hilfe der nachstehenden Skizze und der darauffolgenden Berechnung soll gezeigt werden, welche verschmierte Schraubenkraft notwendig ist, um die Vorverformungen zu kompensieren.

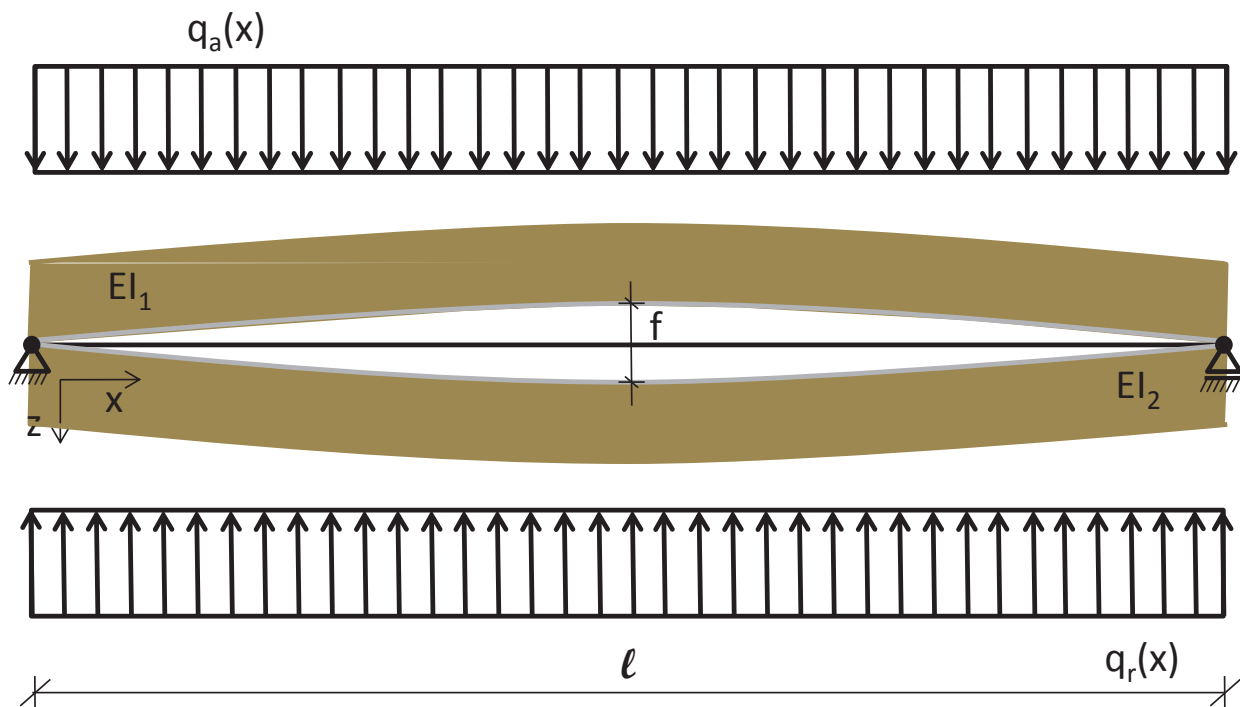


Abbildung 8-16: vorverformte Systemskizze

Der Stich  $f$  ergibt sich aus der Summe der beiden Durchbiegungen  $w_1$  und  $w_2$  der Bauteile 1 und 2  $f = w_1 + w_2$ . Die Verformungen eines Einfeldträgers sind bekanntlich

$$f = w_1 + w_2$$

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EI_1} + \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EI_2} \quad (83)$$

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384} \cdot \left( \frac{1}{EI_1} + \frac{1}{EI_2} \right)$$

Mit der Annahmen, dass  $EI_2 \rightarrow \infty$  wird (sehr hohe Biegesteifigkeit des Basisbauteils) der zweite Term in der Klammer Null. Durch Umformen erhält man schließlich die gesuchte und erforderliche Belastung  $q(x)$  wie folgt

$$q = \frac{384 \cdot EI_1 \cdot f}{5 \cdot l^4} \quad (84)$$

Um die für die Schraubpressverklebung relevante, verschmierte Gleichlast zu bestimmen, wird der Stich mit 1 mm/m definiert. Unter Verwendung eines holzspezifischen E-Moduls und dem Trägheitsmoment des Fügebauteils lässt sich die Belastung bestimmen.

Mit den nachfolgenden Beispielen soll die Anwendung des vorgeschlagenen Modells zur Festlegung der Schraubenabstände der Schraubpressverklebung gezeigt werden.

### 8-3.7 BEISPIEL 1

Angaben:

Einschichtige Massivholzplatte aus Fichte ( $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ ) als aufzuklebender Teil

$t_x^* = t_y^* = 19 \text{ mm}$	(Ersatz-) Dicke des aufzuklebenden Teils
$E_{0,\text{mean},x} = 10.000 \text{ N/mm}^2$	mittlerer E-Modul parallel zur Faserrichtung
$E_{90,\text{mean},y} = 300 \text{ N/mm}^2$	mittlerer E-Modul rechtwinklig zur Faserrichtung

Schrauben

$d = 6 \text{ mm}$	Nenndurchmesser der Schraube
$d_{\text{head}} = 12 \text{ mm}$	Kopfdurchmesser
$l = 70 \text{ mm}$	Einbindelänge der Schraube im Basisbauteil
$l_g = 50 \text{ mm}$	Gewindelänge (im Basisbauteil)
$f_{ax,k} = 11,5 \text{ N/mm}^2$	charakteristischer Wert des Ausziehparameters der Schraube
$f_{tens,k} = 12,5 \text{ kN}$	charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit der Schraube

Mindestpressdruck

$$p_{\text{min,SPV}} = 0,1 \text{ N/mm}^2 \quad \text{erforderlicher Mindestpressdruck}$$

#### 1. „Steifigkeitskriterium“ (elastisch gebetteten Balken)

Schraubenabstand

- parallel zur Faserrichtung
 
$$L_x = 1,67 \cdot \sqrt[4]{E_{0,\text{mean},x} \cdot t_x^{*3}} = 1,67 \cdot \sqrt[4]{10.000 \cdot 19,0^3} = 152 \text{ mm}$$
- rechtwinklig zur Faserrichtung
 
$$L_x = 1,67 \cdot \sqrt[4]{E_{0,\text{mean},y} \cdot t_y^{*3}} = 1,67 \cdot \sqrt[4]{300 \cdot 19,0^3} = 63,3 \text{ mm}$$

Einflussfläche je Schraube

$$A = L_x \cdot L_y = 152 \cdot 63,3 = 9.622 \text{ mm}^2$$

## 2. Mindestpressdruck

Erforderliche Schraubenkraft

$$F_{ax,d} = \gamma_Q \cdot p_{\min,SPV} \cdot A = 1,0 \cdot 0,1 \cdot 9.623 = 962 \text{ N}$$

Aufbringbare Schraubenkraft

- Kopfdurchziehen

$$f_{head,k} = 14 \cdot d_{head}^{-0,14} = 14 \cdot 12,0^{-0,14} = 9,89 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{ax,head,Rk} = f_{head,k} \cdot d_{head}^2 = 9,89 \cdot 12,0^2 = 1.424 \text{ N}$$

- Herausziehen

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} = 12,5 \cdot 6,00 \cdot 50,0 = 3.750 \text{ N}$$

- Zugtragfähigkeit

$$F_{t,Rk} = f_{tens,k} = 12.500 \text{ N}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit einer Schraube auf Herausziehen

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,head,Rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \\ F_{ax,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \\ \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M2}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1.424 \cdot \frac{1,0}{1,3} \\ 3.750 \cdot \frac{1,0}{1,3} \\ \frac{12.500}{1,25} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1.095 \text{ N} \\ 2.885 \text{ N} \\ 10.000 \text{ N} \end{array} \right\} = 1.095 \text{ N}$$

„Nachweis“

$$\frac{F_{ax,d}}{F_{ax,Rd}} = \frac{962}{1.095} = 0,878 < 1,00$$

vorgeschlagener Schraubenraster:  $L_x = 150 \text{ mm} \mid L_y = 65 \text{ mm}$

## 3. erforderlicher rechnerischer Pressdruck zur Schließung der Klaffungen aus Vorverformungen

Annahme: Vorverformung mit Stich  $f = 1,00 \text{ mm/m}$

$$I_x = \frac{L_y \cdot t_x^3}{12} = \frac{65,0 \cdot 19,0^3}{12} = 3,72 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$q = \frac{384}{5} \cdot \frac{E_{0,mean,x} \cdot I_x}{l^4} = \frac{384}{5} \cdot \frac{10.000 \cdot 3,72 \cdot 10^4}{1.000^4} \cdot 1,00 = 0,0286 \text{ N/mm}$$

$$\Delta p = \frac{q}{L_y} = \frac{0,0286}{65,0} = 0,00044 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{vernachlässigbar gering}$$

## 8-3.8 BEISPIEL 2

Angaben:

dreischichtige Massivholzplatte aus Fichte ( $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ ) als aufzuklebender Teil

$t = 40 \text{ mm}$  ..... Dicke des aufzuklebenden Teils (Aufbau: 13-14-13 mm)  
 $E_{0,\text{mean}} = 11.000 \text{ N/mm}^2$  ..... mittlerer E-Modul parallel zur Faserrichtung

Schrauben

$d = 8 \text{ mm}$  ..... Nenndurchmesser der Schraube  
 $d_{\text{head}} = 22 \text{ mm}$  ..... Kopfdurchmesser  
 $l = 120 \text{ mm}$  ..... Einbindelänge der Schraube im Basisbauteil  
 $l_g = 80 \text{ mm}$  ..... Gewindelänge (im Basisbauteil)  
 $f_{\text{ax},k} = 11,0 \text{ N/mm}^2$  ..... charakteristischer Wert des Ausziehparameters der Schraube  
 $f_{\text{tens},k} = 22,0 \text{ kN}$  ..... charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit der Schraube

Mindestpressdruck

$p_{\text{min},\text{SPV}} = 0,15 \text{ N/mm}^2$  ..... erforderlicher Mindestpressdruck

### 1. „Steifigkeitskriterium“ (elastisch gebetteten Balken)

wirksame Querschnittswerte

$$I_x = 2 \cdot \frac{b \cdot t_1^3}{12} + 2 \cdot b \cdot t_1 \cdot a_1^2 = 2 \cdot \frac{1,00 \cdot 13,0^3}{12} + 2 \cdot 1,00 \cdot 13,0 \cdot 13,5^2 = 5.105 \text{ mm}^4$$

$$I_x = \frac{b \cdot t_x^{*3}}{12} \rightarrow t_x^* = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I_x}{b}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 5.105}{1,00}} = 39,4 \text{ mm}$$

Schrauben

- parallel zur Faserrichtung  
 $L_{x,0} = 1,67 \cdot \sqrt[4]{E_{0,\text{mean},x} \cdot t_x^{*3}} = 1,67 \cdot \sqrt[4]{11.000 \cdot 39,4^3} = 269 \text{ mm}$
- rechtwinklig zur Faserrichtung  
 $L_{y,0} = 1,67 \cdot \sqrt[4]{E_{0,\text{mean},y} \cdot t_y^{*3}} = 1,67 \cdot \sqrt[4]{11.000 \cdot 14,0^3} = 124 \text{ mm}$

Einflussfläche je Schraube

$$A = L_x \cdot L_y = 269 \cdot 124 = 33.356 \text{ mm}^2$$

### 2. Mindestpressdruck

Erforderliche Schraubenkraft

$$F_{\text{ax},d} = \gamma_Q \cdot p_{\text{min},\text{SPV}} \cdot A = 1,0 \cdot 0,15 \cdot 33.356 = 5.003 \text{ N}$$

Aufbringbare Schraubenkraft

- Kopfdurchziehen  
 $f_{\text{head},k} = 14 \cdot d_{\text{head}}^{-0,14} = 14 \cdot 22,0^{-0,14} = 9,08 \text{ N/mm}^2$   
 $F_{\text{ax},\text{head},Rk} = f_{\text{head},k} \cdot d_{\text{head}}^2 = 9,08 \cdot 22,0^2 = 4.395 \text{ N}$
- Herausziehen  
 $F_{\text{ax},Rk} = f_{\text{ax},k} \cdot d \cdot l_{\text{ef}} = 11,0 \cdot 8,00 \cdot 80,0 = 7.040 \text{ N}$

- Zugtragfähigkeit

$$F_{t,Rk} = f_{tens,k} = 22.000 \text{ N}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit einer Schraube auf Herausziehen

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,head,Rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \\ F_{ax,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \\ \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M2}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4.395 \cdot \frac{1,0}{1,3} \\ 7.040 \cdot \frac{1,0}{1,3} \\ \frac{22.000}{1,25} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3.381 \text{ N} \\ 5.415 \text{ N} \\ 16.923 \text{ N} \end{array} \right\} = 3.381 \text{ N}$$

„Nachweis“

$$\frac{F_{ax,d}}{F_{ax,Rd}} = \frac{5.003}{3.381} = 1,48 > 1,00$$

Verkleinerung der Schraubenabstände erforderlich

Annahme:  $L_{y,1} = 125 \text{ mm} \approx L_{y,0}$

$$A_{max} = \frac{F_{ax,d}}{p_{min,SPV}} = \frac{3.381}{0,15} = 22.540 \text{ mm}^2$$

$$L_{x,1} = \frac{A_{max}}{L_{y,1}} = \frac{22.540}{125} = 180 \text{ mm} < L_{x,0} = 269 \text{ mm}$$

Vorgeschlagener Schraubenraster:  $L_x = 180 \text{ mm} \mid L_y = 125 \text{ mm}$

### 3. erforderlicher rechnerischer Pressdruck zur Schließung der Klaffungen aus Vorverformungen

Annahme: Vorverformung mit Stich  $f = 1,00 \text{ mm} / \text{m}$

$$I_x = \frac{L_y \cdot t_x^3}{12} = \frac{100 \cdot 39,4^3}{12} = 5,10 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$q = \frac{384}{5} \cdot \frac{E_{0,mean,x} \cdot I_x}{l^4} = \frac{384}{5} \cdot \frac{11.000 \cdot 5,10 \cdot 10^5}{1.000^4} \cdot 1,00 = 0,431 \text{ N} / \text{mm}$$

$$\Delta p = \frac{q}{L_y} = \frac{0,431}{100} = 0,00431 \text{ N} / \text{mm}^2 \rightarrow \text{vernachlässigbar gering}$$

# KAPITEL 9: ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

## 9-1 ZUSAMMENFASSUNG

---

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zunächst auf die Schraubpressverklebung, deren Anwendung und die Eigenschaften tragender Klebeverbindung eingegangen. Dabei wurde erläutert, welche Systemkomponenten eine derartige Verbindungstechnik charakterisieren. Im Zuge dessen wurde die Beanspruchung dieser Komponenten erklärt, vorliegende Literaturquellen analysiert und festgehalten, welche Regelungen zur Schraubpressverklebung in ÖNORM B 1995-1-1:15 [1] enthalten sind.

Mit dem, im Endeffekt wirtschaftlichen Ziel, den Schraubenabstand in Faser- bzw. Decklagenrichtung zu optimieren, wurde zunächst der theoretische bzw. mechanische Ansatz einer Schraubpressverklebung durchleuchtet.

Mit Hilfe der Grundgleichung der orthotropen Platten und dem Lastaufteilungsverfahren nach Marcus wurde das komplexe System in mehreren Arbeitsschritten schließlich auf das Modell eines elastisch gebetteten Balkens vereinfacht. Dieses ingenieurmäßige Modell, ermöglicht die Berechnung des Schraubenrasters eines Regelfelds der Schraubpressverklebung. In weiterer Folge wurde die Rechenmethode anhand von Beispielen auf Schlüssigkeit überprüft. Als Ergebnis kann dabei, in Zusammenhang mit den später durchgeführten Prüfungen, festgehalten werden, dass die daraus resultierenden Schraubenabstände parallel und rechtwinkelig zur Decklagenrichtung plausibel erscheinen.

In dieser Masterarbeit wurden insgesamt etwa 1100 experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurden in Zusammenhang mit der mechanischen Modellbildung zunächst knapp 50 Voruntersuchungen durchgeführt, welche den Einfluss der Lagerung bzw. die elastische BSP-Bettung simulieren sollten. Die nicht eindeutigen Ergebnisse daraus führten in weiterer Folge zur Anwendung der normgemäßen Prüfkonfiguration nach ÖNORM EN 1383 [50].

Für etwa 800 Prüfungen der Hauptuntersuchungen lag der Fokus auf der Bestimmung des Kopfdurchziehparameters. Den zuvor definierten Prüfserien zufolge, kamen hier vor allem entscheidende Aspekte und Variationen des Holzwerkstoffs (Art und Dicke), des Schraubenkopfs bzw. Schraubentyps und des Schraubenkopfdurchmessers zur Anwendung. Für die Darstellung der Ergebnisse wurden Kraft-Verformungs-Diagramme verwendet. Als Ergebnis kann hier das unterschiedliche Verhalten von Senk- und Tellerkopfschraube klar umrissen werden.

Ein Hauptaugenmerk dieser Arbeit war die Bestimmung des Kopfdurchziehparameters nach einer, für die Schraubpressverklebung relevanten Verformung. Aus diesem Grund wurde diesbezüglich eine von der Schraubenkopfhöhe abhängige Einpressung definiert und in Folge der dazugehörige Kopfdurchziehparameter ausgewertet und angegeben.

Zusätzlich wurde die Beziehung zwischen der Kopfdurchziehfestigkeit und dem Schraubenkopfdurchmesser hergestellt. Wohingegen bei Senkkopfschrauben die Kopfdurchziehfestigkeit mit größer werdendem Kopfdurchmesser annähernd gleich bleibt, wurde bei Tellerkopfschrauben ein eindeutiger Zusammenhang dieser beiden Faktoren festgestellt. Hier gilt: je größer der Schraubenkopfdurchmesser, desto kleiner ist im Verhältnis die Kopfdurchziehfähigkeit.

Dem Anhang dieser Arbeit sind neben den ergänzenden Diagrammen und Schraubendaten typische Bilder des Versagens auf Kopfdurchziehen zu entnehmen.



Der Schwerpunkt der restlichen Untersuchungen lag bei der Ermittlung des Scherwiderstandes. Erneut kamen verschieden dicke Holzwerkstoffe (ein- und dreischichtige Massivholzplatten) mit unterschiedlichen Schrauben zur Anwendung. Als entscheidenden Parameter wurden hier abweichende Schraubenabständen in Längs- und Querrichtung untersucht. Dafür wurden Prüfelmente schraubpressverklebt aus denen in Folge Scherprüfkörper herausgetrennt wurden. In Anschluss daran wurden ÖNORM EN 14080 [25] entsprechend Scherkörper hergestellt und geprüft.

Auch die Ergebnisse der Scherprüfungen basieren auf den Aufzeichnungen des Kraft-Verformungs-Diagramms der Scherkörper. Unmittelbar nach der Prüfung wurde der Faserbruchanteil bestimmt. In weiterer Folge wurden Proben mit unzureichender Scherfestigkeit und/oder großem Faserbruchanteil mit Hilfe von UV-Licht beleuchtet. Die daraus resultierenden Ergebnisse wurden anhand von Diagrammen dargestellt, welche den Zusammenhang zwischen dem Faserbruchanteil und der Scherfestigkeit herstellen sollen. In diesen Diagrammen wurde auch die Verhältnisgrenze entsprechend ÖNORM EN 14080 [25] eingetragen. Damit ist/war schnell ersichtlich, welche Prüfkörper den Anforderungen entsprechen. Von 160 Prüfkörpern mit Vollholz Fügeteilen erreichen 93 % eine ausreichend hohe Scherfestigkeit. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den insgesamt 160 Scherprüfungen mit dreischichtigen Massivholzplatten als Fügepartner. Hier wiesen 85 % aller geprüften Scherkörper eine ausreichend hohe Festigkeit auf.

Ein wichtiger Punkt der Ergebnisse lag außerdem bei der Auswertung und Bestimmung der Klebefugendicken. Mittels elektronischen Mikroskop wurde die Dicke der Klebefugen an jedem Prüfkörper vier Mal manuell vermessen. Damit einhergehend wurde der Zusammenhang zwischen Klebefugendicke und erreichter Scherfestigkeit dargestellt. Auch in diesen Diagrammen ist die Mindestgrenze der Scherfestigkeit nach ÖNORM EN 14080 [25] eingetragen. Es kann festgehalten werden, dass die Klebefugendicke bis auf wenige Ausnahmen unter 0,3 mm liegt. Weiters ist kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Klebefugendicke und der Scherfestigkeit zu erkennen.

## 9-2 OPTIMIERUNG

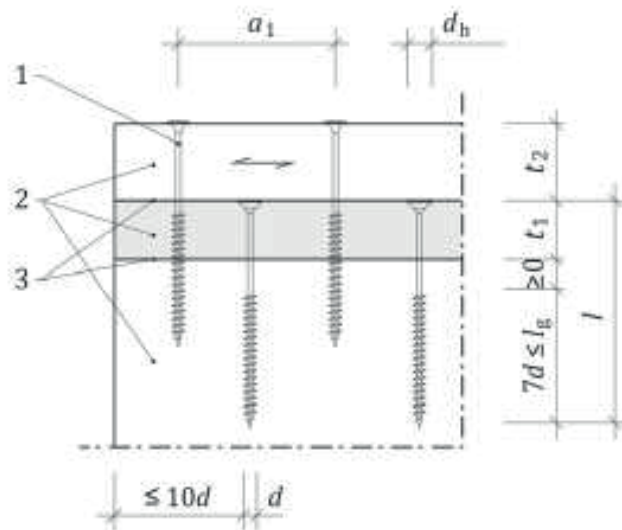
Zum Teil aufgrund der Erkenntnisse dieser Masterarbeit wurde von Manfred Augustin [68] der nachfolgende Vorschlag für die Neuverfassung der Regelungen zur Schraubpressverklebung festgelegt.

*Dieser Abschnitt gilt ausschließlich für Bauteile in der Nutzungsklasse 1 und Nutzungsklasse 2.*

*Es ist ein Klebstoff mit fugenfüllenden Eigenschaften zu verwenden. Wenn die Fugendicke mit maximal 0,3 mm sichergestellt werden kann, dürfen auch Klebstoffe gemäß ÖNORM EN 15425 und Klebstoff Typ I gemäß ÖNORM EN 301 verwendet werden. Der Klebstoff ist nach den Herstellerangaben zu verwenden.*

*Es dürfen nur Schrauben für tragende Zwecke gemäß 8.7.2 mit einem Nenndurchmesser  $d \geq 5$  mm verwendet werden. Bei Schrauben mit Teilgewinde darf im aufzuklebenden Teil kein Schraubengewinde vorhanden sein (siehe Bild L.1). Beim Einsatz von Vollgewindeschrauben ist im aufzuklebenden Teil eine Vorbohrung von mindestens  $d + 1,0$  mm vorzusehen.*

*Der maximale Abstand zu den Enden der aufzuklebenden Elemente von streifen- und plattenförmigen Schraubpressverklebungen in Decklagenrichtung darf höchstens  $10d$ , jener zu den Rändern höchstens  $5d$  betragen.*



Legende:

- 1 Teilgewindeschraube mit und ohne versenkbaren Kopf
- 2 Fügeiteile
- 3 Klebefugen

**Abbildung 9-1: Randbedingungen bei der Schraubpressverklebung**

Die Oberflächen der zu verklebenden Fügeiteile müssen für eine Verklebung geeignet sein (z. B. bei OSB) und sind nach den Anforderungen der Klebstoffhersteller vorzubereiten. Im Allgemeinen müssen die Oberflächen geschliffen oder gehobelt sowie frei von Schmutz und Verunreinigungen sein.

Die Höhe von Vorverformungen (Toleranzen) zwischen den zu verklebenden Fügeiteilen darf für

- streifen- und plattenförmige Schraubpressverklebungen: max. 1 mm/1m und für
- Rippenplatten: max. 2 mm/2m

betragen.

Werden mehrere Lagen aufgeklebt, ist jede Lage für sich zu verschrauben. Dabei müssen die Schrauben versetzt angeordnet werden, sodass der aufgebrachte Pressdruck in allen Fugen sichergestellt ist. In der Zwischenlage darf der Schraubenkopf nicht über die Oberfläche hinausragen.

Verformungen und Bewegungen, die zu einer Schädigung der noch nicht ausgehärteten Klebefuge führen können, sind auszuschließen.

Die Schraubenparameter und -abstände sind in Abhängigkeit der Dicke des aufzuklebenden Teils gemäß Tabelle 9-1 zu wählen.

**Tabelle 9-1: Baustoffe und Dicke des aufzuklebenden Fügeteils, Mindestschraubenparameter und maximale Schraubenabstände je Schraube sowie rechnerischer Mindestpressdruck [68]**

Baustoff des aufzuklebenden Fügeteils	Dicke des aufzuklebenden Fügeteils	empfohlener nomineller Schraubendurchmesser	minimaler nomineller Kopf- oder Unterlegscheibendurchmesser <sup>1)</sup>	maximaler Schraubenabstand		effektive Gewindelänge im Basisteil	rechnerischer Mindestpressdruck
				in Richtung der Decklage	Quer zur Decklage		
	t	d	d <sub>h</sub>	a <sub>1,max</sub>	a <sub>2,max</sub>		P <sub>rechn,min</sub>
	mm	mm	mm	mm	mm		N/mm <sup>2</sup>
Streifen- und plattenförmige Schraubpressverklebungen							
Sperrholz aus Fichte, dreischichtige Massivholzplatten, OSB-Platten	12 ≤ t < 19	≥ 5	9	100	65	6d	0,10
Sperrholz aus Buche				100	100	8d	
Bretter und einschichtige Massivholzplatten	19 ≤ t < 27	≥ 6	10,8	140	65	6d	
Sperrholz aus Fichte, dreischichtige Massivholzplatten, OSB-Platten			14,4	140	90		
Sperrholz aus Buche			10,8	140	140	8d	
Bretter, ein- und mehrschichtige Massivholzplatten und Sperrholz aus Fichte, OSB-Platten	27 ≤ t < 42	≥ 8	19,2	175	100	6d	0,15
Sperrholz aus Buche				175	175	15d	
Dreischichtige Massivholzplatten	42 ≤ t ≤ 60		19,2	225	100	6d	
Sperrholz aus Buche				250	250	15d	
ANMERKUNG 1 Das Verhältnis zwischen Schraubenkopf- und -nenndurchmesser darf den Faktor 1,8 nicht unterschreiten.							
ANMERKUNG 2 Die Verfügbarkeit von Schrauben bzw. Unterlegscheiben mit dem angegebenen Schraubenkopfdurchmesser ist zu prüfen. Es dürfen auch Schrauben mit kleineren Schraubenkopfdurchmessern verwendet werden, wenn die Einflussbreite pro Schraube im Verhältnis der aufbringbaren Schraubkraft vermindert wird.							

Alternativ zu den Festlegungen in Tab. L.9 dürfen die maximalen Schraubenabstände mit den nachfolgenden Gleichungen (L.xxx) und (L.yyy) ermittelt werden.

$$a_{i,max} = 1,8 \sqrt[4]{E_{d,i} t^{*3}} \quad \text{mit } i = 1,2 \quad (L.xxx)$$

Zusätzlich ist nachzuweisen, dass der rechnerische Mindestpressdruck pro Schraube eingehalten ist

$$\frac{F_{ax,d}}{a_1 \cdot a_2} \geq p_{rechn,min} \quad (L.yyy)$$

mit

$a_{i,max}$  bzw.  $a_i$  maximaler bzw. gewählter Schraubenabstand in der betrachteten Richtung  $i$  (parallel bzw. rechtwinklig zur Decklagenrichtung), in mm

$E_{d,i}$  wirksamer E-Modul des aufzuklebenden Teils in der betrachteten Richtung  $i$  gemäß Glg. (2.15), in N/mm<sup>2</sup>

$t^*_i$  wirksame Dicke des aufzuklebenden Teils in der betrachteten Richtung  $i$ , in mm

$F_{ax,d}$  Bemessungswert einer Schraube bei einer Beanspruchung in Richtung der Schraubenachse gemäß Abschnitt 8.7.2, in N

Für den charakteristischen Durchziehparameter darf dabei angesetzt werden:

- für Schrauben mit aufzuklebenden Füge­teilen aus Vollholz- und Holzwerkstoffen mit:

$$f_{\text{head,k}} = 14 d_{\text{head}}^{-0,14}$$

Die angegebenen Werte gelten für einen charakteristischen Wert der Rohdichte  $\rho_{\text{ref,k}} = 350 \text{ kg/m}^3$ . Für andere Rohdichtewerte darf der Wert für  $f_{\text{head,k}}$  mit dem Faktor

$$\left( \frac{\rho_k}{\rho_{\text{ref,k}}} \right)^{0,8} \text{ erhöht werden.}$$

- für Schrauben mit aufzuklebenden Füge­teilen aus LVL aus Buche:  
 $f_{\text{head,k}} = 25 \text{ N/mm}^2$

Der Modifikationsfaktor für Schraubpressverklebungen sollte mit  $k_{\text{mod}} = 1,0$  und der Teilsicherheitsbeiwert mit  $\gamma_M = 1,3$  in Rechnung gestellt werden.

$p_{\text{rechn,min}}$  rechnerischer Mindestpressdruck gemäß Tabelle 9-1 in  $\text{N/mm}^2$

Von Tabelle 9-1 abweichende Schraubenparameter und –abstände sind zulässig, sofern deren Eignung durch entsprechende Prüfungen nachgewiesen wird.

Nach dem Erreichen der erforderlichen Klebefugenfestigkeit dürfen die Schrauben herausgeschraubt werden.

### 9-3 AUSBLICK

Anhand der vorliegenden Ergebnisse des mechanischen Modells einer Schraubpressverklebung und im Zusammenhang mit den experimentellen Untersuchungen kann der Schraubenraster optimiert werden. Dabei werden auch die Einflussfaktoren wie Art- und Durchmesser des Schraubenkopfes sowie die Art- und Dicke des Füge­teils berücksichtigt.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit können weiters als Basis für die Anwendung der Schraubpressverklebung bei Rippenplattenelementen dienen, wobei dort zusätzliche Adaptierungen erforderlich sind.

Im Zuge einer näheren Betrachtung dieser Thematik sollten FE-Modelle entwickelt werden, welche das mechanische Verhalten von SPV-Verbindungen bestmöglich widerspiegeln.

Des Weiteren wäre die Definition und der Nachweis einer klar definierten Einschraubtiefe bzw. die Abhängigkeit des Schraubenabstands von dieser Tiefe anzustreben.



## ANHANG A VERZEICHNISSE

### A-1 Literaturverzeichnis

---

- [1] *ÖNORM B 1995-1-1:2015: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2015.
- [2] K. Bratulic und M. Augustin, *Screw Gluing - Theoretical and Experimental Study on Screw Pressure Distribution and Glue Line Strength*, Wien: WCTE 2016, 2016.
- [3] *ÖNORM EN 301: Klebstoffe, Phenoplaste und Aminoplaste, für tragende Holzbauteile - Klassifizierung und Leistungsanforderungen*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2015.
- [4] W. Brockmann, P. Geiß, K. Klingen und B. Schröder, *Klebtechnik Klebstoffe, Anwendungen und Verfahren*, Weinheim, 2005.
- [5] R. Brandner, *Klebetechnologie und Holzwerkstoffe*, Graz: Institut für Holzbau und Holztechnologie, 2017.
- [6] *ÖNORM EN 301: Klebstoffe, Phenoplaste und Aminoplaste, für tragende Holzbauteile - Klassifizierung und Leistungsanforderungen*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2013.
- [7] *ÖNORM EN 302: Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Prüfverfahren*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2013.
- [8] G. Habenicht, *Kleben; Grundlagen, Technologien, Anwendungen*, Berlin Heidelberg: Springer, 2009.
- [9] G. Habenicht, *Kleben - erfolgreich und fehlerfrei*, Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2012.
- [10] *ÖNORM EN 14592: Holzbauwerke - Stiftförmige Verbindungsmittel - Anforderungen*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2012.
- [11] Rothoblaas, „www.rothoblaas.de“, [Online]. Available: <https://www.rothoblaas.de/produkte/verbindungstechnik/schrauben/schrauben-zimmerei>. [Zugriff am 04 04 2018].
- [12] H. Neuhaus, *Ingenieurholzbau; Grundlagen - Bemessung - Nachweise - Beispiele*, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- [13] F. Colling, *Holzbau Grundlagen und Bemessung nach EC5*, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2012.
- [14] G. Schickhofer, *Holzbau, Nachweisführungen für Konstruktionen aus Holz*, Graz: Technische Universität Graz, 2009.
- [15] Mayr-Melnhof, „www.mm-holz.com“, 2016. [Online]. Available: [http://www.mm-holz.com/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Folder/Neu\\_2016/MM-masterline\\_2015\\_v14b\\_WEB.pdf](http://www.mm-holz.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Folder/Neu_2016/MM-masterline_2015_v14b_WEB.pdf). [Zugriff am 19. März 2018].
- [16] D. Sieber, *PraxisReport: Brücken bauen...*, p. 25, 2003.
- [17] p. Austria, „www.proholz.at“, [Online]. Available: <http://www.proholz.at/holzbauten/detail/expo-dach/>. [Zugriff am 10 12 2018].



- [18] Z. T. GmbH, „www.zueblin-timber.de,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.zueblin-timber.com/referenzen/sonderbauten/expo-dach-hannover.html>. [Zugriff am 12 01 2019].
- [19] O. H. GmbH, „www.obermayr.at,“ [Online]. Available: <http://www.obermayr.at/de/referenzen/obermayr-staatspreis/architektur/>. [Zugriff am 13 01 2019].
- [20] G. F. Moschig, Bausanierung, Grundlagen - Planung - Durchführung, Graz, 2014.
- [21] H. Kolb, „Versuche über die verwendung von Nägeln zur Erzeugung eines ausreichenden Pressdrucks bei der Bauholzleimung,“ *Holz als Roh- und Werkstoff*, pp. 28-35, 1958.
- [22] H. Brüninghoff, „Abklärung der sicherheitstechnisch maßgebenden Faktoren bei der Herstellung von kostensparenden Nagelpressverleimungen,“ Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, Wuppertal, 1991.
- [23] M. Kairi, „Screw gluing Kerto-LVL structures with Polyurethane Adhesives,“ Helsinki University of Technology, Laboratory of Wood Technology, Helsinki, 1999.
- [24] K. Bratulic und M. Augustin, *Schraubpressverklebung: Prüf- und Berechnungsmethoden, Präsentation im Rahmen des FFG comet Projektes*, Graz, 2016.
- [25] *ÖNORM EN 14080: Holzbauwerke - Brettschichtholz und Balkenschichtholz - Anforderungen*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2013.
- [26] T. Steininger und H. Trinkl, Erfolgreich als Qualitätsbeauftragter - Einführung und Weiterentwicklung eines Qualitätsmanagementsystems nach ISO 9001:2015, Wien: Tüv Austria Akademie GmbH, 2017.
- [27] J. Hermann und H. Fritz, Qualitätsmanagement - Lehrbuch für Studium und Praxis, München: Carl Hanser Verlag, 2011.
- [28] J. Pellkofer, Qualitätsmanagement für Architekten und Ingenieure, Paderborn: Karl Krämer Verlag Stuttgart+Zürich, 2018.
- [29] R. Zech, Qualitätsmanagement und gute Arbeit - Grundlagen einer gelingenden Qualitätsentwicklung für Einsteiger und Skeptiker., Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2015.
- [30] A. Passer, *Qualitätssicherung und Zertifizierung von Bauprodukten*, Graz, 2017.
- [31] H. Brüggemann und P. Bremer, Grundlagen Qualitätsmanagement. Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2015.
- [32] E. Pott, Qualitätsmanagement in Gesundheitsförderung und Prävention, Köln: Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung, 2001.
- [33] M. Pröbster, Elastisch Kleben aus der Praxis für die Praxis, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013.
- [34] *ÖNORM EN ISO 9000:2015 Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2015.
- [35] E. Gehri, *Verleimungshinweise für Kerto-Rippenplatten und Hohlkasten*, Zürich: Metsä Group Schweiz, 2003.
- [36] *DIN 1052-10\_ Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken - Teil 10: Ergänzende Bestimmungen*, Hannover: Deutsches Institut für Normung, 2012.
- [37] W. Marc-Denis und B. Christina, Werkstoffe; Unsichtbar, aber unverzichtbar, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2013.

- [38] G. Neroth und D. Vollenschaar, *Wendehorst Baustoffkunde, Grundlagen - Baustoffe - Oberflächenschutz*, Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2011.
- [39] F. Kollmann, *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*, München: Springer-Verlag, 1951.
- [40] P. Niemz, *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*, Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag, 1993.
- [41] W. Bernd, J. Elmar und T. Reiche, *Holzfachkunde*, Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag, 2006.
- [42] *ÖNORM EN 323: Holzwerkstoffe, Bestimmung der Rohdichte*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2005.
- [43] A. Shipsha und L. A. Berglund, „Shear coupling effects on stress and strain distributions in wood subjected to transvers compression,“ *ScienceDirect*, Stockholm, 2006.
- [44] C. Cerliani und T. Baggenstos, *Holzplattenbau*, Zürich: Baufachverlag Lignum, 2000.
- [45] Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz und Winter, *Holzbau Atlas*, Basel: Birkhäuser - verlag für Architektur, 2003.
- [46] H.-W. Reinhardt, *Ingenieurbaustoffe*, Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2010.
- [47] G. L. AG, *Produktdatenblatt Purbond HB S709*, Schlieren: Geistlich Ligamenta AG, 2013.
- [48] D. I. f. Bautechnik, *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung - Nr.: Z-9.1-765*, Berlin: DIBt, 2016-2021.
- [49] T. GmbH, *Produktbeschreibung*, Graz: Tenz GmbH, 2017.
- [50] *ÖNORM EN 1383: Holzbauwerke - Prüfverfahren - Prüfung von Holzverbindungsmitteln auf Kopfdurchziehen*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2016.
- [51] *ÖNORM EN 15425: Klebstoffe - Einkomponenten-Klebstoffe auf Polyurethanbasis (PUR) für tragende Holzbauteile - Klassifizierung und Leistungsanforderungen*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2017.
- [52] H. B. M. GmbH, „www.hbm.com,“ [Online]. Available: <https://www.hbm.com/de/3059/wa-t-induktiver-wegaufnehmer-mit-tastspitze/>. [Zugriff am 07 08 2018].
- [53] C. E. G. & C. KG, „www.conrad.at,“ Conrad Electronic, [Online]. Available: <https://www.conrad.at/de/conrad-digitale-mikroskopkamera-usb-2-mio-pixel-vergroesserungsfaktor-10-x-200-x-191341.html>. [Zugriff am 06 11 2018].
- [54] B. Radovic und H. Rohlfing, „Einfluss der Nagelkopfform auf das Durchziehen bei dünnen Plattenwerkstoffen unter 12 mm,“ *Fraunhofer IRB Verlag*, Stuttgart, 1996.
- [55] J. Munch-Anderson, „Pull-through Capacity in Plywood and OSB,“ Denmark, 2011.
- [56] X. Wang, A. Salenikovich und M. Mohammad, „Localized Density Effects on Fastener Holding Capacities in Wood-based Panels,“ *Forest Products Journal*, 2007.
- [57] G. S. Thomas Bogensberger, „Zweichasige Lastabtragung von Brettsperholzplatten,“ *Bautechnik*, Oktober 2014.
- [58] M. Henri, *Die vereinfachte Berechnung biegsamer Platten*, Berlin: Springer, 1925.
- [59] H. Erwin und M. Konstantin, *Statik der Flächentragwerke*, Heidelberg: Springer - Verlag, 2007.

- [60] Ö. Andreas, Theorie der Balkenbiegung, Einführung und Modellierung der statischen Verformung und Beanspruchung, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016.
- [61] M. Eisenberger, „Exact stiffness matrix for beams on elastic foundation,“ *Coputers & Structures*, pp. 1355-1359, Jänner 1985.
- [62] V. Vlasov, Beams, Plates and Shells on Elastic Foundations, Moskau: Israel Program for Scientific Translations Ltd, 1960.
- [63] S. Aicher und G. Stampf, *Einfluss des Pressdrucks - Möglichkeiten und Grenzen der Niederdruck-Vakuumverpressung bei der Herstellung von geklebte Holzbauteilen*, Stuttgart: Materialprüfanstalt Universität Stuttgart, 2015.
- [64] K. Bratulic, *Schraubpressverklebung von Brettsperrholzelementen*, Graz: holz. bau forschungs gmbh, 2018.
- [65] P. Bauer, *Formbestimmung von Holzelementen mittels Oberflächenmessung*, Graz: Technische Universität Graz, 2017.
- [66] G. Flatscher, K. Bratulic, R. Brandner und G. Schickhofer, „Zusammenfassende und weiterführende Arbeiten zum Verhalten von BSP-Tragwerken bei der Beanspruchungssituation Erdbeben,“ holz.bau forschungs gmbh, Graz, 2013.
- [67] H. Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken, 2. Hrsg., Zürich: Birkhäuser Verlag, 2002.
- [68] B. Dujic, S. Klobcar and R. Zarnic, „Influence of Openings on Shear Capacity of Wooden Walls,“ in *Proceedings of the 40th CIB-W18*, Bled, 2007.
- [69] P. Mestek, „Punktgestützte Flächentragwerke aus Brettsperrholz (BSP) - Schubbemessung unter Berücksichtigung von Schubverstärkungen,“ Technische Universität München, München, 2011.
- [70] J. E. H. K. G. S. H.J.Blaß, Erläuterungen zu DIN 1052: 2004-08, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken, München, 2004.
- [71] C. Horst, S. Birgit und S. Franz-Georg, *Das Ingenieurwissen: Werkstoffe*, Berlin Heidelberg: Springer, 2014.
- [72] V. Till, B. Leander, F. Simon und B.-M. Oliver, „Kleben im Ingenieurholzbau,“ *Bauen mit Holz*, p. 34 bis 39, 03 2014.
- [73] T. H. S. AG, „www.timbatec.com,“ [Online]. Available: <https://www.timbatec.com/chde/produktentwicklung/1561-Klammerverklebung-Prebena.php>. [Zugriff am 22 05 2018].
- [74] H. Günther, M. Heinz und S. Georg, *Technische Mechanik Festigkeitslehre*, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.
- [75] M. Konstantin, B. Christoph, H. Stefan und H. Erwin, *Baustatik in Beispielen*, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012.
- [76] A. Holm, A. Johannes und N. Konstantin, *Ebene Flächentragwerke, Grundlagen der Modellierung und Berechnung von Scheiben und Platten*, Magdeburg: Springer Vieweg, 2016.
- [77] M. Niedermeier, *Krafteinleitung & Verbindungstechnik*, Ravensburg-Weingarten: Hochschule Ravensburg-Weingarten, 2015.
- [78] T. Sven und J. L. Hans, *Timber Engineering*, Chichester: Wiley, 2003.

- [79] M. Borg, Structural Behaviour of Timber, Alpine Court: DW Friesen, 1992.
- [80] H. A. -. Ö. G. f. Holzforschung, „www.holzforschung.at,“ [Online]. Available: <http://www.holzforschung.at/holzwerkstoffplatten-wpc.html>. [Zugriff am 13 06 2018].
- [81] *ÖNORM EN 322: Holzwerkstoffe; Bestimmung des Feuchtegehalts*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2005.
- [82] M. Gerhard, Der Ingenieurbau; Werkstoffe Elastizitätstheorie, Berlin: Ernst & Sohn, 1996.
- [83] H. J. B. Lukas Windeck, „Querdruckverhalten von Brettschichtholz aus Nadelholz,“ *Bautechnik*, 11 2017.
- [84] dynea, *dynea Prefere 4094*, Lillestrøm: dynea, 2014.
- [85] D. I. f. Bautechnik, *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung - Nr.: Z-9.1-840*, Berlin: DIBt, 2014-2019.
- [86] W. Handelsges.m.b.H., „www.eshop.wuerth.at,“ Würth Handelsges.m.b.H., [Online]. Available: [http://wuerth-at.blaetterkatalog.de/catalogs/holzbau\\_2017/blaetterkatalog/index.php?utm\\_source=shop&utm\\_medium=cover&utm\\_campaign=holzbau&&](http://wuerth-at.blaetterkatalog.de/catalogs/holzbau_2017/blaetterkatalog/index.php?utm_source=shop&utm_medium=cover&utm_campaign=holzbau&&). [Zugriff am 23 08 2018].
- [87] T. GmbH, „www.tenz.at,“ moodley brand identity, [Online]. Available: <https://tenz.at/>. [Zugriff am 23 08 2018].
- [88] T. M. Z. Geotechnik, *Interaktion Bauwerk - Baugrund*, München, p. 21.
- [89] G. Rombach, Anwendung der Finite-Elemente-Methode im Betonbau, Hamburg: Ernst & Sohn, 2007.
- [90] T. Purgstaller, *Das mechanische Verhalten von Klebeverbindungen im Holzbau*, Graz: Technische Universität Graz, 2010.
- [91] H. Marcus, Die vereinfachte Berechnung biegsamer Platten, Berlin: Springer, 1929.
- [92] R. Jockwer, *Schraubenverbindungen*, Zürich: ETH Zürich, Institut für Baustatik und Konstruktion, 2011.
- [93] G. Mehlhorn, Der Ingenieurbau; Baustatik Baudynamik, Berlin: Ernst & Sohn, 1995.
- [94] P. J. -. I. f. Holzbau, *Schraubpressklebung im Holzbau*, Rain: Pirmin Jung, 2010.
- [95] E. Gehri, *Verbindungstechnik im Holzbau*, Rüschlikon, 2000.

## A-2 Abbildungsverzeichnis

---

<i>Abbildung 1-1: Schraubpressverklebung einer Rippenplatte (li) und Prüfung eines schraubpressverklebten Verstärkung eines kreisrunden Durchbruchs in einem Brettschichtholz-Träger (re)</i>	2
<i>Abbildung 2-1: Symbolbild der Systemkomponenten [2]</i>	5
<i>Abbildung 2-2: Geometrie einer Senkkopfschraube [11]</i>	11
<i>Abbildung 2-3: Geometrie einer Tellerkopfschraube [11]</i>	11
<i>Abbildung 2-4: Abfall der Schraubenkraft im aufzuklebenden Teil in Abhängigkeit der Zeit [2]</i>	14

Abbildung 2-5:	Querschnitt eines mittels Schraubpressverklebung hergestellten Brückendeck einer Fußgänger- und Radwegbrücke (li), Rippendecke aus schraubpressverklebten BSH-BSP-Bauteilen im Bautechnikzentrum der TU Graz (re).....	16
Abbildung 2-6:	Leonardo da Vinci Brücke, Norwegen (li) und Schraubpressverklebung im Detail (re) 17	
Abbildung 2-7:	Expo- Dach Hannover 2000 (li) [17] mit Detailaufnahme des Turmknotenpunktes (re) [18] 17	
Abbildung 2-8:	Paneum – Wunderkammer des Brotes in Aasten/OÖ, Außenansicht (li), Innenansicht der Oberfläche im Bauzustand (re) .....	18
Abbildung 2-9:	Produktionshalle (li) mit vorgefertigten, schraubpressverklebten Holzleichtbauelementen (beim Einheben) (re) [19] .....	18
Abbildung 2-10:	Druckmessfolien zwischen den nichtverklebten Füge­teilen [2].....	22
Abbildung 2-11:	Fichte   $t = 15 \text{ mm}$   $d_{\text{head}} = 22 \text{ mm}$ [24].....	22
Abbildung 2-12:	Birke   $t = 25 \text{ mm}$   $d_{\text{head}} = 22 \text{ mm}$ [24] .....	22
Abbildung 2-13:	BSP   $t = 100 \text{ mm}$   $d_{\text{head}} = 22 \text{ mm}$ [24] .....	22
Abbildung 2-14:	BSP   $t = 100 \text{ mm}$   $d_{\text{head}} = 35 \text{ mm}$ [24] .....	23
Abbildung 2-15:	zur Ermittlung der aufgebracht­en Schraubenkraft verwendete Druckmesshülsen und zeitlicher Verlauf der aufgebracht­en Schraubenkraft [2] .....	23
Abbildung 2-16:	einzuhaltende Randbedingungen bei einer Schraubpressverklebung nach ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1] 26	
Abbildung 3-1:	Übersicht zu den Grundgedanken des Total Quality Management [31] .....	29
Abbildung 3-2:	qualitätsbestimmende Faktoren einer Klebeverbindung [33] .....	30
Abbildung 3-3:	Definition bzw. Ableitung des Begriffs „Tätigkeit“ [34].....	31
Abbildung 4-1:	Strukturebenen des Holzes [14].....	37
Abbildung 4-2:	typische Holzstruktur eines Nadelholzes [38] .....	38
Abbildung 4-3:	schematische Darstellung der Beanspruchbarkeiten und des Leistungspotenzials von Holz [12] 38	
Abbildung 4-4:	Sorptionsisothermen (Keylwert-Diagramm) für Fichtenholz .....	40
Abbildung 4-5:	Zusammenhang zwischen der Holzfeuchte und mechanischen Eigenschaften von Holz [43] 41	
Abbildung 4-6:	Querdruckfestigkeit von Prüfkörpern mit unterschiedlicher Jahrringstellung (für Esche) [39] 44	
Abbildung 4-7:	Einfluss der Jahrringlage auf die Schubfestigkeit von Holz [43] .....	44
Abbildung 4-8:	Übersicht verfügbarer Holzwerkstoffe [38] .....	46
Abbildung 4-9:	BSP – Element aus Vorversuchen.....	47
Abbildung 4-10:	18 mm 1S – Platte der Prüfserien A6, A7, O7 und F8 (li) und 27 mm 1S – Platte der Prüfserien B6, A8 und B7 (re) .....	48
Abbildung 4-11:	16 mm 3S – Platte der Prüfserien D6 und D7 (li) und 27 mm 3S – Platte der Prüfserien J7, B8, E6, E7 und H8 (re) .....	48
Abbildung 4-12:	9 mm BSPH Fichte der Prüfserien F6 und F7 (li) sowie 30 mm BSPH Buche der Prüfserien P7 und I8 (re).....	49
Abbildung 4-13:	12 mm OSB – Platte der Prüfserien H6 und H7 .....	49
Abbildung 4-14:	27 mm Kerto – S der Prüfserie I6 .....	50
Abbildung 4-15:	Übersicht der verwendeten Schraubentypen .....	52
Abbildung 4-16:	Senkkopfschrauben (li) und Tellerkopfschrauben (re) .....	52
Abbildung 4-17:	Übergang vom Schraubenschaft.....	52
Abbildung 5-1:	Prüfeinrichtung (li) und Prüfkörperdimensionen (re) für Schraubenkopfdurchziehprüfungen [50] .....	54
Abbildung 5-2:	Schervorrichtung zur Überprüfung der Integrität der Klebefuge gemäß ÖNORM EN 14080 [25] 55	
Abbildung 5-3:	Grenzwerte der Scherfestigkeit in Abhängigkeit vom Faserbruchanteil nach ÖNORM EN 14080 [25] 57	



Abbildung 5-4:	WA-T 10 – 100 mm Wegtaster von HBM (li) und Detailaufnahme der Kontaktpunktes von Wegtaster und Schraubenkopf.....	58
Abbildung 5-5:	für die Kopfdurchziehprüfungen verwendete Prüfkonfiguration.....	59
Abbildung 5-6:	gemessene Klebfugendicke mit USB – Mikroskopkamera.....	60
Abbildung 5-7:	Zugeschnittene Prüfkörper (li) und BSP – Basiselement für die Vorversuche (re) .....	60
Abbildung 5-8:	Basiselemente aus BSP für die Schraubpressverklebung zur Durchführung von Scherprüfungen	61
Abbildung 5-9:	Klebstoffauftragsmenge mit Waage bestimmt (li), anschließend gleichmäßige Verteilung des Klebstoffs mit geeigneter Spachtel (re).....	63
Abbildung 5-10:	Einschraubvorgang bzw. Aufbringung des Schraubenpressdrucks (li) und Schraubenraster sowie Lage der Prüfkörper (re) .....	63
Abbildung 5-11:	Austritt des Klebstoffs unmittelbar nach Aufbringung des Schraubenpressdrucks.....	63
Abbildung 5-12:	Zuschnitt der Plattenstreifen in Faserrichtung .....	64
Abbildung 5-13:	Markierung der Prüfkörperentnahme .....	64
Abbildung 5-14:	Bezeichnungssystematik der Prüfkörper .....	65
Abbildung 5-15:	Prüfkonfiguration für die Serie A0, B0 & R0 (li) und A1 & B1 (re) .....	67
Abbildung 5-16:	Bezeichnungssystematik der Kopfdurchziehprüfungen .....	67
Abbildung 5-17:	charakteristisches Bruchbild einer Kopfdurchziehprüfung mit Senkkopfschraube (K-12-27-B6-11)	72
Abbildung 5-18:	charakteristisches Bruchbild einer Kopfdurchziehprüfung mit Tellerkopfschraube (K-22-40-G8-13)	72
Abbildung 5-19:	Darstellung der Scherprüfeinrichtung (li) und Detailaufnahme der Scherkante (re) .	73
Abbildung 5-20:	Schraubenabstände parallel (a1) und rechtwinklig (a2) zur Decklagenrichtung gemäß ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1] und für die Prüfserien zur Ermittlung der Scherfestigkeit.....	75
Abbildung 5-21:	Detailaufnahme des Übergangs vom Schraubenschaft zum Senk- bzw. Tellerkopf...	76
Abbildung 5-22:	Prüfcurve vor Anpassung und Detail des Angangsbereichs .....	76
Abbildung 5-23:	Anpassung der Prüfcurve mittels Tangente an die Kraft-Verformungs-Kurve und neue Lage des Nullpunktes (Rautensymbol) .....	77
Abbildung 5-24:	Schraubenkopfhöhe $d_t$ einer Senkkopfschraube (li) und einer Tellerkopfschraube (re) zur Auswertung des Schraubenkopfdurchziehparameters $f_{head,w}$ .....	78
Abbildung 5-25:	Vergleich der Kräfte $F_{max}$ und $F_{7,0}$ für die Prüfkörper K-12-27-J7-01 bis 10 .....	79
Abbildung 5-26:	Vergleich der Kräfte $F_{max}$ und $F_{7,0}$ für die Prüfkörper K-12-27-J7-11 bis 20 .....	79
Abbildung 5-27:	Verworfenen Prüfcurve der Serie D0.....	80
Abbildung 5-28:	Bild der elektronischen Mikroskopkamera zur Bestimmung der Klebefugendicke .....	80
Abbildung 6-1:	Farbzuweisung entsprechend der geprüften Holzwerkstoffprodukte .....	82
Abbildung 6-2:	Farbzuweisung entsprechend der geprüften Holzwerkstoffprodukte .....	97
Abbildung 6-3:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie A0	100
Abbildung 6-4:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie A1	101
Abbildung 6-5:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie B0	101
Abbildung 6-6:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie B1	102
Abbildung 6-7:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie B2	102
Abbildung 6-8:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie C0	103
Abbildung 6-9:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie C1	103
Abbildung 6-10:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie D0	104
Abbildung 6-11:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie D1	104



Abbildung 6-12:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und dem Faserbruchanteil von Serie D2	105
Abbildung 6-13:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke; S-11-18-A0	105
Abbildung 6-14:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke; S-11-18-A1	106
Abbildung 6-15:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke; S-14-27-B0	106
Abbildung 6-16:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke; S-14-27-B1	107
Abbildung 6-17:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke; S-14-27-B2	107
Abbildung 6-18:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke; S-11-16-C0	108
Abbildung 6-19:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke; S-11-16-C1	108
Abbildung 6-20:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke; S-14-27-D0	109
Abbildung 6-21:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke; S-14-27-D1	109
Abbildung 6-22:	Zusammenhang zwischen der Scherfestigkeit und der Klebefugendicke; S-14-27-D2	110
Abbildung 7-1:	Kopfdurchziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Rohdichteverteilung – alle Serien der Vorversuche	116
Abbildung 7-2:	Kopfdurchziehfestigkeit von Holz und Holzwerkstoffen aus Fichte in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers nach ÖNORM EN 1383	125
Abbildung 7-3:	Kopfdurchziehfestigkeit von Holz und Holzwerkstoffen aus Fichte in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers bei absolutem Verformungsbeiwert	126
Abbildung 7-4:	Kopfdurchziehfestigkeiten unterschiedlicher Schraubenzulassungen und die Ergebnisse dieser Arbeit von Holz und Holzwerkstoffen aus Fichte in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers	127
Abbildung 7-5:	Kopfdurchziehfestigkeiten von Radovic und den Ergebnissen dieser Arbeit von Holzwerkstoffen aus Baufernier aus Buche in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers [54]	128
Abbildung 7-6:	Kopfdurchziehfestigkeiten von Munch Anderson, Wang et al. und den Ergebnissen dieser Arbeit von OSB in Abhängigkeit des Schraubenkopfdurchmessers [55] [56]	129
Abbildung 8-1:	Grund- und Aufriss eines „Regelfeldes“ bei der Schraubpressverklebung	133
Abbildung 8-2:	Lastaufteilungsverfahrens nach Marcus (li) und Ansicht einer in Streifen aufgeteilten Platte (re) [58] [59]	134
Abbildung 8-3:	schubweicher Balken (li) und schubstarrer Balken (re) [60]	136
Abbildung 8-4:	Balkensystem (li) und Gleichgewichtsbedingungen eines infinitesimal kleinen Balkenelements (re)	136
Abbildung 8-5:	Kinematik des Balkensystems (li) und infinitesimales Balkenelement (re)	137
Abbildung 8-6:	elastisch gebetteter Balken	139
Abbildung 8-7:	Schraubpressverklebung modelliert als elastisch gebetteter Balken	139
Abbildung 8-8:	Detail des elastisch gebetteten Balkens mit Modell des aufzuklebenden Teils	140
Abbildung 8-9:	Kraft/Verformungs-Modell des elastisch gebetteten Balkens [58]	141
Abbildung 8-10:	elastisch gebetteter Balken   unendlich lang	142
Abbildung 8-11:	Querdruckversuch (li) und Kraft/Wegdiagramm bei Querdruckbeanspruchung (re)	145
Abbildung 8-12:	3d – „Regelement (ohne (li) und mit Querdehnungsbehinderung (re))	146
Abbildung 8-13:	Skizze zur Bestimmung von $t$ , $k_0$ und dem Vorfaktor	147
Abbildung 8-14:	Verteilung der vertikalen Spannungen im Bereich der Schraube einer Schraubpressverklebung (li) [K. Bratulic] und Verlauf der Schraubenkraft über die Tiefe (im Gewindebereich) sowie „wirksame“ Tiefe mit konstanter Kraft [M. Augustin] [2]	147

Abbildung 8-15:	Abhängigkeit der Scherfestigkeit vom Pressdruck [63] .....	149
Abbildung 8-16:	vorverformte Systemskizze.....	150

## A-3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Anforderungen an Klebstoffe [5].....	7
Tabelle 2-2:	Einteilung nach Abbindemechanismus [5].....	8
Tabelle 3-1:	Abmessungen von Scherprüfkörpern .....	33
Tabelle 3-2:	Abmessungen der Prüfkörper zur Überprüfung der Delaminierungsbeständigkeit.....	34
Tabelle 3-3:	Übersicht der Delaminierungsprüfungen nach ÖNORM EN 14080 [25].....	35
Tabelle 4-1:	E- Moduli sowie Schub-Moduli in den drei Hauptrichtungen von Holz .....	39
Tabelle 4-2:	Festigkeitseigenschaften von Holz [39] .....	39
Tabelle 4-3:	verwendete Schrauben [49].....	51
Tabelle 5-1:	Prüfkörperabmessungen gemäß ÖNORM EN 1383 [50].....	54
Tabelle 5-2:	Grenzwerte zur Einhaltung einer ausreichenden Klebefugenqualität nach ÖNORM EN 14080 [25]	56
Tabelle 5-3:	Informationen zum Klebeprozess.....	62
Tabelle 5-4:	Durchmesser $D$ der Stahlplatte, auf welcher die Prüfkörper in Abhängigkeit der Bauteildicke und des Schraubenkopfdurchmessers $d_{head}$ gelagert waren.....	68
Tabelle 5-5:	V1 – Referenzserien A6 bis I6 zu je 20 Probekörpern.....	69
Tabelle 5-6:	V2 - Prüfserien zu je 20 Probekörpern.....	69
Tabelle 5-7:	V3 - Prüfserien zu je 20 Probekörpern.....	70
Tabelle 5-8:	V4 - Prüfserien zu je 20 Probekörpern.....	71
Tabelle 5-9:	Übersicht der Prüfserien für die Scherprüfungen .....	74
Tabelle 5-10:	Berechnung des absoluten Verformungswertes.....	78
Tabelle 6-1:	Zusammenfassung der Ergebnisse der Kopfdurchziehprüfungen der Vorversuche – Tellerkopfschraube $d = 8 \text{ mm}$   $d_{head} = 22 \text{ mm}$ .....	83
Tabelle 6-2:	Zusammenfassung der Ergebnisse der Kopfdurchziehprüfungen mit Senkkopfschrauben.....	85
Tabelle 7-1:	Beziehung zwischen Fügeteildicke und Verformung $w$ bei $F_{max}$   Senkkopfschrauben.....	118
Tabelle 7-2:	Beziehung zwischen Fügeteildicke und Verformung $w$ bei $F_{max}$   Senkkopfschrauben (Fortsetzung).....	118
Tabelle 7-3:	Beziehung zwischen Fügeteildicke und Verformung $w$ bei $F_{max}$   Tellerkopfschrauben.....	121
Tabelle 7-4:	prozentueller Anteil der Prüfkörper mit unzureichender Scherfestigkeit nach ÖNORM EN 14080 [26]	130
Tabelle 8-1:	praxisrelevante Pressdrücke für unterschiedliche Holzprodukte [63].....	149

Dies ist eine Veröffentlichung des

### **FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ**

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“. Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe

S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | F – Forschungsberichte  
V – Vorträge, Tagungen | M – Masterarbeiten

Institutskennzahl:

1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau  
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke  
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft  
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl