

Einfluss der Sperrwirkung auf den Auszieh- widerstand selbstbohrender Holzschrauben

Eine vergleichende Betrachtung zwischen BSP und BSH

M-4-01/2012



Reichelt Birgit 0330383 F066 465

Institut für Holzbau und Holztechnologie
Technische Universität Graz

Einfluss der Sperrwirkung auf den Auszieh Widerstand selbstbohrender Holzschrauben

Eine vergleichende Betrachtung
zwischen BSP und BSH

Masterarbeit von

Birgit Reichelt, BSc

Eingereicht am

Institut für Holzbau und Holztechnologie

Technische Universität Graz

Begutachter:

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

Betreuer (alphabetisch):

Dipl.-Ing. (FH) Reinhard Brandner

Dipl.-Ing. Gernot Pirnbacher

Dipl.-Ing. Andreas Ringhofer

Graz, März 2012

Erklärung

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

Birgit Reichelt

Graz, März 2012

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei den Menschen bedanken, die mich während meines Studiums und bei der Erstellung dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Ich danke Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer und meinen Betreuern Dipl.-Ing. Andreas Ringhofer, Dipl.-Ing. (FH) Reinhard Brandner und Dipl.-Ing. Gernot Pirnbacher für die Betreuung und Hilfestellung bei meiner Masterarbeit. Die kritische Begutachtung und die motivierenden Worte waren eine große Hilfe und Unterstützung. Die Erfahrung, wie interessant und umfangreich Forschung im Holzbau ist, möchte ich nicht missen.

Weiters möchte ich mich bei den Mitarbeitern des Institutes für Holzbau und Holztechnologie und der holz.bau forschungs gmbh, besonders bei Tischlermeister Ing. Bernd Heisenberger, für die große Hilfsbereitschaft und tatkräftige Unterstützung in allen Phasen dieser Masterarbeit bedanken.

Der größte Dank gebührt meinen Eltern, meiner Familie und meinem Verlobten, Florian Zehentner, nicht nur für die finanzielle Unterstützung, sondern besonders fürs Zuhören und dafür, dass sie immer für mich da sind.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Freunden, besonders bei Mag. (FH) Monika Kusin, und Studienkollegen für ihre langjährige Freundschaft und schönen Erinnerungen an die Studienzeit bedanken.

Kurzfassung

Einfluss der Sperrwirkung auf den Auszieh Widerstand selbstbohrender Holzschrauben

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit der Untersuchung des „Aufbaufaktors“ auf die Ausziehfestigkeit selbstbohrender VG-Holzschrauben in Brettspertholz (BSP). Dies wird untersucht, da bei zuvor durchgeführten Prüfungen im Rahmen der Masterarbeit von Mahlknecht festgestellt wurde, dass der Auszieh Widerstand einer Einzelschraube in BSP um circa 14 % höher ist, als in einem vergleichbaren Vollholz-Element.

Insgesamt wurden im Rahmen dieser Arbeit 960 Schraubenausziehprüfungen in BSP und Brettschichtholz (BSH; je 432 Prüfungen) bzw. Vollholz (96 Prüfungen) mit einem Schraubendurchmesser von 8 mm und 12 mm durchgeführt. Die BSP- und BSH-Prüfkörper waren hinsichtlich ihrer Materialparameter ident, jedoch variierte die Schichtanzahl ($n = 3, 6, 20$) bei konstanter Prüfkörperhöhe. Es konnte festgestellt werden, dass die Ausziehfestigkeit mit steigender Schichtanzahl einen Anstieg erfährt. Im Vergleich Vollholz zu BSP bzw. BSH beträgt dieser Anstieg bei $n = 20$ im Mittel 14 % bzw. 10 %. Dieser Anstieg, folglich als „Aufbaufaktor“ k_{lay-up} bezeichnet, setzt sich aus den multiplikativen Beiwerten zur Berücksichtigung des „Vergütungseffektes“ k_{sys} – Einfluss der Schichtanzahl bei BSP und BSH – und des „Sperrreffektes“ k_{cross} – Einfluss der gesperrten Struktur bei BSP – zusammen. Für beide Einflüsse wurden Modelle gebildet. Die Ergebnisse im Vergleich zu den Prüfwerten werden eingehend in der Arbeit diskutiert.

Es konnte festgestellt werden, dass die Schichtanzahl einen relevanten Einfluss auf den Auszieh Widerstand einer Schraube hat. Für eine vertiefende Modellbildung des k_{sys} -Beiwertes wird empfohlen, die bis dato fehlende Kenntnis des Spannungsverlaufes entlang der Schraubenachse zu berücksichtigen. Da der Einfluss der Sperrung bei einer baupraktisch üblichen Schichtanzahl gering ist, gilt diese als baupraktisch wenig relevant und kann in Folge mit $k_{cross} = 1,0$ angegeben werden. Gemäß dem derzeitigen Stand der Technik ist BSP bei der Ermittlung des Auszieh Widerstandes wie Vollholz zu behandeln. Die hier dargelegten Ergebnisse legen nahe, dass es gerechtfertigt ist die, wie bei BSH übliche Erhöhung der charakteristischen Rohdichte von 10 %, auch für die Berechnung des Auszieh Widerstandes von in Seitenflächen applizierten Schrauben bei BSP in Rechnung zu stellen.

Abstract

Influence of the „cross effect“ on the withdrawal resistance of self-tapping screws

This master thesis deals with the analysis of the „structure factor“ on the withdrawal strength of self-tapping screws in cross laminated timber (CLT). This work was motivated by previous conducted best indicating 14 % higher withdrawal resistance of single screws placed in CLT if compared in placement in solid timber.

In the frame of this project in total 960 withdrawal tests in CLT, GLT (glued laminated timber; 432 each) and solid timber (96 tests) were carried out by means of screw with diameters of 8 mm and 12 mm. CLT and GLT test specimens were thereby identical in terms of material parameters. The number of layers varied between $n = 3, 6, 20$ by leaving the height constant. It was found that the withdrawal strength increases with increasing of number layer. Comparing withdrawal strength of solid timber with that of CLT and GLT, of $n = 20$ an increase on average 14 % and 10 %, respectively, can be observed. This increase is therefore referred to as „structure factor“ $k_{\text{lay-up}}$. It was found that this factor is composed of the multiplicative coefficients in order to take account of the „homogenisation effect“ k_{sys} , representing influence of the number of layers in CLT and GLT, and the „cross effect“ k_{cross} , representing the influence of the crossed structure of CLT. Thus models for both effects were defined separately.

It was found that the number of layers has a significant effect on the withdrawal resistance of a screw. For a more detailed modelling of the k_{sys} -coefficient it is recommended to consider currently not available quantitative stress distribution along the screw axis. Since the influence by crossing the layer is small this effect is judged as being less relevant in building practice and can therefore be specified with $k_{\text{cross}} = 1,0$. Furthermore, current state of the art, treats CLT in density like solid timber. The result presented here suggest that it is justified, to consider the increase of the characteristic density with 10 %, as common for GLT, also in the calculation of withdrawal strength of screws applied to side surfaces in CLT.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung und Zielsetzung	1
1 Motivation	2
2 Ziel der Arbeit	3
Stand des Wissens und der Technik	5
1 Allgemeines	6
1.1 Grundlegendes zu Brettsperr- und Brettschichtholz	6
1.1.1 Grundlagen	6
1.1.2 Entwicklung des Brettsperrholzes	7
1.2 Grundlegendes zur Holzschraube	8
2 Normative Festlegungen	9
2.1 ÖNORM EN 1995-1-1:2009 [2]	9
2.2 DIN 1052:2008 [1]	11
2.3 SIA 265:2003 [3]	14
2.4 Gegenüberstellung der normativen Bestimmungen.....	16
3 Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz	19
4 Gegenüberstellung von Ausziehwiderständen	22
Vergleich vorliegender Zulassungsinhalte zum Thema	25
1 Allgemein	26
2 Zulassungen für Brettsperrholz	27
2.1 Mayr-Melnhof Kaufmann Gaishorn GmbH	27
2.1.1 ETA-09/0036 [24]	27

2.1.2	Z-9.1-638 [25]	27
2.1.3	Produktdatenblatt M1 BSP crossplan [44]	27
2.2	KLH Massivholz GmbH	28
2.2.1	ETA-06/0138 [26]	28
2.2.2	Z-9.1-482 [27]	28
2.3	HMS Bausysteme GmbH	29
2.3.1	ETA-08/0242 [28]	29
2.3.2	Z-9.1-680 [29]	29
2.4	Vergleich der einzelnen Zulassungen für BSP	30
2.4.1	Vergleich der Europäischen Technischen Zulassungen	30
2.4.2	Vergleich der Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen	31
2.5	Überblick der Zulassungsinhalte anderer europäischer BSP- Hersteller	33
2.5.1	Vergleich der Europäischen Technischen Zulassungen	33
2.5.2	Vergleich der Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen	35
3	Zulassungen für Schrauben	36
3.1	HECO - Schrauben GmbH & Co. KG	36
3.1.1	Übereinstimmungen der ETA-11/0284 [30] und der ETA-11/0452 [31]	36
3.1.2	ETA-11/0284 [30]	37
3.1.3	ETA-11/0452 [31]	37
3.2	Adolf Würth GmbH & Co KG	37
3.2.1	ETA-11/0190 [39]	37
3.3	Vergleich der Inhalte der einzelnen Europäischen Technischen Schraubenzulassungen	38
4	Ermittlung des Auszieh Widerstandes selbstbohrender Holzschrauben ...	41
4.1	ÖNORM EN 1995-1-1	41
4.2	DIN 1052	42
4.3	SIA 265	43
4.4	Resümee	43

Prüfplanung und Durchführung der Laboruntersuchungen .. 45

1	Prüfplanung	46
1.1	Überblick über das Prüfprogramm	46
1.2	Allgemeines zur Ermittlung der Ausziehtragfähigkeit von Einzelschrauben	47
1.3	Prüfmaschine	48
1.4	Materialien	48
1.4.1	Verwendetes Holz	48
1.4.2	Verwendete Schrauben	49
1.5	Situierung der Schrauben - erforderliche Mindestabstände	51
1.6	Geplante Herstellung der Prüfkörper	52
2	Herstellung der Prüfkörper	54
2.1	Vom Brett zur Einzellamelle	54
2.2	Fertigen der Prüfkörper	58
2.3	Vorbereitung der Körper für die Prüfungen	60
2.4	Herstellung von „Vollholz“-Prüfkörpern	63
2.5	System der Prüfkörperbezeichnung	64
3	Durchführung der Prüfungen	66
3.1	Allgemein	66
3.2	Durchführung der Ausziehprüfungen	66
3.3	Nachbearbeitung	68
3.3.1	Vorarbeiten zur Aufbereitung der Prüfdaten	68
3.3.2	Bereinigung der Daten	68
4	Prüfdaten	70
4.1	Charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit	70
4.2	Feuchtegehalt u	71
4.3	Rohdichte	71
4.3.1	Normalrohddichte ρ_u	71
4.3.2	Darrrohddichte ρ_0	72
4.3.3	Rohdichte bei 12 % Holzfeuchte ρ_{12}	72

4.4	Nachgiebigkeit von Verbindungen.....	72
4.4.1	Allgemeines zur Berechnung der Verschiebungsmoduln K_{ser} und K_U einer Schraube	73
4.4.2	Ermittlung der Verschiebungsmoduln K_{ser} und K_U im Rahmen dieser Masterarbeit	73
4.5	Auswertung der Prüfdaten.....	75
4.5.1	Charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit $f_{ax,k}$	75
4.5.2	Feuchtegehalt u	76
4.5.3	Normalrohddichte ρ_U	77
4.5.4	Rohddichte bei 12 % Holzfeuchte ρ_{12}	82
4.5.5	Verschiebungsmoduln K_{ser} und K_U	84
Modellbildung und Vergleich		87
1	Allgemeine Betrachtungen	88
2	Veränderung der Rohddichte über die Schichtanzahl	89
2.1	Allgemein	89
2.2	Ergebnisse	89
2.2.1	Charakteristischer Wert der Rohddichte	89
2.2.2	Mittelwert der Rohddichte	90
2.2.3	Vergleich von Brettsperrholz und Brettschichtholz	91
2.3	Korrektur der Ergebnisse	92
2.3.1	Darstellung der korrigierten Ergebnisse	94
2.4	Vergleich der charakteristischen Rohddichte von Brettsperrholz und Brettschichtholz	98
2.5	Vergleich des Variationskoeffizienten	100
2.5.1	Darstellung der Ergebnisse	100
2.5.2	Einfluss der Korrektur der Rohddichte	102
2.6	Ursache für die Änderung der Rohddichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl	103
3	Veränderung der Ausziehfestigkeit f_{ax} über die Schichtanzahl	104
3.1	Ergebnisse	104
3.1.1	Darstellung der Ergebnisse - Vergleich von BSP und BSH	105
3.1.2	Darstellung der Ergebnisse - Einfluss der Vorbohrung	110

3.2	Diskussion der Ergebnisse	112
3.2.1	Allgemein	112
3.2.2	„Aufbaufaktor“ k_{lay-up}	113
4	Modellbildung	116
4.1	„Vergütungseffekt“ k_{sys}	116
4.1.1	Allgemein	116
4.1.2	Vergleich der Modellergebnisse mit den Prüfergebnissen	118
4.2	„Sperreffekt“ k_{cross}	121
4.2.1	Allgemein	121
4.2.2	Vergleich der Modellergebnisse mit den Prüfergebnissen	122
5	Vergleich	126
5.1	Vergleich der Prüfergebnisse mit Norm und Zulassung	126
5.1.1	Prüfergebnisse	126
5.1.2	Ergebnis der Berechnung laut ÖNORM EN 1995-1-1 [2]	128
5.1.3	Ergebnis der Berechnung laut Zulassung	129
5.1.4	Vergleich der verschiedenen Ergebnisse	130
5.2	Vergleich der Prüfergebnisse mit Modellergebnissen.....	131
5.2.1	Allgemein	131
5.2.2	Modelle nach Blaß [16]	132
5.2.3	Modelle von Pirnbacher [20]	136
5.2.4	Modell von Frese [21]	138
	Ausblick	143
	Literaturverzeichnis	145
	Abbildungsverzeichnis	152
	Tabellenverzeichnis	158

Einleitung und Zielsetzung

1 Motivation

Im Zuge der Masterarbeit von Frau DI Ursula Mahlknecht am Institut für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz wurde unter anderem im kleinen Rahmen der Auszieh-
widerstand selbstbohrender Holzschrauben in BSP-Elementen geprüft. Dabei konnte
festgestellt werden, dass dieser durchschnittlich um circa 14 % höher war als der Aus-
zieh-
widerstand einer Einzelschraube in einem vergleichbaren Vollholz-Element zufolge
eines Laborversuches (direkte Versuchsergebnisse).

Die geprüften Brettsperrholzelemente wurden nicht für diese Versuche hergestellt, son-
dern es wurde vorhandenes Material verwendet. Es gab vier Typen von BSP, wobei drei
Typen aus drei Lagen mit identer Höhe bestanden (Gesamthöhe $h = 100$ mm) und ein
Typ aus fünf Lagen bestand (die Dicke der beiden Querlagen war geringer, Gesamthöhe
 $h = 140$ mm). Die Prüfung erfolgte mit Teilgewindeschrauben, allerdings wurde die Ein-
bindetiefe variiert.

Derzeit gibt es für Ingenieure keine direkt in Normen festgelegte Nachweiskonzepte für
die Bemessung von Brettsperrholzprodukten und Verbindungsmitteln in Brettsperrholz-
produkten, welche jedoch für die weitere Verbreitung dieses Baustoffes notwendig sind.

Zur Berechnung des Auszieh-
widerstandes für diese Konfiguration steht momentan nur
der Forschungsbericht von Blaß „Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brett-
sperrholz“ [17] zur Verfügung.

Das Modell zur Beschreibung des Auszieh-
widerstandes selbstbohrender Holzschrauben
in Brettsperrholz, welches das Ziel dieser Diplomarbeit ist, ist ein weiterer kleiner Schritt
zur wirtschaftlicheren Nutzung von Brettsperrholzprodukten.

2 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung des Einflusses des Schichtaufbaues von BSP-Elementen – der sogenannte „Aufbaufaktor“ – auf den Auszieh Widerstand selbstbohrender Holzschrauben. Alle Elemente haben eine konstante Gesamtplattendicke, jedoch variiert die Anzahl der Schichten und damit die Einzelschichtstärke. Insgesamt kommen drei Lamellenstärken (6 mm, 20 mm, 40 mm) zur Ausführung.

Parallel zur Ermittlung des Auszieh Widerstandes bei BSP-Elementen werden auch parameteridentische BSH-Elemente geprüft.

Um auch den Einfluss des Schraubendurchmessers auf den Auszieh Widerstand in Abhängigkeit des Schichtaufbaus zu erhalten, werden die Versuche mit zwei unterschiedlichen Durchmessern ($\varnothing 8$, $\varnothing 12$) durchgeführt. Dabei ist anzumerken, dass der Auszieh Widerstand beider Durchmesser aus demselben Prüfkörper ermittelt wird.

Stand des Wissens und der Technik

1 Allgemeines

Wird eine Schraube auf Herausziehen beansprucht, so werden die Kräfte in das Holz in Schraubenlängsrichtung übertragen. Bei dieser Art der Beanspruchung treten unter anderem zwei Versagensmechanismen auf. Entweder es kommt zum Versagen auf Herausziehen (Versagen des Verbundes Holz-Schraube) oder zum Versagen der Schraube selbst auf Stahlzugbruch.

Bei dem Versagen einer Holzschraube auf Herausziehen „[...] kommt es bei entsprechender Belastung zum Überschreiten der Scher- bzw. Schubfestigkeit im durch die Umrisslinie des Schraubengewindes gebildeten Bereich des Holzes“ wie dies Schickhofer [19] beschreibt.

Es kann auch zu einem Stahlzugversagen der Holzschraube kommen. Der Bruch kann entweder im Übergang des Schraubenkopfes zum Schaft oder beim Gewinde auftreten. Das Versagen des Schraubenmaterials (Stahl) selbst tritt auf, wenn die Beanspruchbarkeit der Schraube auf Zug überschritten wird.

1.1 Grundlegendes zu Brettsperr- und Brettschichtholz

In den Grundlagen werden die Aufbauten der beiden Baustoffe allgemein erklärt und danach wird kurz auf die Entwicklung des Brettsperrholzes eingegangen. Die Angaben sind Schickhofer et al. [13] entnommen.

1.1.1 Grundlagen

Sowohl Brettsperrholz (BSP) als auch Brettschichtholz (BSH) besteht aus mindestens drei Brettlagen, die übereinander geschichtet und miteinander verklebt sind. Ein Brett wird definiert als Schnittholz mit einer Breite $b \geq 80$ mm und einer Dicke $t \leq 40$ mm (für BSH ≤ 45 mm).

Bei Brettsperrholz erfolgt die Anordnung der Brettlamellen kreuzweise ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) - siehe Abb. 2.1 (links). Die dadurch produzierbaren BSP-Platten – mit einer maximalen Höhe von rund 3,0 m und einer maximalen Breite von rund 16,0 m – werden zum Beispiel als Wand- bzw. Deckenelemente verwendet und bilden die Grundlage der Holz-Massivbauweise. Durch die Verklebung sind die Brettlamellen quasi starr verbunden und innerhalb einer Brettlage strebt man keine planmäßigen Fugen an.

Da die Basis des Systemsproduktes BSP das Brett ist, muss das verwendete Material einer in der EN 338 „Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen“ festgelegten Festigkeitsklasse – meist C24, aber auch C16 oder C18 für Querlagen – angehören, jedoch müssen alle Bretter einer Lage derselben Festigkeitsklasse entsprechen (sonst gilt die niedrigste Festigkeitsklasse). Die hauptsächlich verarbeitete Holzart ist Fichte.

Für die Flächenverklebung der Einzelschichten kommen hauptsächlich zwei normativ geregelte Klebstoffe zum Einsatz. Diese sind entweder Aminoplaste (MF, MUF) oder ein-komponentige Polyuretanklebstoffe (1K-PUR). Neben den statischen Anforderungen (zum Beispiel Mindestscher(schub)festigkeit der Flächenverklebung) sind auch das Brandverhalten und das Langzeitverhalten maßgebende Parameter.

Im Gegensatz dazu werden bei Brett-schichtholz die einzelnen Brett-lamellen faserparallel angeordnet und miteinander verklebt – siehe Abb. 2.1 (rechts). Dadurch entsteht ein stabförmiges Produkt, welches zum Beispiel als Träger oder Stütze Verwendung findet.

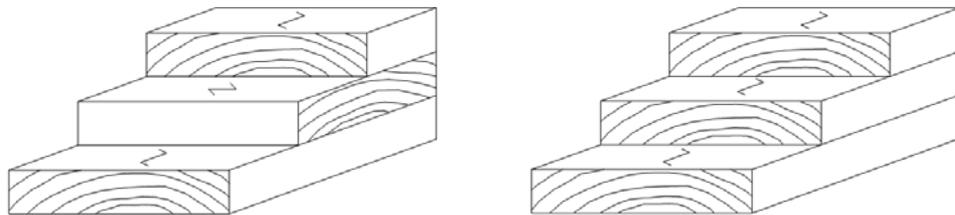


Abb. 2.1 Aufbau eines BSP-Körpers (links) und eines BSH-Körpers (rechts)

1. 1. 2 Entwicklung des Brettsperrholzes

Die Entwicklung von Brettsperrholz erfolgte im deutschsprachigen Alpenraum (Österreich, Deutschland (Bayern) und Schweiz). Die Massivbauweise in Brettsperrholz ist die Weiterentwicklung der traditionellen Holz-Massivbauweisen (Blockbauweise + Stabbauweise). Durch die Klebtechnologie konnten die Hauptnachteile – Quellen und Schwinden quer zur Faser – der traditionellen Holz-Massivbauweisen eliminiert werden.

Obwohl es seit circa 1970 erste Überlegungen und bauliche Ausführungen (hauptsächlich Dachflächentragwerke) zum Thema Brettsperrholz gab, begannen die intensiven Forschungen um 1990. Einige Jahre später (1993 - 1995) wurden erste Prototypen in der Schweiz und in Deutschland aus diesem Baustoff errichtet.

Erst im Jahr 2000 wurde der Begriff „Cross Laminated Timber“ (CLT) – der Begriff Brettsperrholz in das Englische übersetzt – erstmals bei der COST Action E5 „Timber Frame Building Systems“ in Venedig verwendet. Danach wurden die Forschungstätigkeiten im gesamten deutschsprachigen Raum intensiviert und eine Vielzahl von Forschungsberichten, Dissertationen, usw. werden bis heute verfasst.

In Österreich wurde das erste mehrgeschossige Wohnhaus im Jahr 1998 in der Steiermark errichtet und im gleichen Jahr erhielten zwei Unternehmen (in Österreich und in Deutschland) erste Produktzulassungen. Bis heute wurden noch weitere Produktzulassungen und „Europäische technische Zulassungen“ ausgestellt.

Derzeit fehlt eine ordentliche normative Erfassung des Materials Brettsperrholz. Erste Erwähnungen gibt es in der DIN 1052:2008 [1], jedoch verweist diese auf uneinheitliche Produktzulassungen. In der für Österreich gültigen ÖNORM EN 1995-1-1:2009 [2] wird das Produkt Brettsperrholz nicht erwähnt.

1.2 Grundlegendes zur Holzschraube

Die Angaben dieses Abschnittes wurden dem Artikel „Die Kunst des Anziehens“ der Zeitschrift „Die Zeit“ [18] entnommen. Die unterschiedlichen Ausführungen der Schraubenköpfe sind in der Abb. 2.2 aufgeführt.

Eine wichtige Entwicklung der Schraubenindustrie war die Erfindung der Einschraubung mit einem Inbusschlüssel im Jahr 1936 (Inbus steht für **I**nnensechskant **B**auer und **S**chaurte). Durch den Inbusschlüssel können hohe Kräfte sicher übertragen werden.

Im Jahr 1967 wurde bei der Firma Altenloh, Brinck & Co. mit dem Firmensitz in Ennepetal-Milspe die **Span**plattenschraube mit Kreuzschlitz („x“) kurz Spax erfunden. Dies war die Geburtsstunde der modernen Holzbauschraube. Ab diesem Zeitpunkt ist kein Vorbohren mehr notwendig, da sich diese Schraube selbst ins Holz schneidet. Aufgrund der steilen Gewindegänge geht das Eindrehen schneller und der Schraubendreher rutscht wegen dem Kreuzschlitz weniger ab.

Die derzeit letzte Entwicklungsstufe ist die Entwicklung der Torx-Schraube der Firma Textron – hierbei handelt es sich um den Mutterkonzern des Inbus-Erfinders. Bei dieser Innenvielzahn-schraube wird die Kraft über runde Zähnen übertragen. Die Vorteile sind der gute Sitz des Schlüssels, eine bessere Kraftübertragung und weniger Materialermüdung der Schraube.

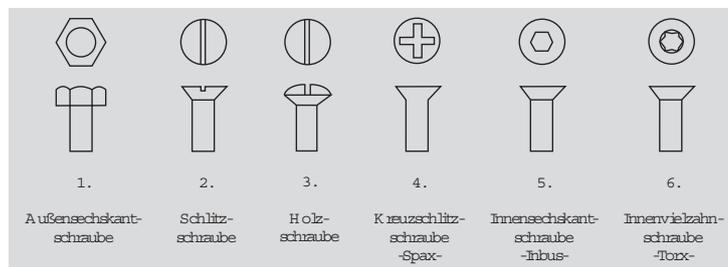


Abb. 2.2 unterschiedliche Ausführung des Schraubenkopfes bei Schrauben [18]

Es gibt zwei Arten zur Herstellung von Schrauben. Meist werden die Schrauben durch Kaltumformung hergestellt. Dabei wird Draht mit Hilfe von Pressen schrittweise gestaucht bis der Schraubenkopf gebildet ist. Dem so produzierten Nagel wird anschließend ein Gewinde aufgedrückt. Bei größeren Durchmessern erfolgt die Herstellung durch Warmumformung.

2 Normative Festlegungen

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Behandlung des Ausziehwiderstandes von selbstbohrenden Holzschrauben aus Brettsperrholz in den deutschsprachigen Normen (ÖNORM EN 1995-1-1:2009 [2], DIN 1052:2008 [1] und SIA 265:2003 [3]). Der bemessende Ingenieur steht einer Vielzahl von Normen gegenüber, deren Inhalte zu diesem Thema unterschiedlich sind oder fehlen. Anschließend werden unter 2. 4 die Bestimmungen der DIN 1052:2008 und der SIA 265:2003 einander gegenübergestellt und die Unterschiede aufgezeigt.

2.1 ÖNORM EN 1995-1-1:2009 [2]

In der ÖNORM EN 1995-1-1:2009 „Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau“ wird der Baustoff Brettsperrholz weder bei den Baustoffeigenschaften (Kapitel 3) noch bei den Verbindungen mit Holzschrauben (Kapitel 8.7) erwähnt. Der Anwendungsbereich dieser Norm umfasst die Bemessung und Konstruktion von Holzbauwerken aus Vollholz, Brettschichtholz oder anderen Bauprodukten aus Holz wie zum Beispiel Furnierschichtholz.

Im nationalen Anhang zum Eurocode 5, der ÖNORM B 1995-1-1:2010 [4], wird unter „6.3.2 Brettsperrholz“ folgende Ergänzung zur ÖNORM EN 1995-1-1:2009, Abschnitt 3 vorgenommen. „[...] Der Einsatz von Brettsperrholz in tragender Funktion wird durch technische Spezifikationen (Zulassungen) geregelt, in denen der Aufbau, die Abmessungen sowie die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichte-Kennwerte festgelegt sind.“

Bei den Verbindungen mit metallischen Verbindungsmitteln gibt es keine Angaben zur Verwendung des Baustoffes Brettsperrholz und auch bei den Teilsicherheitsbeiwerten wird auf die Tab. 2.3 der ÖNORM EN 1995-1-1:2009 verwiesen. Hier fehlen jedoch Angaben zu Brettsperrholz und auch beim Modifikationsbeiwert k_{mod} (Tab. 3.1) ist dieser Baustoff nicht aufgelistet.

In der Tab. 2.1 sind die Mindestabstände von axial belasteten Schrauben angeführt. Die Mindesteinbindetiefe des Schraubengewindes muss $6 \cdot d$ betragen.

a_1	a_2	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
$7 \cdot d$	$5 \cdot d$	$10 \cdot d$	$4 \cdot d$

Tab. 2.1 Mindestabstände von axial beanspruchten Schrauben [2]

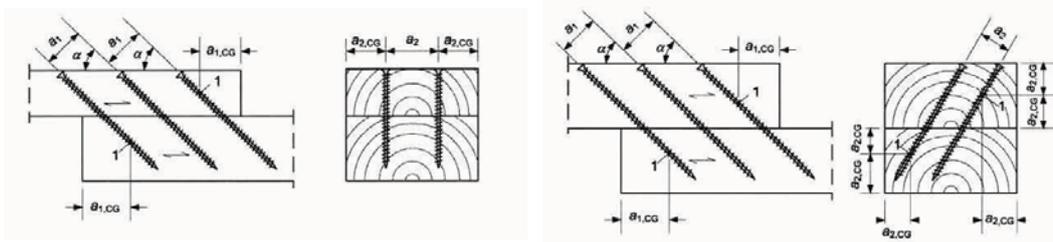


Abb. 2.3 Definition der Verbindungsmittelabstände [2]

Der charakteristische Auszieh Widerstand $F_{ax,\alpha,Rk}$ wird nach Glg. 2.1 berechnet. Dafür müssen die unten angeführten Bedingungen erfüllt sein. Wenn die Anforderung bezüglich des Verhältnisses zwischen Innen- und Nenndurchmesser nicht erfüllt ist, ist in der EN 1995-1-1 eine Korrekturformel angegeben.

- $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$
- $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \times f_{ax,k} \times d \times l_{ef} \times k_d}{1,2 \times \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad \text{in [N]} \quad \text{Glg. 2.1}$$

$$f_{ax,k} = 0,52 \times d^{-0,5} \times l_{ef}^{-0,1} \times \rho_k^{0,8} \quad \text{in [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Glg. 2.2}$$

$$k_d = \min\left\{\frac{d}{8}, 1\right\} \quad \text{Glg. 2.3}$$

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad \text{Glg. 2.4}$$

Wobei	$F_{ax,\alpha,k}$	... der charakteristische Auszieh Widerstand in einem Winkel zur Faserrichtung [N],
	n_{ef}	... die wirksame Verbindungsmittelanzahl [-],
	$f_{ax,k}$	... der charakteristische Wert der Ausziehfestigkeit [N/mm ²],
	d	... der Nenndurchmesser der Holzschraube [mm],
	l_{ef}	... die Gewindelänge im Holzteil einschließlich der Schraubenspitze [mm],
	k_d	... ein Dimensionsbeiwert [-],
	α	... der Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung [°],
	ρ_k	... die charakteristische Rohdichte [kg/m ³],
	n	... die Anzahl der Verbindungsmittel [-] und
	d_1	... der Innendurchmesser des Gewindes [mm] ist.

2.2 DIN 1052:2008 [1]

Der Anwendungsbereich dieser Norm umfasst die Berechnung und Ausführung von Bauwerken bzw. von tragenden oder aussteifenden Bauteilen aus Holz und Holzwerkstoffen. Weiters macht die DIN 1052:2008 „Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau“ folgende Angaben.

Unter „7.6 Brettsperrholz“ (Mehrschichtige Massivholzplatten) steht geschrieben: „Brettsperrholz bedarf eines Nachweises der Verwendbarkeit durch Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen, in denen der Plattenaufbau, die Schichtdicken sowie die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte festgelegt sind“.

Die Festlegungen in der Norm gelten ausschließlich bei Verwendung von Holzschrauben, deren Gewinde den Ausführungen der DIN 7998 entspricht. Zusätzlich muss die Schraube einen Nenndurchmesser von mindestens 4 mm aufweisen.

Holzschrauben unter axialer Beanspruchung werden nach ihrem Auszieh Widerstand in die Tragfähigkeitsklasse 1 bis 3 eingeteilt. Zusätzlich gibt es entsprechend dem Kopfdurchzieh Widerstand eine Einteilung in die Tragfähigkeitsklassen A bis C.

Folgende Formel - Glg. 2.5 - dient laut DIN 1052:2008 zur Berechnung des charakteristischen Auszieh Widerstandes $R_{ax,k}$ unter der Bedingung, dass der Einschraubwinkel zur Faserrichtung des Holzes zwischen $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ beträgt:

$$R_{ax,k} = \min \left\{ \frac{f_{1,k} \times d \times l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \times \cos^2 \alpha}; f_{2,k} \times d_k^2 \right\} \quad \text{in [N]} \quad \text{Glg. 2.5}$$

Wobei	$R_{ax,k}$	... der charakteristische Auszieh Widerstand [N],
	$f_{1,k}$	... der charakteristische Wert des Ausziehparameters [N/mm ²],
	$f_{2,k}$	... der charakteristische Wert des Kopfdurchziehparameters [N/mm ²],
	d	... der Nenndurchmesser der Holzschraube [mm],
	α	... der Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung [°],
	l_{ef}	... die Gewindelänge im Holzteil einschließlich der Schraubenspitze [mm] und
	d_k	... der Außendurchmesser des Schraubenkopfes (gegebenenfalls mit der Unterlegscheibe) [mm] ist.

Holzschrauben, deren Gewinde den Anforderungen der DIN 7998 entsprechen, werden der Tragfähigkeitsklasse 2a zugewiesen. Die Werte der Parameter $f_{1,k}$ und $f_{2,k}$ sind abhängig von der Tragfähigkeitsklasse, wie in der Tab. 2.2 gezeigt wird.

Tragfähigkeitsklasse	$f_{1,k}$	Tragfähigkeitsklasse	$f_{2,k}$
1	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	A	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
2	$70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	B	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
3	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	C	$100 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
charakteristische Rohdichte ρ_k in $[\text{kg}/\text{m}^3]$, jedoch höchstens $500 \text{ kg}/\text{m}^3$			

Tab. 2.2 charakteristische Werte für den Ausziehparameter $f_{1,k}$ und den Kopfdurchziehparameter $f_{2,k}$ in $[\text{N}/\text{mm}^2]$ für Holzschrauben [1]

Anzumerken ist, dass der volle Wert des Kopfdurchziehparameters $f_{2,k}$ nur dann bei Brettsperrholz angesetzt werden darf, wenn die Dicke der Platte mindestens 20 mm beträgt. Für die charakteristische Rohdichte ρ_k ist in diesem Fall ein Wert von $380 \text{ kg}/\text{m}^3$ einzusetzen. Bei Platten mit einer Dicke $12 \text{ mm} \leq t < 20 \text{ mm}$ ist für $f_{2,k}$ ein Wert von $8 \text{ N}/\text{mm}^2$ anzusetzen. Ist die Plattendicke geringer als 12 mm, so ist der charakteristische Ausziehparameter $R_{ax,k}$ mit 400 N anzusetzen.

Die Festlegungen der Mindestabstände, der Mindestholzdicken und der Einschraubtiefen sind gleich wie die Angaben bei auf Abscheren beanspruchten Holzschrauben. Dabei muss die Einschraubtiefe einschließlich der Schraubenspitze mindestens $4 \cdot d$ betragen. Aufgrund der Spaltgefahr bei Holz muss bei Schraubenverbindungen ohne Vorbohren die Mindestdicke nach Glg. 2.6 der zu verbindenden Bauteile eingehalten werden.

$$t = \max \left\{ 14 \cdot d; (13 \times d - 30) \times \frac{\rho_k}{200} \right\} \quad \text{in [mm]} \quad \text{Glg. 2.6}$$

Wobei t ... die Mindestdicke der zu verbindenden Bauteile [mm],
 d ... der Schraubendurchmesser [mm] und
 ρ_k ... die charakteristische Rohdichte $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ist.

Bei den Angaben zu den Mindestabständen zwischen den Verbindungsmitteln beziehungsweise zum Rand sind die Angaben bei auf Herausziehen beanspruchten Holzschrauben gleich wie bei Nägeln (näheres siehe Tab. 2.3).

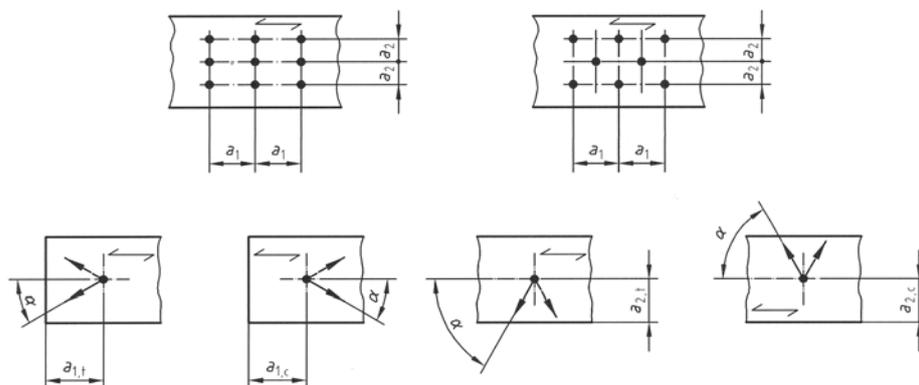


Abb. 2.4 Definition der Verbindungsmittelabstände [1]

		nicht vorgebohrt		vorgebohrt
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$	
a_1	parallel zur Faserrichtung	$d < 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(7 + 8 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
		$d \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 7 \cdot \cos \alpha) \cdot d$		
a_2	rechtwinkelig zur Faserrichtung	$5 \cdot d$	$7 \cdot d$	$3 \cdot d$
$a_{1,t}$	beanspruchtes Hirnholzende	$d < 5 \text{ mm}$: $(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(15 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
		$d \geq 5 \text{ mm}$: $(10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$		
$a_{1,c}$	unbeanspruchtes Hirnholzende	$d < 5 \text{ mm}$: $7 \cdot d$	$15 \cdot d$	$7 \cdot d$
		$d \geq 5 \text{ mm}$: $10 \cdot d$		
$a_{2,t}$	beanspruchter Rand	$d < 5 \text{ mm}$: $(5 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(7 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$(3 + 4 \cdot \sin \alpha) \cdot d$
		$d \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$d \geq 5 \text{ mm}$: $(7 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	
$a_{2,c}$	unbeanspruchter Rand	$5 \cdot d$	$7 \cdot d$	$3 \cdot d$

α ist der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

Tab. 2.3 Mindestabstände von Nägeln [1]

Die Glg. 2.7 gilt für die Berechnung des Bemessungswertes des Ausziehwiderstandes $R_{ax,d}$.

$$R_{ax,d} = \frac{R_{ax,k} \times k_{mod}}{\gamma_M} \quad \text{in [N]} \quad \text{Glg. 2.7}$$

Wobei $R_{ax,d}$... der Bemessungswert des Ausziehwerstandes [N],
 $R_{ax,k}$... der charakteristische Wert des Ausziehwerstandes [N],
 k_{mod} ... der Modifikationsfaktor [-] und
 γ_M ... der Teilsicherheitsbeiwert [-] ist.

Die Werte des Modifikationsfaktors k_{mod} (Tabelle F1 [1]) sind ident für die Baustoffe wie zum Beispiel Brettsperrholz, Brettschichtholz und Vollholz. Auch gibt es nur einen Teilsicherheitsbeiwert γ_M (Tabelle 1 [1]) für Holz und Holzwerkstoffe.

2.3 SIA 265:2003 [3]

In diesem Abschnitt wird auf die Angaben der Schweizer Norm SIA 265:2003 „Holzbau“ [3] eingegangen. Der Anwendungsbereich dieser Norm umfasst die Projektierung von Tragwerken aus Holz (Vollholz, Rundholz oder Brettschichtholz) oder Holzwerkstoffen.

Unter „1.1 Fachausdrücke“ steht, dass der Begriff Sperrholz für Brettsperrholz und Furniersperrholz gilt.

Laut dieser Norm sind selbstbohrende Schrauben jene mit dem Verhältnis von Kern- zum Außendurchmesser im Gewinde von 0,6 und größer. Zu verwenden sind geeignete Holzschrauben mit einer Stahlqualität von 4.6 und einem Schaftdurchmesser $4 \text{ mm} \leq d_s \leq 16 \text{ mm}$ oder selbstbohrende Schrauben mit einer Mindestzugfestigkeit von 800 N/mm^2 und einem Außendurchmesser $4 \text{ mm} \leq d_a \leq 10 \text{ mm}$.

Bei einer Belastung in Schaftrichtung sind die minimalen Abstände laut Tab. 2.4 einzuhalten. Vergleicht man diese mit jenen entsprechend der ÖNORM EN 1995-1-1:2009 (siehe Tab. 2.1) bzw. der DIN 1052:2008 (siehe Tab. 2.3) so kann man feststellen, dass die Mindestabstände entsprechend der Schweizer Norm sehr gering sind.

Minimale Abstände	Abstand zwischen den Schrauben	Randabstand
Senkrecht zur Faserrichtung	$4 \cdot d$	$4 \cdot d$
Parallel zur Faserrichtung (im Hirnholz)	$4 \cdot d$	$2,5 \cdot d$

Tab. 2.4 minimale Abstände für in Schaftrichtung belastete Schrauben [3]

Zusätzlich wird festgelegt, dass die minimale Einschraubtiefe l bei selbstbohrenden Holzschrauben $8 \cdot d$ und bei Holzschrauben $6 \cdot d$ beträgt. In der Abb. 2.5 sind die Bereiche der minimalen Einschraubtiefe l und der anrechenbaren Einschraubtiefe l_{ef} definiert.

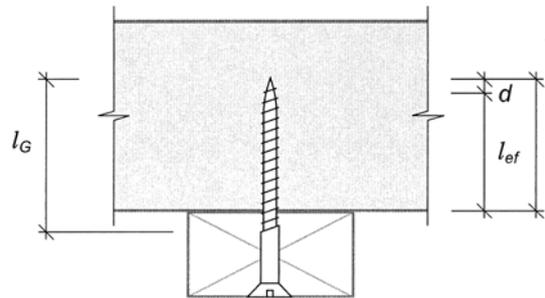


Abb. 2.5 anrechenbare Einschraubtiefe l_{ef} und Einschraubtiefe l [3]

Laut SIA 265 gilt die Glg. 2.8 zur Ermittlung des „[...] Bemessungswertes des Auszieh- und des Eindrückwiderstandes einer Schraubengruppe $R_{\alpha,d}$ “ [3]. Anzumerken ist hierbei, dass direkt ein Bemessungswert berechnet wird.

$$R_{\alpha,d} = n^{0,9} \times (\pi \times d \times l_{ef}) \times f_{v,\alpha,d} \quad \text{in [N]} \quad \text{Glg. 2.8}$$

- Wobei $R_{\alpha,d}$... der Auszieh- und Eindrückwiderstand einer Schraubengruppe [N],
- n ... die Gesamtanzahl der Verbindungsmittel (Schrauben) [-],
- d ... der Schraubendurchmesser [mm],
- l_{ef} ... die anrechenbare Einschraubtiefe [mm] und
- $f_{v,\alpha,d}$... der Bemessungswert der Scherfestigkeit [N/mm²] ist.

Den Bemessungswert der Scherfestigkeit $f_{v,\alpha,d}$ berechnet man wie folgt:

$$f_{v,\alpha,d} = \frac{f_{v,90,d}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \times \cos^2 \alpha} \quad \text{in [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Glg. 2.9}$$

$$f_{v,90,d} = 30 \times 10^{-3} \times (\pi \times d \times l_{ef})^{-0,2} \times \rho_k \quad \text{in [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Glg. 2.10}$$

- Wobei $f_{v,90,d}$... der Bemessungswert der Scherfestigkeit auf Herausziehen senkrecht zur Faserrichtung [N/mm²],
- α ... der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung [°],
- d ... der Schraubendurchmesser [mm],
- l_{ef} ... die anrechenbare Einschraubtiefe [mm] und
- ρ_k ... die charakteristische Rohdichte [kg/m³] ist.

Die Glg. 2.11 gilt allgemein für die Berechnung eines Bemessungswertes des Tragwiderstands R_d .

$$R_d = \frac{\eta_M \times \eta_t \times \eta_w}{\gamma_M} \times R_k \quad \text{in [N]} \quad \text{Glg. 2.11}$$

Wobei	R_d	... der Bemessungswert des Tragwiderstands [N],
	R_k	... der charakteristische Wert des Tragwiderstands [N],
	η_M	... der Umrechnungsfaktor für den Tragwiderstand (Umrechnung auf für Bauteile und Verbindungen geltende Bedingungen) [-],
	η_t	... der Beiwert zur Berücksichtigung der Zeitdauer der Einwirkung [-],
	η_w	... der Beiwert zur Erfassung des Einflusses der Holzfeuchte [-] und
	γ_M	... der Widerstandsbeiwert [-] ist.

In der Tab. 1 sind die Verhältniswerte γ_M/η_M angegeben, jedoch ist kein Wert für Brettsperrholz aufgeführt. Der Beiwert η_t ist materialunabhängig. Die Angaben für die Erfassung des Holzfeuchteinflusses η_w sind in der Tab. 4 enthalten. Hier ist ein Wert für Sperrholz angegeben und gemäß der Definition des Begriffes „Sperrholz“ (siehe 1.1 Fachausdrücke) gilt dies dann auch für Brettsperrholz. Da nicht alle Beiwerte für die Berechnung eines Bemessungswertes definiert sind, ist diese Berechnung nicht möglich.

Unter „4.1 Allgemeines“ steht geschrieben, dass die „[...] Bestimmungen gelten für Bauteile aus Vollholz (Schnitt- und Rundholz) und Schichtholz (z.B. Brettschichtholz und Furnierschichtholz) sowie für vollholzähnliche Produkte.“. Die Bemessung von BSP ist damit ausgeschlossen, jedoch sind Angaben für Brettsperrholz bei den Verbindungen (z.B. Abschnitt 6.4 Nagelverbindungen) angegeben. Zusätzlich ist die Bemessung einer Verbindung mit Brettsperrholz in „6.1 Grundlagen“ nicht ausgeschlossen.

2. 4 Gegenüberstellung der normativen Bestimmungen

Da es in der EN 1995-1-1 keine Erwähnung des Begriffes BSP gibt, ist es ausschließlich mit den Angaben in dieser Norm nicht möglich, den Auszieh Widerstand selbstbohrender Holzschrauben aus Brettsperrholz zu berechnen. In weiterer Folge werden hier die Angaben der DIN 1052:2008 und der SIA 265:2003 anhand eines Beispiels verglichen.

In beiden Dokumenten gibt es bei der Berechnung des Widerstandes auf Herausziehen von Holzschrauben kaum Unterscheidungen, ob es sich beim verwendeten Material um Brettsperrholz oder zum Beispiel um Vollholz handelt.

Zur Berechnung des Ausziehwerstandes stehen verschiedene Gleichungen (Glg. 2.5, Glg. 2.8) zur Auswahl. Dabei werden der **Schraubendurchmesser**, die **effektive Einbindtiefe**, die **Rohdichte** und der **Winkel** zwischen der Kraft- und der Faserrichtung bei allen Gleichungen berücksichtigt. Zu beachten ist, dass bei der deutschen Norm (Glg. 2.5) ein charakteristischer Wert und bei der schweizer Norm (Glg. 2.8) ein Bemessungswert berechnet wird. Den Bemessungswert des Ausziehwerstandes berechnet man mittels Glg. 2.7.

Für die nachfolgenden Vergleiche der Ausziehwerstände und Mindestabstände wurden folgende Annahmen getroffen:

Schraube: Spax-S Senkkopf Ø8 [23]

$d = 8 \text{ mm}$

$d_k = 15,1 \text{ mm}$

$f_{1,k} = 80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 11,55 \text{ N/mm}^2$

$f_{2,k} = 80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 11,55 \text{ N/mm}^2$

$l_{ef} = 120 \text{ mm}$

$\alpha = 90^\circ$

$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

$k_{mod} = 0,8$... NKL 2, KLED mittel [1]

$\gamma_M = 1,30$... Teilsicherheitsbeiwert [1]

DIN 1052:2008		SIA 265:2003	
Glg. 2.7	$R_{ax,d} = 6.825 \text{ N}$	Glg. 2.8	$R_{ax,d} = 6.925 \text{ N}$

Tab. 2.5 Vergleich der Bemessungswerte des Ausziehwerstandes

Die minimale Einschraubtiefe einschließlich der Spitze gemäß der DIN 1052:2008 beträgt $4 \cdot d$ und ist damit viel geringer als die Mindesttiefe laut der SIA 2065:2003. Diese beträgt bei selbstbohenden Holzschrauben $8 \cdot d$ und bei Holzschrauben $6 \cdot d$.

Die erforderlichen Mindestabstände zwischen den Verbindungsmitteln beziehungsweise zu den Rändern bei axialer Belastung sind bei der SIA 265:2003 geringer als die Vorgaben der DIN 1052:2008 - siehe Tab. 2.6.

DIN 1052:2008		SIA 265:2003	
a_1	$(5+7 \cdot \cos\alpha) \cdot d = 40 \text{ mm}$	$4 \cdot d = 32 \text{ mm}$	in Faserrichtung, zw. Schrauben
a_2	$5 \cdot d = 40 \text{ mm}$	$4 \cdot d = 32 \text{ mm}$	quer zur Faserrichtung, zw. Schrauben
$a_{1,t}$	$(10+5 \cdot \cos\alpha) \cdot d = 80 \text{ mm}$	$2,5 \cdot d = 20 \text{ mm}$	in Faserrichtung, zum Rand
$a_{1,c}$	$10 \cdot d = 80 \text{ mm}$		
$a_{2,t}$	$(5+5 \cdot \sin\alpha) \cdot d = 80 \text{ mm}$	$4 \cdot d = 32 \text{ mm}$	quer zur Faserrichtung, zum Rand
$a_{2,c}$	$5 \cdot d = 40 \text{ mm}$		

Tab. 2.6 Vergleich der Mindestabstände bei axialer Belastung gemäß der beiden Normen

Zusätzlich ist anzumerken, dass die DIN 1052:2008 im Gegensatz zur SIA 265:2003 unterscheidet, ob vorgebohrt wird oder nicht. Wenn dies nicht erfolgt, dann sind die Mindestabstände abhängig von der charakteristischen Rohdichte. Auch hat der Winkel zwischen der Kraft- und der Faserrichtung einen Einfluss auf die erforderlichen Abstände. Die schweizer Norm unterscheidet im Gegensatz zur deutschen Norm nicht ob der Rand beansprucht oder unbeansprucht ist, sondern unterscheidet nur ob der Abstand parallel oder rechtwinkelig zur Faserrichtung ist.

3 Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz

Dieser Abschnitt handelt von den „Bemessungsvorschlägen für Verbindungsmittel in Brettsperrholz“ von Blaß [17].

Der Herauszieh Widerstand ist keine reine Werkstoffeigenschaft, sondern eine Systemeigenschaft. Diese Eigenschaft korreliert mit der Holzrohddichte. Die vorgeschlagene charakteristische Rohddichte ρ_k für BSP-Produkte aus Fichte ist 400 kg/m^3 – ein ermittelter Wert nach der Untersuchung von 2299 Rohdichteproben verschiedener Hersteller und Aufbauten.

Laut Blaß gibt es zwei Gleichungen (siehe Glg. 2.12 bzw. Glg. 2.13) zur Berechnung des charakteristischen Wertes des Herauszieh Widerstandes $R_{ax,s,k}$ von selbstbohrenden Holzschrauben in BSP. Diese Gleichungen gelten für selbstbohrende Voll- und Teilgewindeholzschrauben, die mindestens der Tragfähigkeitsklasse 3 (laut DIN 1052 [1]) entsprechen.

Ermittelt man den charakteristischen Wert des Herauszieh Widerstandes von selbstbohrenden Holzschrauben in den Seitenflächen von BSP mittels der Glg. 2.13, so ist in der Gleichung implizit eine charakteristische Rohddichte $\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$ berücksichtigt (bei Verbindungsmitteln in der Schmalfläche ist $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$).

$$R_{ax,s,k} = \frac{31 \times d^{0,8} \times l_{ef}^{0,9}}{1,5 \times \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon} \quad \text{in [N]} \quad \text{Glg. 2.12}$$

Wobei	$R_{ax,s,k}$	... der charakteristische Wert des Herauszieh Widerstandes von selbstbohrenden Holzschrauben in BSP [N],
	d	... der Nenndurchmesser der Schraube [mm],
	l_{ef}	... die wirksame Einbindetiefe [mm] und
	ε	... bei Verbindungen in der Seitenfläche $\varepsilon = 90^\circ$... bei Verbindungen in der Schmalfläche $\varepsilon = 0^\circ$ ist.

Die Gleichung findet Anwendung, wenn die Verbindungsmittel in den Seitenflächen angeordnet werden oder bei Schmalflächen, wenn die Schraubenposition nicht genau bekannt ist. Dabei wird die Annahme getroffen, dass die Schraubenachse parallel zur Faserrichtung verläuft ($\varepsilon = 0^\circ$). Der mittels der Glg. 2.12 berechnete Herauszieh Widerstand ist bei einer anderen Schraubenposition in der Schmalfläche ein konservatives Ergebnis.

Es wird angemerkt, dass es sich beim Nenner der Glg. 2.12 nicht um die „Hankinson“-Formel – Berücksichtigung des Einflusses des Winkels α zwischen Kraft- und Faserrichtung auf den Wert des Ausziehwiderstandes – handelt (siehe zum Beispiel Glg. 2.1), sondern hier berücksichtigt wird, ob das Verbindungsmittel in der Seitenfläche ($\epsilon = 90^\circ$) oder in der Schmalfläche ($\epsilon = 0^\circ$) eingebracht wird.

Bei Schrauben in den Schmalflächen, deren Achse rechtwinkelig zur Faserrichtung und mittig in der Brettlage angeordnet sind, darf ein höherer Wert des Herausziehwiderstandes nach der Glg. 2.13 berechnet werden.

$$R_{ax,s,k} = 28 \times d^{0,8} \times l_{ef}^{0,9} \quad \text{in [N]} \quad \text{Glg. 2.13}$$

Wobei $R_{ax,s,k}$... der charakteristische Wert des Herausziehwiderstandes von selbstbohrenden Holzschrauben [N],
 d ... der Nenndurchmesser der Schraube [mm] und
 l_{ef} ... die wirksame Einbindetiefe [mm] ist.

Derzeit liegen nur wenige Daten zum Langzeitverhalten faserparallel angeordneter und auf Herausziehen beanspruchter Schrauben vor. Versuche bei Vollholzprüfkörpern haben ergeben, dass die Tragfähigkeiten bei Langzeitbelastung deutlich geringer sind. Derzeit wird empfohlen, Schrauben in den Schmalflächen in die Brettlagen rechtwinkelig zur Faser einzudrehen. Zusätzlich darf man Einschraubtiefen $l_{ef} < 4 \cdot d$ nicht in Rechnung stellen. In den Seitenflächen ist der Mindestschraubendurchmesser 6 mm und in den Schmalflächen 8 mm.

Außer der oben angeführten Anforderungen sind auch noch Mindestabstände zwischen den Verbindungsmitteln beziehungsweise zu den Rändern einzuhalten - näheres siehe Tab. 2.7. Hierbei ist zu unterscheiden, ob die jeweiligen Verbindungsmittel in den Seitenflächen (siehe Abb. 2.6 links) oder in den Schmalflächen (siehe Abb. 2.6 rechts) eingebracht werden - die unten angeführten Mindestverbindungsmitteleabstände beziehen sich ausschließlich auf Schrauben. Bei einer Beanspruchung rechtwinkelig zur Plattenebene muss zusätzlich das mögliche Aufspalten der Schmalflächen bzw. die Querkzugbeanspruchung berücksichtigt werden.

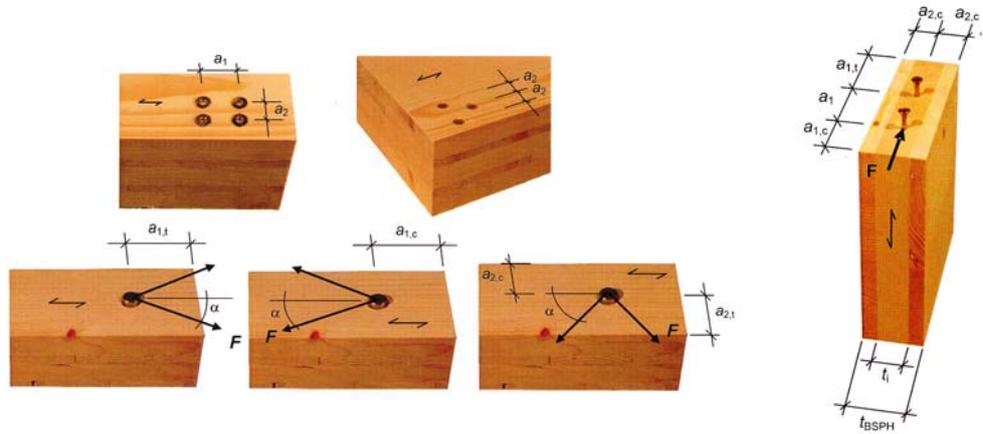


Abb. 2.6 Definition der Verbindungsmittelabstände in den Seitenflächen (links) bzw. in den Schmalflächen (rechts) [17]

	$a_{1,t}$	$a_{1,c}$	a_1	$a_{2,t}$	$a_{2,c}$	a_2
Verbindungsmittel in den Seitenflächen	$6 \cdot d$	$6 \cdot d$	$4 \cdot d$	$6 \cdot d$	$2,5 \cdot d$	$2,5 \cdot d$
Verbindungsmittel in den Schmalflächen	$12 \cdot d$	$7 \cdot d$	$10 \cdot d$		$5 \cdot d$	$3 \cdot d$

Tab. 2.7 Mindestverbindungsmittelabstände selbstbohrender Holzschrauben in BSP [17]

Bei der Verwendung von Schrauben in den Schmalflächen sind zusätzlich noch die Bedingungen laut der Tab. 2.8 bezüglich der Mindestbrettlagendicken, der minimalen Dicken des Brettsperrholzes und der Mindesteinbindetiefen zu erfüllen.

	Mindestdicke der maßgebenden Brettlage t_1 [mm]	Mindestdicke des Brettsperrholzes t_{BSPH} [mm]	Mindesteinbindetiefe der VM in den Schmalflächen t_1 bzw. t_2 [mm]
Schrauben	$d > 8 \text{ mm}$: $3 \cdot d$ $d \leq 8 \text{ mm}$: $2 \cdot d$	$10 \cdot d$	$10 \cdot d$

t_1 Mindesteinbindetiefe des Verbindungsmittels in den Schmalflächen des Seitenholzes bzw. Seitenholzdicke
 t_2 Mindesteinbindetiefe des Verbindungsmittels in den Schmalflächen des Mittelholzes

Tab. 2.8 Mindestbrettlagendicken, Mindestdicken und Mindesteinbindetiefen für Verbindungen in den Schmalflächen [17]

4 Gegenüberstellung von Auszieh Widerständen

Der charakteristische Wert des Auszieh Widerstandes $R_{\alpha, k}$ einer selbstbohrenden Holzschraube wird für das Herausziehen aus einem BSP- und einem BSH-Körper berechnet und die Ergebnisse werden miteinander verglichen. Die Angaben für den Schraubendurchmesser beziehungsweise die wirksame Einbindetiefe werden frei gewählt. Für den Wert der charakteristischen Rohdichte wird für die Vergleichbarkeit $\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$ angenommen, da dies implizit in der Glg. 2.12 berücksichtigt ist. Als Verbindungsmittel wird die eine Schraube SPAX-S mit Senkkopf [23] angenommen.

Annahmen:	$d = 8 \text{ mm}$	... Nenndurchmesser der Schraube [mm]
	$l_{ef} = 120 \text{ mm}$	... wirksame Einbindetiefe [mm]
	$\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$	... charakteristische Rohdichte die implizit in der Glg. 2.12 berücksichtigt ist
	$\varepsilon = 90^\circ$	... BSP: Verbindung in der Seitenfläche
	$\alpha = 90^\circ$	... BSH: Einschraubwinkel zur Faserrichtung

Der charakteristische Auszieh Widerstand selbstbohrender Holzschrauben bei Brettsperrholz wurde mittels der Glg. 2.12 („Bemessungsvorschlägen für Verbindungsmittel in Brettsperrholz“ von Blaß [17]) berechnet. Diese Gleichung darf nur bei Schrauben der Tragfähigkeitsklasse 3 nach DIN 1052 [1] (charakteristischer Ausziehparameter $f_{1, k} \geq 80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$) angewendet werden.

$$R_{\alpha, s, k} = \frac{31 \times d^{0,8} \times l_{ef}^{0,9}}{1,5 \times \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon} = \frac{31 \times 8^{0,8} \times 120^{0,9}}{1,5 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 12165 \text{ N}$$

Dagegen werden bei der Berechnung des charakteristischen Auszieh Widerstandes bei Brettschichtholz die Gleichungen Glg. 2.1 bis Glg. 2.4 verwendet. Diese Gleichung ist der ÖNORM EN 1995-1-1:2009, „Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau“ [2] entnommen. Als Bedingung für die Verwendung dieser Gleichung ist einerseits eine Beschränkung des Schraubendurchmessers auf $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$ und andererseits muss das Verhältnis des Gewindeinnendurchmessers zum Gewindeaußendurchmesser $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$ betragen.

$$F_{\alpha, \alpha, Rk} = \frac{n_{ef} \times f_{\alpha, k} \times d \times l_{ef} \times k_d}{1,2 \times \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{1 \times 13,75 \times 8 \times 120 \times 1}{1,2 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 13197 \text{ N}$$

$$f_{\alpha, k} = 0,52 \times d^{-0,5} \times l_{ef}^{-0,1} \times \rho_k^{0,8} = 0,52 \times 8^{-0,5} \times 120^{-0,1} \times 400^{0,8} = 13,75 \text{ N/mm}^2$$

$$k_d = \min\left\{\frac{d}{\delta} = \frac{8}{8} = 1; 1\right\} = 1 \text{ [-]}$$

$$n_{ef} = n^{0,9} = 1^{0,9} = 1 \text{ [-]}$$

Ergebnisse:	BSP	$R_{ax,k} = 12.165 \text{ N}$	100 %
	BSH	$R_{ax,k} = 13.197 \text{ N}$	108 %

Zufolge dieser Berechnung ist der charakteristische Auszieh Widerstand bei identen Annahmen bezüglich des Durchmessers und der Einbindetiefe der Schraube bei Brettsperrholz um rund 8 % geringer als bei Brettschichtholz.

Blaß unterscheidet, ob das Verbindungsmittel in die Seitenfläche oder in die Schmalfläche des Körpers geschraubt wird. Hingegen wird bei der Berechnung des Auszieh Widerstandes aus einem Brettschichtholzkörper gemäß ÖNORM EN 1995-1-1:2009 [2] auch der Einschraubwinkel zur Faserrichtung berücksichtigt. Bei einem Einschraubwinkel von 45° reduziert sich der charakteristische Auszieh Widerstand auf einen Wert von 11.997 N (91 % vom Auszieh Widerstand bei $\alpha = 90^\circ$).

Vergleich vorliegender Zulassungsinhalte zum Thema

1 Allgemein

Dieses Kapitel befasst sich mit dem Vergleich von vorliegenden Zulassungen für Brettsperrholz und Schrauben. Dafür werden Europäische Technische Zulassungen (kurz ETZ bzw. ETA (European Technical Approval)) und Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassungen für Brettsperrholz und für Schrauben auf deren Inhalte zum Thema Auszieh Widerstand axial belasteter Schrauben aus Brettsperrholz verglichen.

Die Tab. 3.1 und die Tab. 3.2 geben eine Übersicht einiger BSP- und Schraubenhersteller und derer Zulassungen, die im Weiteren verglichen werden.

Hersteller	Zulassungsnummer	
Mayr-Melnhof Kaufmann Gaishorn GmbH	ETA-09/0036 [24]	Z-9.1-638 [25]
KLH Massivholz GmbH	ETA-06/0138 [26]	Z-9.1-482 [27]
HMS Bausysteme GmbH	ETA-08/0242 [28]	Z-9.1-680 [29]

Tab. 3.1 Europäische Technische Zulassungen und Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassungen für Brettsperrholz

Hersteller	Zulassungsnummer	
HECO- Schrauben GmbH & Co. KG	ETA-11/0284 [30]	Z-9.1-453 [32]
	ETA-11/0452 [31]	Z-9.1-665 [33]
Schmid Schrauben Hainfeld GmbH	---	Z-9.1-435 [34]
	---	Z-9.1-564 [35]
	---	Z-9.1-656 [36]
SPAX International GmbH & Co. KG	---	Z-9.1-235 [37]
	---	Z-9.1-449 [23]
	---	Z-9.1-519 [38]
Adolf Würth GmbH & Co. KG	ETA-11/0190 [39]	Z-9.1-361 [40]
	ETA-11/0190 [39]	Z-9.1-426 [41]
	ETA-11/0190 [39]	Z-9.1-514 [42]
	ETA-11/0190 [39]	Z-9.1-614 [43]

Tab. 3.2 Europäische Technische Zulassungen und Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassungen für Schrauben

In den nachfolgenden tabellarischen Vergleichen der Zulassungsinhalte ist teilweise der Vermerk k.A. (dies steht für keine Angaben) gemacht. Dies bedeutet, dass keine Angaben zu einem bestimmten Thema in der Zulassung gemacht sind und dies demnach nicht in dieser Zulassung geregelt ist.

2 Zulassungen für Brettsperrholz

Im ersten Schritt werden die Zulassungsinhalte (Europäische Technische Zulassungen und Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassungen) der Hersteller Mayr-Melnhof Kaufmann Gaishorn GmbH, KLH Massivholz GmbH und HMS Bausysteme GmbH zum Thema axialer Beanspruchung von selbstbohenden Holzschrauben aufgeführt und nachfolgend verglichen. Abschließend wird ein kurzer Überblick und Vergleich der Zulassungsinhalte anderer europäischer BSP-Hersteller gegeben.

2. 1 Mayr-Melnhof Kaufmann Gaishorn GmbH

2. 1. 1 ETA-09/0036 [24]

In dieser Europäischen Technischen Zulassung wird im Anhang 3 unter „3. Andere mechanische Einwirkungen“ bei den Verbindungsmitteln auf die EN 1995-1-1 verwiesen.

2. 1. 2 Z-9.1-638 [25]

Diese Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung verweist bei den Verbindungsmitteln auf die DIN 1052 beziehungsweise auf die Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung des jeweiligen Verbindungsmittels. Dabei soll die Bemessung wie für Nadelholz erfolgen.

Dabei muss beachtet werden, dass in den Schmalflächen die stiftförmigen Verbindungsmittel nicht als tragend berechnet werden dürfen. Bei einer nicht eindeutigen Festlegung der Verbindungsmittellage in den Schmalflächen (Fuge, Hirnholz) muss der ungünstigste Fall angenommen werden.

Der Nenndurchmesser einer auf Herausziehen beanspruchten Holzschraube muss mindestens 4 mm betragen.

2. 1. 3 Produktdatenblatt M1 BSP crossplan [44]

Bei diesem Datenblatt wird unter Verbindungsmittel nach ETA-09/0036 eine Empfehlung für die Ermittlung der Bemessungswerte gegeben. Dabei wird auf Blaß, Uibel „Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz“ [17] und auf die Gutachtliche Stellungnahme Nr. GU07-402-1-01 der Technischen Universität Graz verwiesen.

Es ist zwischen Verbindungen in den Seitenflächen und in den Schmalflächen zu unterscheiden. Dabei müssen alle statischen Nachweise bei den Verbindungsmitteln nach der EN 1995-1-1 geführt werden.

2. 2 KLH Massivholz GmbH

2. 2. 1 ETA-06/0138 [26]

Im Anhang 5 werden die Verbindungsmittel geregelt. „Die Ermittlung der Tragfähigkeiten der Verbindungsmittel in „KLH-Massivholzplatten“ muss gemäß EN 1995-1-1 und/oder gemäß der Europäischen Technischen Zulassung, welche für das betreffende Verbindungsmittel für Nadelholz und/oder für Brettschichtholz oder den verwendeten Holzwerkstoff erteilt wurde, durchgeführt werden.“ In den Schmalflächen dürfen ausschließlich Schrauben und Ringdübel besonderer Bauart als lastabtragende Verbindungsmittel eingesetzt werden.

Dabei gilt für alle Verbindungsmittel „Nur Nägel, Schrauben, Bolzen, Stabdübel und Dübel besonderer Bauart gemäß EN 1995-1-1 und/oder einer Europäischen Technischen Zulassung dürfen unter Beachtung der folgenden Besonderheiten verwendet werden. Einzelfugen müssen bei Verbindungsmitteln nicht berücksichtigt werden, wenn die maximale Fugenbreite 3 mm nicht überschreitet.

Zusätzlich gelten folgende Anforderungen für Schrauben die auf Herausziehen beansprucht werden. Der Mindestdurchmesser beträgt 4 mm und bei Schrauben im Hirnholz beträgt der Mindestdurchmesser 8 mm. Die Tragfähigkeit auf Herausziehen muss nach EN 1995-1-1 ermittelt werden. Dabei muss eine Verringerung der Tragfähigkeit von 25 % für das Einschrauben in Hirnholz berücksichtigt werden.

2. 2. 2 Z-9.1-482 [27]

Die charakteristischen Verbindungsmitteltragfähigkeiten müssen nach DIN 1052 beziehungsweise nach der Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassung des Verbindungsmittels ermittelt werden. Dabei erfolgt die Berechnung wie für Nadelholz, Brettschichtholz oder wie für den verwendeten Holzwerkstoff.

Bei keiner eindeutigen Festlegung der Verbindungsmittellage in den Schmalflächen (Fuge, Hirnholz, ...) muss der ungünstigste Fall angenommen werden.

Die charakteristische Schraubentragfähigkeit in den Decklagen ist entsprechend der Angaben der DIN 1052 (Abschnitt 12.6) oder der DIN V ENV 1995-1-1 mit NAD zu ermitteln. Die Faserrichtung der Decklage ist für die Mindestabstände maßgebend. Weiters ist festgelegt, dass die „Bemessung von Schraubenverbindungen auf Herausziehen im Hirnholz der Schmalflächen [...] durch diese Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung nicht geregelt“ ist.

Unter 4 „Bestimmungen für die Ausführung“ ist für Schrauben gemäß DIN 1052 beziehungsweise einer Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassung geregelt, dass der Mindestnennendurchmesser bei auf Herausziehen beanspruchten Holzschrauben 4 mm (Seitenflächen) beziehungsweise 8 mm (Schmalflächen) betragen muss.

2. 3 HMS Bausysteme GmbH

2. 3. 1 ETA-08/0242 [28]

Im Anhang 4, Punkt 2 dieser Europäischen Technischen Zulassung sind nachfolgende Hinweise zur Verbindungsmittelbemessung auf Herausziehen angeführt.

Dabei ist angegeben, dass die „[...] charakteristischen Werte der Tragfähigkeit von Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln sind nach EN 1995-1-1 oder nach einer Europäischen Technischen Zulassung für das Verbindungsmittel wie für Nadelholz bzw. Brettschichtholz zu bestimmen. Bei der Bemessung nach europäischen Regelungen sind ggf. nationale Bestimmungen zu beachten.“.

Holzschrauben als Verbindungsmittel dürfen entsprechend der EN 1995-1-1 oder mit einer Europäischen Technischen Zulassung Verwendung finden. Dabei ist zu beachten, dass bei Holzwerkstoffplatten in der Decklage der Schmalfläche keine Verbindungsmittel zulässig sind.

In den Seitenflächen kann die charakteristische Herausziehtragfähigkeit nach der EN 1995-1-1 ermittelt werden. Der Ausziehparameter $f_{ax,k}$ ist beim Hirnholz um 25 % abzumindern. Bei axial beanspruchten Holzschrauben sind die Mindestnennendurchmesser von 6 mm (in den Seitenflächen) bzw. 8 mm (in den Schmalflächen) gefordert. Wenn die Schraubenlage in den Schmalflächen unbekannt ist (Fuge, Hirnholz, usw.), ist vom nachteiligsten Fall auszugehen.

2. 3. 2 Z-9.1-680 [29]

Diese Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung verweist auf die DIN 1052:2004, die DIN V ENV 1995-1-1:1994 mit NAD bzw. auf die für das Verbindungsmittel relevante Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung zur Ermittlung der charakteristischen Verbindungsmitteltragfähigkeiten. Dies hat wie für Nadelholz bzw. Brettschichtholz zu erfolgen. Zusätzlich ist zu beachten, dass bei Holzwerkstoffplatten (Decklagen) in den Schmalflächen keine Verbindungsmittel erlaubt sind.

Bei axial belasteten Schrauben im Hirnholz (Schmalflächen) muss der B_z -Wert bei der Bemessung um 25 % verringert werden. Die Bestimmung der charakteristischen Ausziehtragfähigkeit bei Schrauben erfolgt nach der DIN 1052 (12.8.2) oder der DIN V ENV 1995-1-1:1994 mit NAD. Dies gilt für Schrauben in Seitenflächen. Bei der Bemessung von Schrauben im Hirnholz muss der Ausziehparameter $f_{1,k}$ um ein Viertel verringert werden.

Unter Punkt 4 ist angegeben, dass ausschließlich Verbindungsmittel wie zum Beispiel Holzschrauben nach der DIN 1052 oder nach einer Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassung Verwendung finden dürfen. Dabei muss der Mindestnennendurchmesser der Schraube in den Seitenflächen 6 mm und in den Schmalflächen 8 mm betragen.

Die Antragsteller dieser Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen sind die Firmen HMS Bausysteme GmbH und Haas FERTIGBAU GmbH.

2. 4 Vergleich der einzelnen Zulassungen für BSP

Nachfolgend werden die Inhalte der Europäischen Technischen Zulassungen und der Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen der einzelnen Hersteller getrennt voneinander verglichen – nähere Angaben siehe Tab. 3.1. Dabei beschränken sich die Angaben auf jene, die für die Herausziehtragfähigkeit selbstbohrender Holzschrauben relevant sind.

2. 4. 1 Vergleich der Europäischen Technischen Zulassungen

In der Tab. 3.3 werden die Zulassungsinhalte der Europäischen Technischen Zulassungen (ETA-09/0036 [24], ETA-06/0138 [26] bzw. ETA-08/0242 [28]) einiger BSP-Hersteller miteinander verglichen.

	Hersteller		
	Mayr-Melnhof Kaufmann Gaishorn GmbH [24]	KLH Massivholz GmbH [26]	HMS Bausysteme GmbH [28]
Bemessung von VM	EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 und/oder Europäische Technische Zulassung für das VM	EN 1995-1-1 oder Europäische Technische Zulassung für das VM
	k.A.	wie für Nadelholz und/oder BSH	wie für Nadelholz bzw. BSH
Einsatz lastabtragender VM in den Schmalflächen	k.A.	Ja, Schrauben und Ringdübel besonderer Bauart	Nein, wenn Holzwerkstoffplatten in den Decklagen
Berücksichtigung von Einzelfugen	k.A.	Nein, wenn Fugenbreite ≤ 3 mm	k.A.
Mindestschraubendurchmesser Seitenfläche/Hirnholz	k.A.	4 mm/8 mm	6 mm/8 mm
Verringerung der Herausziehtragfähigkeit	k.A.	Ja, im Hirnholz um 25 %	Ja, im Hirnholz um 25 %

Tab. 3.3 Vergleich der Zulassungsinhalte der Europäischen Technischen Zulassungen einzelner BSP-Hersteller (k.A. ... keine Angabe)

Bei der Bemessung der Verbindungsmittel verweisen alle drei Hersteller auf die EN 1995-1-1. Ergänzend weisen die Hersteller KLH Massivholz GmbH und HMS Bausysteme GmbH auf Europäische Technische Zulassungen für das Verbindungsmittel hin und die Berechnungen sollen analog wie bei Nadelholz bzw. Brettschichtholz erfolgen. Zusätzlich werden keine weiteren Inhalte der Zulassung ETA-09/0036 (Mayr-Melnhof Kaufmann Gaishorn GmbH) mit den Inhalten der anderen Zulassungen verglichen.

Beide Zulassungen stimmen dabei überein, dass bei der Verwendung von Verbindungsmitteln im Hirnholz (Schmalfläche) die Tragfähigkeit um 25 % verringert werden muss und dass der Mindestschraubendurchmesser im Hirnholz 8 mm beträgt. Jedoch stimmen die Angaben des Mindestdurchmessers der Schrauben in den Seitenflächen (4mm bzw. 6 mm) nicht überein.

Beim Thema, ob lastabtragende Verbindungsmittel in den Schmalflächen erlaubt sind, sind die Regelungen ebenso unterschiedlich. Die Zulassung ETA-06/0138 (KLH Massivholz GmbH) erlaubt den Einsatz von Schrauben und Ringdübel besonderer Bauart, die Zulassung ETA-08/0242 (HMS Bausysteme GmbH) verbietet den Einsatz bei Verwendung von Holzwerkstoffplatten in den Decklagen (ansonsten ist der Einsatz lastabtragender Verbindungsmittel in den Schmalflächen erlaubt) und in der Zulassung ETA-09/0036 (Mayr-Melnhof Kaufmann Gaishorn GmbH) werden hierzu keine Angaben gemacht.

Angaben dazu, dass Einzelfugen erst ab einer Fugenbreite größer als 3 mm berücksichtigt werden müssen, sind ausschließlich in der Zulassung ETA-06/0138 (KLH Massivholz GmbH) zu finden, jedoch fehlen hier die Angaben wie man eine Fuge mit einer Breite größer 3 mm berücksichtigt.

2. 4. 2 Vergleich der Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen

In der Tab. 3.4 werden die Zulassungsinhalte der Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen (Z-9.1-638 [25], Z-9.1-482 [27] bzw. Z-9.1-680 [29]) einiger BSP-Hersteller miteinander verglichen.

	Hersteller		
	Mayr-Melnhof Kaufmann Gaishorn GmbH [25]	KLH Massivholz GmbH [27]	HMS Bausysteme GmbH [29]
Bemessung von VM	DIN 1052 bzw. Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung für das VM	DIN 1052 bzw. Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung für das VM	DIN 1052:2004, DIN V ENV 1995-1-1:1999 mit NAD bzw. Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung für das VM
	wie für Nadelholz	wie für Nadelholz, BSH oder den verwendeten Holzwerkstoff	wie für Nadelholz bzw. BSH
Einsatz lastabtragender stiftförmigen VM in den Schmalflächen	Nein	k.A.	Nein, bei Verwendung von Holzwerkstoffplatten in den Decklagen
Mindestschraubendurchmesser	4 mm ¹⁾	4 mm ²⁾ bzw. 8 mm ³⁾	6 mm ²⁾ bzw. 8 mm ³⁾
Verringerung der Herausziehtragfähigkeit	k.A.	k.A.	Ja, im Hirnholz um 25 %
1) bei auf Herausziehen beanspruchten Holzschrauben 2) bei VM in den Seitenflächen 3) bei VM in den Schmalflächen			

Tab. 3.4 Vergleich der Zulassungsinhalte der Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen einzelner BSP-Hersteller (k.A. ... keine Angaben)

Bei dem Thema der Bemessung der Verbindungsmittel verweisen alle drei Hersteller auf die DIN 1052 bzw. auf die Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Verbindungsmittel. Dabei sind sich die Hersteller jedoch nicht über das zu bemessende Grundmaterial einig. Hier reichen die Angaben von Nadelholz, über Brettschichtholz oder den verwendeten Holzwerkstoff oder eine Variation daraus.

Bei den Angaben, ob lastabtragende stiftförmige Verbindungsmittel in den Schmalflächen eingesetzt werden dürfen, sind sich die Hersteller uneinig. Die Zulassung ETA-09/0036 (Mayr-Melnhof Kaufmann Gaishorn GmbH) untersagt grundsätzlich diesen Einsatz, in der Zulassung ETA-06/0138 (KLH Massivholz GmbH) ist das Herausziehen von Schrauben aus dem Hirnholz nicht geregelt und in der Zulassung ETA-08/0242 (HMS Bausysteme GmbH) wird der Einsatz bei der Verwendung von Holzwerkstoffplatten in den Decklagen nicht erlaubt (ansonsten ist der Einsatz lastabtragender Verbindungsmittel in den Schmalflächen erlaubt).

Die Mindestdurchmesser der Schrauben variieren zwischen vier und acht Millimetern. Dabei unterscheiden die Zulassung ETA-06/0138 (KLH Massivholz GmbH) und die Zulassung ETA-08/0242 (HMS Bausysteme GmbH) zwischen der Verwendung dieser Verbindungsmittel in den Seiten- und den Schmalflächen.

Ausschließlich laut der Zulassung ETA-08/0242 (HMS Bausysteme GmbH) muss die Herausziehtragfähigkeit im Hirnholz um 25 % verringert werden. Die beiden anderen Hersteller machen dazu keine Angaben.

2. 5 Überblick der Zulassungsinhalte anderer europäischer BSP-Hersteller

Die Inhalte der Europäischen Technischen Zulassungen und der Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen einiger europäischer BSP-Hersteller werden getrennt voneinander gegenübergestellt. Dabei begrenzen sich die Angaben auf die für die Herausziehtragfähigkeit selbstbohrender Holzschrauben relevante Inhalte.

2. 5. 1 Vergleich der Europäischen Technischen Zulassungen

In der Tab. 3.5 werden die Zulassungsinhalte einiger europäischen BSP-Hersteller gegenübergestellt.

	Hersteller					
	Binder Holzbausysteme GmbH [45]	W. u. J. Derix GmbH & Co. KG [46]	Finnforest Merk GmbH [47]	Haas Holzprodukte GmbH [48]	Lignotrend AG [49]	Stora Enso Wood Products GmbH [50]
Bemessung von VM	EN 1995-1-1, ETA des VM sowie nat. geltende Regelungen	EN 1995-1-1 ¹⁾ sowie nat. geltende Regelungen	EN 1995-1-1 oder ETA des VM	EN 1995-1-1 oder ETA des VM sowie nat. geltende Regelungen	EN 1995-1-1 oder ETA des VM sowie nat. geltende Regelungen	EN 1995-1-1 oder ETA des VM sowie nat. geltende Regelungen
	wie für Nadelholz bzw. BSH	k.A.	wie für Nadelholz bzw. BSH	wie für Nadelholz bzw. BSH	wie für Nadelholz bzw. BSH	wie für Nadelholz bzw. BSH
Einsatz lastabtragender VM in den Schmalflächen	k.A.	Nein, bei Verwendung von Holzwerkstoffplatten	Nein, bei Verwendung von Holzwerkstoffplatten in den Decklagen	Nein, bei Verwendung von Holzwerkstoffplatten in den Decklagen	k.A.	k.A.
Berücksichtigung von Einzelfugen	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Ja, wie Bauteilrand	k.A.
Mindestschraubendurchmesser	4 mm	k.A.	k.A.	6 mm ²⁾ bzw. 8 mm ³⁾	k.A.	6 mm ²⁾ bzw. 8 mm ³⁾
Verringerung der Herausziehtragfähigkeit	k.A.	k.A.	Ja, im Hirnholz um 25 %	Ja, im Hirnholz um 25 %	k.A.	Ja, im Hirnholz um 25 %
¹⁾ Ergänzungen der Europäischen technischen Zulassung müssen beachtet werden ²⁾ bei VM in den Seitenflächen ³⁾ bei VM in den Schmalflächen						

Tab. 3.5 Überblick und Vergleich der Zulassungsinhalte der Europäischen Technischen Zulassungen anderer europäischer BSP-Hersteller (k.A. ... keine Angaben)

Zusätzlich zu den Angaben in der Tab. 3.5 gibt es einige ergänzende Angaben in der ETA-11/0189 [46] des Herstellers W. u. J. Derix GmbH & Co. KG. Im Kapitel 1.2 ist eine Gleichung zur Berechnung des Ausziehwerstandes selbstbohrender Schrauben angegeben. Zusätzlich müssen Bedingungen bezüglich der Eindringtiefe des Gewindes, dem Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung, der Anordnung der Schrauben in der Schmalfläche und dem maximalen Schraubendurchmesser erfüllt sein.

2. 5. 2 Vergleich der Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen

In der Tab. 3.6 werden die Zulassungsinhalte einiger europäischen BSP-Hersteller gegenübergestellt.

	Hersteller					
	Binderholz Bausysteme GmbH [51]	EUGEN DECKER - Holzindustrie KG [52]	Finnforest Merk GmbH [53]	Lignotrend AG [54]	Paul Stephan GmbH + Co. KG [55]	Stora Enso Wood Products GmbH [56]
Bemessung von VM	DIN 1052, DIN V ENV 1995-1-1 mit NAD oder Allg. Bauaufs. Zulassung des VM	DIN 1052 bzw. Allg. Bauaufs. Zulassung des VM	DIN 1052, DIN V ENV 1995-1-1 mit NAD bzw. Allg. Bauaufs. Zulassung des VM	DIN 1052 bzw. Allg. Bauaufs. Zulassung des VM	DIN 1052, DIN V ENV 1995-1-1 mit NAD bzw. Allg. Bauaufs. Zulassung des VM	DIN 1052, DIN V ENV 1995-1-1 mit NAD bzw. Allg. Bauaufs. Zulassung des VM
	wie für Nadelholz bzw. BSH	wie für Nadelholz bzw. BSH	wie für Nadelholz bzw. BSH	wie für Nadelholz bzw. BSH	wie für Nadelholz bzw. BSH	wie für Nadelholz bzw. BSH
Einsatz lastabtragender VM in den Schmalflächen	Nein, nicht tragend	Nein, nicht tragend	k.A.	k.A.	Nein, nicht tragend	k.A.
Berücksichtigung von Einzelfugen	k.A.	Ja, wie Bauteilrand	k.A.	Ja, wie Bauteilrand	Ja, wie Bauteilrand	k.A.
Mindestschraubendurchmesser	4 mm	4 mm	4 mm	k.A.	4 mm	k.A.
Verringerung der Herausziehtragfähigkeit	k.A.	k.A.	Ja, im Hirnholz um 25 %	k.A.	k.A.	Ja, im Hirnholz um 25 %

Tab. 3.6 Überblick und Vergleich der Zulassungsinhalte der Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen anderer europäischer BSP-Hersteller (k.A. ... keine Angaben)

3 Zulassungen für Schrauben

Zuerst werden die Zulassungsinhalte zum Thema axialer Beanspruchung selbstbohrender Holzschrauben bei Brettsperrholz der bis dato vorhandenen Europäischen Technischen Zulassungen der Schraubenhersteller HECO - Schrauben GmbH & Co. KG und Adolf Würth GmbH & Co. KG (siehe Tab. 3.2) aufgeführt und anschließend verglichen.

Die Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen aller in der Tab. 3.2 angeführter Schraubenhersteller stimmen dabei überein, dass der Zulassungsgegenstand nicht zur Verwendung in Brettsperrholz vorgesehen ist. Der Einsatz ist ausschließlich vorgesehen für die Materialien Nadelholz, Brettschichtholz, Furnierschichtholz, Brett- oder Balkenlagenholz. Die Bemessung erfolgt grundsätzlich nach DIN 1052 oder nach DIN V ENV 1995-1-1 (mit NAD).

3.1 HECO - Schrauben GmbH & Co. KG

Anfänglich werden die Übereinstimmungen der beiden Europäischen Technischen Zulassungen der Firma HECO - Schrauben GmbH & Co. KG wiedergegeben und danach die voneinander abweichenden Angaben.

3.1.1 Übereinstimmungen der ETA-11/0284 [30] und der ETA-11/0452 [31]

Die Anwendung dieses Verbindungsmittels bei Brettsperrholz nach Europäischer technischer Zulassung oder nach den nationalen Regelungen am Verwendungsort ist gestattet. Der Entwurf, die Bemessung und die Konstruktion hat entsprechend der EN 1995-1-1 zu erfolgen oder einer anderen am Verwendungsort geltenden Bestimmung gemäß dem Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte.

Bei tragenden Holzbauteilen hat die Mindesteinbindetiefe der Schraube $4 \cdot d$ zu betragen und bei der Anwendung in Brettsperrholz muss der Nenndurchmesser der Schraube zumindest 6 mm sein. Zusätzlich muss der Kerndurchmesser der Schraube größer als die Breite der Fugen sein.

Zur Ermittlung des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit kann der Verschiebungsmodul K_{ser} der axial beanspruchten Schraube entsprechend der Glg. 3.1 berechnet werden.

$$K_{\text{ser}} = 780 \times d^{0,2} \times l_{\text{ef}}^{0,4} \quad \text{in [N/mm]} \quad \text{Glg. 3.1}$$

Wobei K_{ser} ... der Rechenwert des Verschiebungsmoduls [N/mm],
 d ... der Nenndurchmesser der Holzschraube [mm] und
 l_{ef} ... die Einbindetiefe im Holzbauteil [mm] ist.

Die Mindestabstände der Schrauben sind entsprechend der Angaben der EN 1995-1-1:2004 (siehe Tab. 3.7) auszuführen. Die Angaben der EN 1995-1-1:2004 weichen von jenen der EN 1995-1-1:2009 (siehe Tab. 2.1) ab.

Schrauben eingedreht	Mindestabstand untereinander	Mindestabstand vom Holzrand
rechtwinkelig zur Faserrichtung	4·d	4·d
in Hirnholzflächen	4·d	2,5·d

Tab. 3.7 Mindestabstände von axial beanspruchten Schrauben [5]

Bei der Verwendung von Verbindungsmitteln in den Schmalflächen des Brettspertholzes muss beachtet werden, dass diese ausschließlich in einer Lage einbinden.

3. 1. 2 ETA-11/0284 [30]

Sollen Schrauben mit einem Nenndurchmesser $d \geq 8$ mm unvorgebohrt eingeschraubt werden, so ist dies ausschließlich bei den Holzarten Fichte, Kiefer und Tanne gestattet.

Der charakteristische Wert des Ausziehparameters $f_{ax,k}$ beträgt

- $f_{ax,k} = 13,7 \text{ N/mm}^2$ bei $3,5 \text{ mm} \leq d \leq 4,5 \text{ mm}$ bzw.
- $f_{ax,k} = 11,8 \text{ N/mm}^2$ bei $5,0 \text{ mm} \leq d \leq 10,0 \text{ mm}$

– dies gilt bei einem Winkel $30^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ zwischen der Kraft- und der Faserrichtung. Die Grundlage bildet die Annahme einer charakteristische Rohdichte des Holzbaustoffes von 350 kg/m^3 .

3. 1. 3 ETA-11/0452 [31]

Der charakteristische Wert des Ausziehparameters $f_{ax,k}$ beträgt $11,8 \text{ N/mm}^2$ für Schrauben mit einem Nenndurchmesser $3,5 \text{ mm} \leq d \leq 6,0 \text{ mm}$ - dies gilt bei einem Winkel $30^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ zwischen der Kraft- und der Faserrichtung. Dabei wird die Annahme getroffen, dass die charakteristische Rohdichte des Holzbaustoffes 350 kg/m^3 beträgt.

3. 2 Adolf Würth GmbH & Co KG

3. 2. 1 ETA-11/0190 [39]

Die Anwendung dieses Verbindungsmittels ist bei Brettspertholz nach Europäischer Technischer Zulassung oder nach den nationalen Regelungen am Einbauort gestattet. Der Entwurf, die Bemessung und die Konstruktion hat entsprechend der EN 1995-1-1 zu erfolgen oder einer anderen am Verwendungsort geltenden Bestimmung gemäß dem Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte.

Grundsätzlich muss eine tragende Verbindung aus zumindest zwei Schrauben bestehen, jedoch kann dies auf eine Einzelschraube reduziert werden, wenn die Einbindelänge mindestens $20 \cdot d$ ist und die Schraube ausschließlich axial belastet wird. Jedoch ist zu beachten, dass die Tragfähigkeit der Schrauben in tragenden Verbindungen um die Hälfte zu reduzieren ist.

Die Verwendung von Schrauben mit einem Nenndurchmesser $d \geq 8$ mm ist nur bei den Holzarten Fichte, Kiefer und Tanne gestattet. Bei tragenden Holzbauteilen muss die Mindesteinbindetiefe der Schraube $4 \cdot d$ betragen und der Nenndurchmesser muss mindestens 6 mm betragen. Zusätzlich muss der Kerndurchmesser der Schraube größer als die Breite der Fugen sein.

Für den charakteristischen Wert des Ausziehparameters $f_{ax,k}$ können nachfolgende Werte angenommen werden. Diese gelten bei einem Winkel $30^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ zwischen der Kraft- und der Faserrichtung unter Annahme einer charakteristischen Rohdichte des Holzbaustoffes von 350 kg/m^3 .

- $f_{ax,k} = 12,0 \text{ N/mm}^2$ bei $3,0 \text{ mm} \leq d \leq 5,0 \text{ mm}$
- $f_{ax,k} = 11,5 \text{ N/mm}^2$ bei $6,0 \text{ mm} \leq d \leq 7,0 \text{ mm}$
- $f_{ax,k} = 11,0 \text{ N/mm}^2$ bei $d = 8,0 \text{ mm}$
- $f_{ax,k} = 10,0 \text{ N/mm}^2$ bei $d \geq 10,0 \text{ mm}$

Zur Ermittlung des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit kann der Verschiebungsmodul K_{ser} der axial beanspruchten Schraube entsprechend der Glg. 3.1 berechnet werden.

Die Vorgaben zu den Mindestabständen sind ident mit den Angaben laut „Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz“ von Blaß [17] – näheres siehe Kapitel 2, Tab. 2.1. Dafür wird eine minimale Brettsperrholzdicke von $10 \cdot d$ und bei Schrauben in den Stirnflächen eine Mindesteinbindetiefe von ebenfalls $10 \cdot d$ vorausgesetzt.

3.3 Vergleich der Inhalte der einzelnen Europäischen Technischen Schraubenzulassungen

In der Tab. 3.8 werden die Zulassungsinhalte der Europäischen Technischen Zulassungen der Hersteller HECO - Schrauben GmbH & Co. KG und Adolf Würth GmbH & Co. KG gegenübergestellt.

	Hersteller		
	HECO - Schrauben GmbH & Co KG		Adolf Würth GmbH & Co. KG
	ETA-11/0284 [30]	ETA-11/0452 [31]	ETA-11/0190 [39]
Bemessung von VM	EN 1995-1-1 ¹⁾	EN 1995-1-1 ¹⁾	EN 1995-1-1 ¹⁾
Mindesteinbindetiefe	4·d	4·d	4·d bzw. 10·d ²⁾
Mindestdurchmesser	6 mm	6 mm	6 mm
Mindestabstände	EN 1995-1-1:2004	EN 1995-1-1:2004	Blaß H.J. [17]
$f_{ax,k}$	z.B. 11,8 N/mm ² bei d = 6,0 mm	z.B. 11,8 N/mm ² bei d = 6,0 mm	z.B. 11,5 N/mm ² bei d = 6,0 mm
	$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$	$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$	$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$
Mindestdicke	k.A.	k.A.	10·d
¹⁾ oder einer anderen am Einbauort geltenden Bestimmung gemäß dem Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte ²⁾ bei Verschraubungen in den Stirnflächen			

Tab. 3.8 Vergleich der Zulassungsinhalte der Europäischen Technischen Zulassungen der einzelnen Schraubenhersteller (k.A. ... keine Angaben)

Es gibt eine Vielzahl von Übereinstimmungen beim Vergleich der Zulassungsinhalte, wie zum Beispiel die Norm nach der zu bemessen ist, die Mindesteinbindetiefe und der Mindestdurchmesser. Die Angaben für die Werte des charakteristischen Ausziehparameters sind sehr ähnlich – 11,8 N/mm² bzw. 11,5 N/mm² bei einem Nenndurchmesser d = 6,0 mm – und die dafür zugrundgelegte charakteristische Rohdichte ist bei beiden Herstellern ident – es wird die charakteristische Rohdichte von Vollholz C24 zugrunde gelegt.

Unterschiede gibt es bei der Ermittlung der Mindestabstände. Diese sind entweder entsprechend der Angaben der EN 1995-1-1:2004 oder der Angaben von Blaß auszuführen. Die Mindestabstände gemäß der EN-1995-1-1:2004 sind abgesehen vom identen Mindestrandabstand rechtwinkelig zur Faserrichtung immer kleiner als beim Bemessungsvorschlag von Blaß – näheres siehe Tab. 3.9.

Mindest-Schrauben- abstand in Faserrichtung		Mindest-Schrauben- abstand rechtwinkelig zur Faserrichtung		Mindestrandabstand zum Hirnholzenden		Mindestrandabstand rechtwinkelig zur Faserrichtung	
EN-1995- 1-1:2004	Blaß	EN-1995- 1-1:2004	Blaß	EN-1995- 1-1:2004	Blaß	EN-1995- 1-1:2004	Blaß
a_1		a_2		$a_{1,CG}$		$a_{2,CG}$	
4·d	7·d	4·d	5·d	2,5·d	10·d	4·d	4·d

Tab. 3.9 Vergleich der Mindestabstände der EN-1995-1-1:2004 [5] und von Blaß [17]

Zusätzlich sind in der Zulassung ETA-11/0190 (Adolf Würth GmbH & Co. KG) Angaben zur Mindesteinbindetiefe von Schrauben in den Stirnflächen und zur Mindestdicke vom Brettsperrholz gegeben.

4 Ermittlung des Ausziehwerstandes selbstbohrender Holzschrauben

Die Festlegungen der Normen (Kapitel 2) und der Zulassungen für Brettsperrholz bzw. Schrauben (Kapitel 3) werden zusammengefügt und die Vorgehensweise bei der Bemessung des Ausziehwerstandes bei Holzschrauben wird gemäß ÖNORM EN 1995-1-1, DIN 1052 und SIA 265 beschrieben. Zusätzlich werden etwaige Probleme aufgezeigt.

4.1 ÖNORM EN 1995-1-1

Ausschließlich auf Grundlage der ÖNORM EN 1995-1-1:2009 [2] ist es nicht möglich, den Ausziehwerstand selbstbohrender Holzschrauben bei Brettsperrholz zu berechnen. In dieser Norm wird das Material Brettsperrholz nicht erwähnt. Im nationalen Anhang der ÖNORM B 1995-1-1:2010 [4] wird darauf hingewiesen, dass der Einsatz in Brettsperrholz durch technische Spezifikationen – dies sind zum Beispiel Zulassungen – geregelt wird.

Für die Berechnung des charakteristischen Ausziehwerstandes $F_{ax,\alpha,Rk}$ wird der charakteristische Wert der Ausziehfestigkeit $f_{ax,k}$ benötigt – näheres siehe Kapitel 2 Glg. 2.1.

In den Europäischen Technischen Zulassungen für Brettsperrholz wird darauf hingewiesen, dass die Bemessung der Verbindungsmittel nach EN 1995-1-1 oder einer Europäischen Technischen Zulassung für das Verbindungsmittel wie für Nadelholz bzw. Brettschichtholz zu erfolgen hat (siehe Tab. 3.3).

Laut den Europäischen Technischen Zulassungen für Schrauben erfolgt die Bemessung nach EN 1995-1-1 oder einer anderen am Einbauort geltenden Bestimmung gemäß dem Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte. An dieser Stelle sind die charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeit $f_{ax,k}$ abhängig vom Schraubendurchmesser angegeben. Dafür wird die charakteristische Rohdichte von Vollholz C24 ($\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$) zugrunde gelegt. Diese Annahme ist sehr konservativ.

Sobald der Wert der Ausziehfestigkeit bekannt ist, ist es möglich den charakteristischen Ausziehwerstand $F_{ax,\alpha,Rk}$ zu berechnen. Da der Modifikationsbeiwert k_{mod} und der Teilsicherheitsbeiwert γ_M materialunabhängig sind, kann der Bemessungswert des Ausziehwerstandes auch ohne direkte Regelung des Produktes Brettsperrholz laut Eurocode 5 ermittelt werden.

Bis dato gibt es Europäische Technische Schraubenzulassungen von nur zwei Herstellern. Diese Zulassungen sind das fehlende Bindeglied und ermöglichen die Berechnung des Ausziehwerstandes selbstbohrender Holzschrauben bei Brettsperrholz.

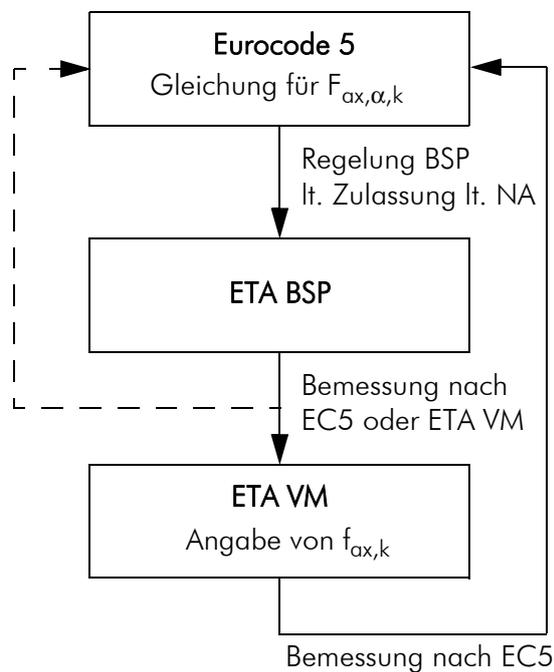


Abb. 3.1 Schritte zur Ermittlung des Ausziehwerstandes von Holzschrauben laut Eurocode 5 (kurz EC5) mit Hilfe von Europäischen Technischen Zulassungen (kurz ETA)

4.2 DIN 1052

Entsprechend der DIN 1052:2008 [1] benötigt man zur Berechnung des charakteristischen Ausziehwerstandes $R_{ax, k}$ die charakteristischen Werte des Ausziehparameters $f_{1, k}$ und des Kopfdurchziehparameters $f_{2, k}$, wofür wiederum ein Wert für die charakteristische Rohdichte ρ_k notwendig ist – siehe Glg. 2.5 und Tab. 2.2. Es gibt Festlegungen für die Berechnung des Kopfdurchziehparameters $f_{2, k}$ in Abhängigkeit von der BSP-Plattendicke, jedoch keine direkten Angaben für die Ermittlung des Wertes des Ausziehparameters $f_{1, k}$.

Bei den allgemeinen Angaben zum Baustoff Brettspertholz ist vermerkt, dass unter anderem der charakteristische Rohdichtekennwert in den Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen festgelegt ist. In den betrachteten Zulassungen fehlt diese Angabe!

Die Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen für Brettspertholz verweisen bei der Bemessung von Verbindungsmitteln auf die DIN 1052 bzw. auf die Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung für das Verbindungsmittel. Alle Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen für Schrauben die im Rahmen dieser Masterarbeit zum Thema Ausziehwerstand selbstbohrender Holzschrauben analysiert wurden, stimmen dabei überein, dass die Verwendung des Verbindungsmittels bei Brettspertholz nicht geregelt ist.

Da der charakteristische Rohdichtekennwert fehlt, ist es ausschließlich mit den Fakten aus der Norm und den Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen nicht möglich, den charakteristischen Auszieh- und Eindrückwiderstand bei Schrauben in Brettsperrholz zu berechnen.

4.3 SIA 265

Gemäß SIA 265:2003 [3] wird zur Ermittlung des Auszieh- und Eindrückwiderstandes einer Schraubengruppe der charakteristische Rohdichtekennwert des Brettsperrholzes benötigt - siehe Glg. 2.8 bis Glg. 2.10. Dieser ist wiederum kaum in den unterschiedlichen BSP-Zulassungen angegeben.

Grundsätzlich ist es im Allgemeinen problematisch, nach dieser Norm einen Bemessungswert des Tragwiderstands R_d (siehe Glg. 2.11) für Brettsperrholz zu berechnen, da der Verhältniswert γ_M/η_M für diesen Baustoff nicht definiert ist. Da es sich beim Auszieh- und Eindrückwiderstand einer Schraubengruppe bereits um einen Bemessungswert handelt, ist das Fehlen dieses Verhältniswertes für die betrachtete Fragestellung irrelevant.

Bei einem Fehlen des charakteristischen Rohdichtekennwertes von Brettsperrholz, ist es mit dieser Norm nicht möglich, den Auszieh- und Eindrückwiderstand von Schrauben in Brettsperrholz zu berechnen.

4.4 Resümee

Für eine weitere Verbreitung des Materials Brettsperrholz ist es ein wichtiger Schritt, diesen Baustoff in die EN 1995-1-1 aufzunehmen und die Bemessung zu regeln.

Zusätzlich muss der charakteristische Wert des Ausziehparameters $f_{ax,k}$ in weiteren Europäischen Technischen Zulassungen für Schrauben angegeben werden, um den Versagensmechanismus des Herausziehens der Holzschraube behandeln zu können. Bis dato gibt es sehr wenige Zulassungen dieser Art.

Alle betrachteten Normen gehen davon aus, dass der Wert der charakteristischen Rohdichte ρ_k von Brettsperrholz in den BSP-Zulassungen angegeben ist. Diese Information ermöglicht es nach allen deutschsprachigen Normen, das Versagen des Verbundes zwischen der Schraube und dem Holz durch Herausziehen zu bemessen. In keiner der betrachteten Zulassungen – näheres siehe Tab. 3.1, Tab. 3.5 und Tab. 3.6 – ist diese Angabe vorhanden.

Prüfplanung und Durchführung der Laboruntersuchungen

1 Prüfplanung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Aspekten der Planung der Prüfungen, welche im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden, beginnend mit einem Überblick über das Prüfprogramm, über die normativen Regelungen zur Ermittlung der Ausziehtragfähigkeit von Einzelschrauben (Norm für Prüfverfahren), eine Beschreibung der Prüfmaschine bis hin zu den verwendeten Materialien (Holz, Schrauben). Abschließend wird auf die Situierung der Schrauben und die geplante Herstellung der Prüfkörper eingegangen.

1.1 Überblick über das Prüfprogramm

Zur Ermittlung des Einflusses der Sperrwirkung auf den Auszieh Widerstand selbstbohrender Holzschrauben kommt es zur Verwendung von folgenden Parametervariationen

- 2 Schraubendurchmesser (8 mm und 12 mm),
- 3 Einzelschichtstärken (6 mm, 20 mm und 40 mm)
- 45 Prüfkörper pro Serie und
- 2 Materialien (Brettsperrholz und Brettschichtholz).

Die in der Abb. 4.1 gezeigte Matrix ist ein wichtiges Werkzeug zur Ermittlung der benötigten Anzahl an Prüfungen. Dabei werden in der ersten Achse (vertikal) die Parameter und in der zweiten Achse (horizontal) die Parameterausprägungen aufgetragen. Dadurch kann eine Anzahl an benötigten Prüfungen ermittelt werden. Die Anzahl der geplanten Prüfungen beträgt 540, wofür 270 Prüfkörper (je zwei Verbindungsmittel pro Körper) benötigt werden.

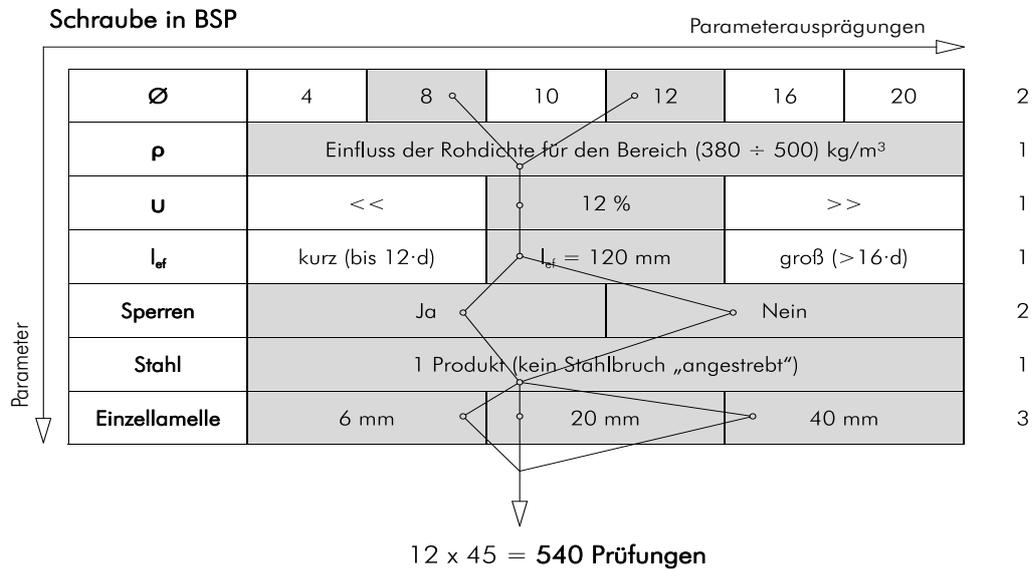


Abb. 4.1 Matrix für die untersuchten Parametervariationen (geplant)

Die geplanten Abmessungen der Prüfkörper sind 200 mm x 200 mm, mit einer Gesamtdicke von 120 mm. Da die Einzelschichtstärke variiert (6 mm, 20 mm, 40 mm), sind im Maximalfall bis zu 20 Einzelschichten pro Prüfkörper vorhanden, siehe Abb. 4.2.

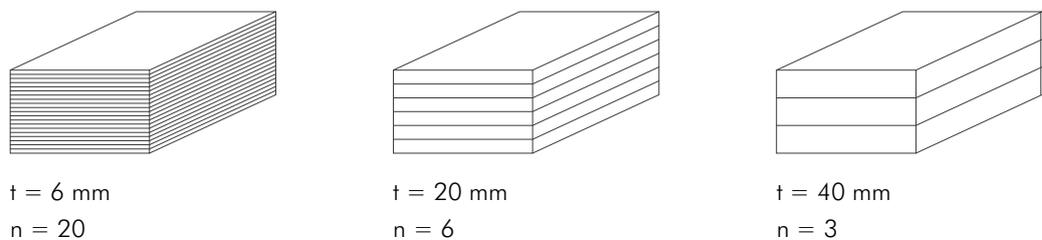


Abb. 4.2 allgemeiner Aufbau der Prüfkörper (t ... Einzelschichtdicke, n ... Anzahl der Schichten)

1. 2 Allgemeines zur Ermittlung der Ausziehtragfähigkeit von Einzelschrauben

Die prüftechnische Bestimmung der Ausziehfestigkeit von Einzelschrauben $f_{ax, single}$ erfolgt gemäß der ÖNORM EN 1382:1999 „Holzbauwerke, Prüfverfahren, Ausziehtragfähigkeit von Holzverbindungsmitteln“ [6]. In dieser Norm „[...] wird ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Ausziehtragfähigkeit von Verbindungsmitteln festgelegt, die in Holz (Vollholz und Brettschichtholz) eingeschlagen wurden“.

Zwar gilt diese Norm nicht direkt für Prüfungen an Brettsper Holz, jedoch mangels einer normativen Regelung werden die Prüfungen in Anlehnung an diese Norm durchgeführt. Überdies gilt die ÖNORM EN 1382:1999 für die Prüfung der hinsichtlich der Parametervariation identen BSH-Prüfkörper.

1.3 Prüfmaschine

Die Prüfung erfolgt mit der am Institut für Holzbau und Holztechnologie verfügbaren Universal-Prüfmaschine (lignum_uni_275) von der Allround-Line der Firma Zwick GmbH & Co KG [57]. Die horizontal liegende Traverse kann mit einer konstanten Geschwindigkeit in vertikaler Richtung bewegt werden. Die maximale Prüfkraft liegt bei (\pm) 275 kN.



Abb. 4.3 Universal-Prüfmaschine lignum_uni_275

1.4 Materialien

1.4.1 Verwendetes Holz

Für die Herstellung der Prüfkörper werden Bretter aus Fichtenholz (*Picea abies*) mit der Sortierklasse L25 (näheres siehe Tab. 4.1) verwendet. Die Abmessungen der Bretter betragen dabei mindestens 400 cm x 208 mm x 42 mm (L x B x H).

Sortierklasse L25 ¹⁾	
$f_{t,k}$ ²⁾	14,5 N/mm ²
$E_{t,mean}$ ³⁾	11.000 N/mm ²
ρ_k ⁴⁾	350 kg/m ³
¹⁾ Sortierklasse für Brettware zur BSH-Produktion ²⁾ charakteristische Zugfestigkeit ³⁾ charakteristischer mittlerer E-Modul bei Zugbeanspruchung in Faserrichtung ⁴⁾ charakteristische Rohdichte	

Tab. 4.1 Charakteristische Werte der Sortierklasse L25 [7]

Gemäß ÖNORM EN 1382:1999 muss das Holz für die Prüfkörperherstellung bei Normalklima (d.h. $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ und $(65 \pm 5) \%$ relative Luftfeuchte) gelagert werden, bis die Massekonstanz erreicht ist. Diese ist erreicht, wenn die Abweichung zweier Wägungen in einem Zeitraum von 6 Stunden maximal 0,1 % beträgt [6].

1. 4. 2 Verwendete Schrauben

Für die Prüfungen werden selbstbohrende Vollgewindeschrauben von zwei Herstellern verwendet. Es werden die Prüfungen mit den Schrauben „Star Drive“ des Herstellers Schmid Schrauben Hainfeld GmbH (Abmessungen 8 mm x 400 mm) und „SPAX-S“ der Firma SPAX International GmbH & Co. KG (Abmessungen 12 mm x 300 mm) durchgeführt.

Abb. 4.4 zeigt eine Skizze der Holzbauschraube „Star Drive“. Diese ist der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-435 [34] entnommen. Die entsprechenden Abmessungen (ohne Toleranzen) sind in der Tab. 4.2 enthalten.

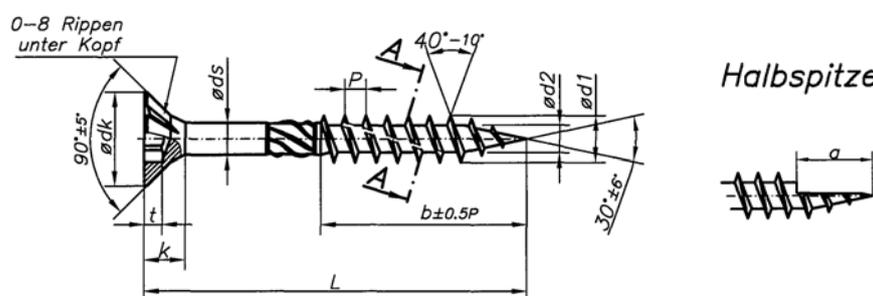


Abb. 4.4 Skizze der Holzbauschraube „Star Drive“ [34]

Star Drive Ø 8			
Gewindegröße d_1	8,0	Kerndurchmesser d_2	5,3
Kopfdurchmesser d_k	15,0	max. Kopfhöhe k	7,0
Gewindesteigung p	3,6	Schraubenlänge L	400,0

Tab. 4.2 Schraubengeometrien der Schraube Star Drive Ø12 (alle Angaben in Millimeter) [34]

Die Holzbauschraube „SPAX-S“ ist in der Abb. 4.5 skizziert und die Abmessungen (ohne Toleranzen) sind in der Tab. 4.3 ersichtlich. Alle Angaben sind der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-519 [38] entnommen.

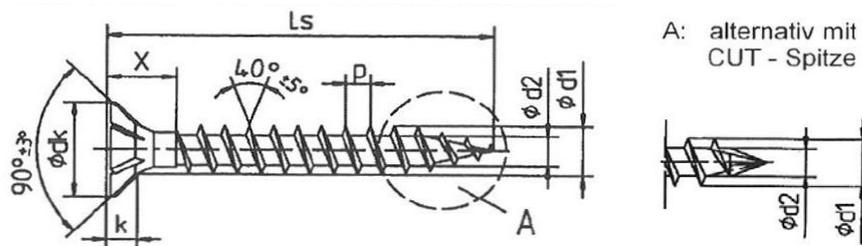


Abb. 4.5 Skizze der Holzbauschraube „SPAX-S“ [38]

SPAX-S Ø 12			
Gewindegröße d_1	12,0	Kerndurchmesser d_2	7,5
Kopfdurchmesser d_k	18,6	max. Kopfhöhe k	5,5
Gewindesteigung p	6,0	Schraubenlänge L_s	300,0

Tab. 4.3 Schraubengeometrien der Schraube SPAX-S Ø12 (alle Angaben in Millimeter) [38]

Die Ergebnisse der Prüfungen sind trotz der Verwendung von selbstbohrenden Holzschrauben unterschiedlicher Hersteller miteinander vergleichbar, da sich bei identen Nenndurchmessern die Ganghöhen, Flankenneigungen und Kerndurchmesser kaum unterscheiden und wie bereits angemerkt auf ein Versagen im Holz bemessen wurde, Näheres siehe Tab. 4.4; alle Angaben ohne zulässige Abweichungen.

	Star Drive Ø 8	SPAX-S Ø 8	Star Drive Ø 12	SPAX-S Ø 12
Ganghöhe	3,6 mm	4,0 mm	6,2 mm	6,0 mm
Flankenneigung	40 - 10°	40 ± 5°	40 - 10°	40 ± 5°
Kerndurchmesser	5,3 mm	5,0 mm	6,85 mm	7,5 mm

Tab. 4.4 Vergleich der Schraubengeometrien der Schrauben Star Drive [34] und SPAX-S [38]

1. 5 Situierung der Schrauben - erforderliche Mindestabstände

Die Grundlage für die Festlegung der Mindestabstände im Rahmen dieses Prüfprogrammes bei axial belasteter Holzschrauben sind bei Brettsperrholz das BSPHandbuch [13] und bei Brettschichtholz das Skriptum „Holzbau“ [19].

Sowohl bei den BSP- als auch bei den BSH-Körpern kommen die gleichen Randabstände zur Ausführung. Die geplanten Abstände zwischen den Schrauben und zu den Rändern sind in der Abb. 4.6 ersichtlich.

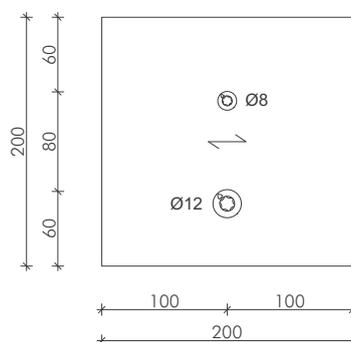


Abb. 4.6 geplante Abstände bei den Prüfkörpern (alle Angaben in Millimeter)

Ein Vergleich der geplanten Abstände bei den Prüfkörpern mit den Mindestabständen bei Brettsperrholz und Brettschichtholz ist in der Tab. 4.5 und in der Tab. 4.6 ersichtlich.

Sowohl bei den BSP- als auch bei den BSH-Prüfkörpern sind die geplanten Abstände in und quer zur Faserrichtung viel größer als die erforderlichen Mindestabstände. Diese Festlegung ist dadurch begründet, dass bei den hierbei maßgebenden BSH-Prüfkörpern auf keinen Fall ein Aufreißen in Faserrichtung riskiert werden soll.

erforderlicher Mindestabstand [13]	Mindestabstand Ø8 [mm]	Mindestabstand Ø12 [mm]	vorhandener Abstand [mm]
$a_2 = 2,5 \cdot d$	20,0	30,0	80,0
$a_{3,c} = 6 \cdot d$	48,0	72,0	100,0
$a_{4,c} = 2,5 \cdot d$	20,0	30,0	60,0

Tab. 4.5 Gegenüberstellung der Mindestabstände (BSP) mit den gewählten Abständen

erforderlicher Mindestabstand [19]	Mindestabstand Ø8 [mm]	Mindestabstand Ø12 [mm]	vorhandener Abstand [mm]
$a_2 = 4 \cdot d$	32,0	48,0	80,0
$a_3 = 4 \cdot d$	32,0	48,0	100,0
$a_4 = 4 \cdot d$	32,0	48,0	60,0

Tab. 4.6 Gegenüberstellung der Mindestabstände (BSH) mit den gewählten Abständen

1.6 Geplante Herstellung der Prüfkörper

Es ist geplant, sechs Prüfkörper - je drei BSP-Körper bzw. drei BSH-Körper (je 6 mm, 20 mm und 40 mm Einzellamellendicke) - mit einer jeweils vergleichbaren Rohdichte herzustellen. Da alle Prüfkörper möglichst keine Äste aufweisen sollen, wird die Annahme getroffen, dass rund 65 % der Brettlänge für die Herstellung der Körper genutzt werden kann. Anhand dieser Annahmen wird ein Muster für die Entnahme und Kennzeichnung der Brettabschnitte entwickelt (siehe Abb. 4.7 und Abb. 4.8).

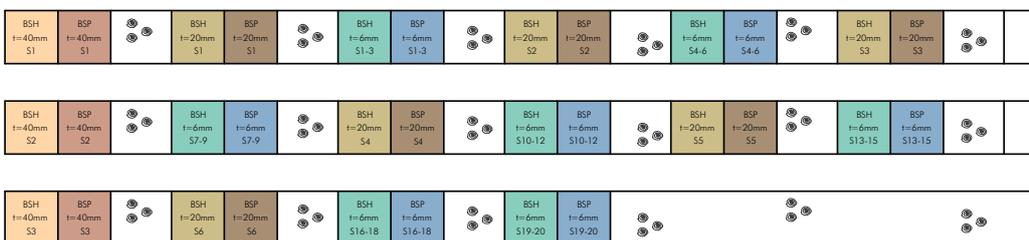


Abb. 4.7 geplantes „Schnittmuster“ zur Herstellung der Brettabschnitte
oben: Brett 1, ρ_1 ; Mitte: Brett 2, ρ_2 ; unten: Brett 3, ρ_3

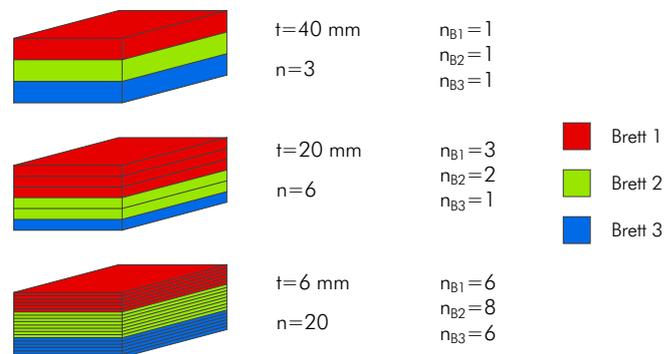


Abb. 4.8 geplanter Aufbau der Prüfkörper (n ... Anzahl der Lamellen; Ausgangsmaterial Brett i ... B_i)

Die Entnahme der gelieferten Bretter für die Herstellung der Brettabschnitte erfolgt zufällig. Für die weitere Verarbeitung werden die Bretter in Abschnitte mit einer Länge von rund 40 cm geteilt. Um den Einfluss von Ästen (eine höhere Rohdichte und damit verbunden ein höherer Auszieh Widerstand von Schrauben) weitestgehend zu eliminieren, ist sicherzustellen, dass sich keine größeren Äste in den Abschnitten befinden. Jene Bereiche, die Äste mit einem Durchmesser größer 5 mm aufweisen, sind auszukappen.

Die Brettabschnitte werden bei Bedarf in Längsrichtung zerteilt (dies ist bei der Einzellamellendicke von 6 mm bzw. 20 mm notwendig), auf die geplante Lamellendicke gehobelt und quer zur Faser in Einzellamellen getrennt. Anschließend werden die Lamellen zu den in Abb. 4.2 dargestellten Prüfkörpern verklebt.

2 Herstellung der Prüfkörper

In diesem Abschnitt wird näher auf die Herstellung der Prüfkörper eingegangen. Dies umfasst zuerst die Herstellung der unterschiedlichen Arten von Einzellamellen, die Vorbereitung der Prüfkörper für die Ausziehprüfungen und zuletzt die nachträgliche Modifikation eines Teiles der BSH-Prüfkörper zur Ermittlung von Referenzwerten („Vollholz“).

2.1 Vom Brett zur Einzellamelle

Zuerst wird pro Holzlage – dies entspricht fünf Brettern – eine Feuchtemessung durchgeführt. Die Auswahl der Bretter erfolgt dabei zufällig. Dabei wurden Holzfeuchtwerte zwischen 11,2 % und 16,4 % (im Mittel 13,4 %) gemessen.

Von den 140 gelieferten Brettern mit einer Länge von rund 4,0 m mussten fünf Bretter aussortiert werden, da diese durchgehend größere Äste und Astansammlungen aufwiesen. Bei den verbleibenden Brettern wurden die Brettabschnitte mit einer Länge von 50 cm, wie in Abb. 4.7 ersichtlich, abgetrennt und beschriftet. Die Abschnitte wurden so hergestellt, dass sich die Äste, wenn vorhanden, mittig am Brettabschnitt befinden und bei der späteren Herstellung der Einzellamellen ausgekappt werden können. Die größere Länge war erforderlich, um ein Hobeln der Lamellen auf eine Dicke von bis zu 6 mm zu ermöglichen.

Anschließend wurde die Rohdichte der einzelnen Abschnitte ermittelt (Histogramm siehe Abb. 4.9, Tab. 4.7). Da die Rohdichten der Brettabschnitte ungleich verteilt sind, wurden zwei Rohdichtegruppen eingeführt. Die Teilung der beiden Gruppen (1G, 2G) erfolgte beim Median der Rohdichteklasse von $\rho_{u,50} = 440 \text{ kg/m}^3$.

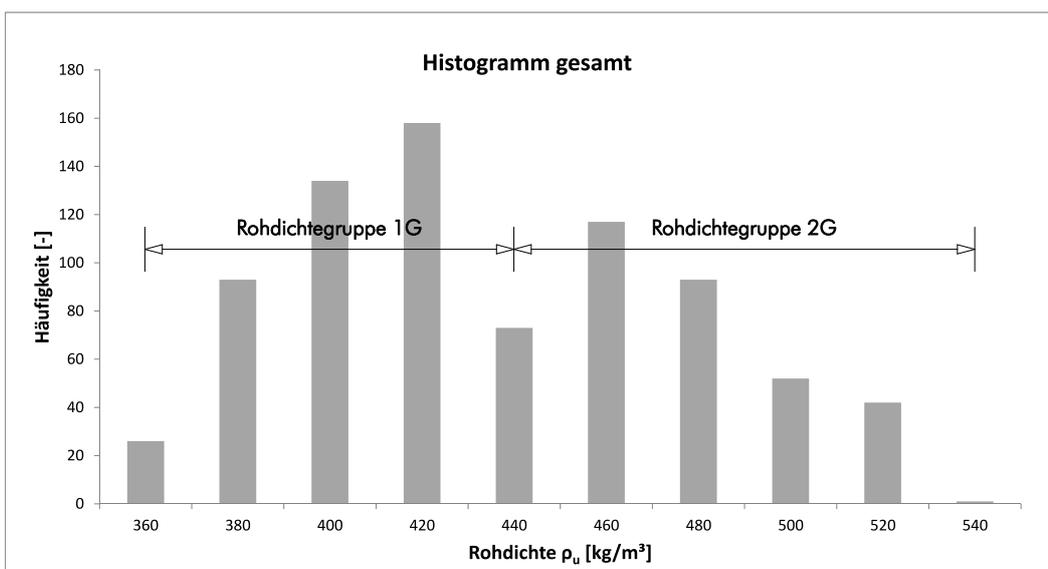


Abb. 4.9 Verteilung der Rohdichte aller Brettabschnitte

Rohdichte- gruppe	Anzahl der Brett- abschnitte	Rohdichtebereich [kg/m ³]
1G	447	341 ÷ 429
2G	342	429 ÷ 525

Tab. 4.7 Rohdichtegruppen 1G und 2G

Im nächsten Schritt wurden die Brettabschnitte nach aufsteigender Rohdichte sortiert, in die Rohdichtegruppen 1G und 2G geteilt und einer der drei Gruppen (06t, 20t und 40t) zugeteilt. Den Abschnitten wurden erneut Nummern zugewiesen, wobei diese Nummerierung nach aufsteigender Rohdichte erfolgte.

In der Tab. 4.8 sind einige Angaben zur Anzahl der Brettabschnitte und zur produzierbaren Anzahl der Prüfkörper gemacht. Achtzehn Abschnitte wurden während der Nummerierung wegen Rissen und / oder Beschädigungen aussortiert und sind daher in der Aufstellung nicht enthalten.

	Einzellamellen- stärke	Rohdichtegruppe	
		G1	G2
Anzahl der Abschnitte	06t	196	150
	20t	167	128
	40t	84	64
max. Anzahl der herstell- baren Körper	06t	28	21
	20t	27	21
	40t	28	21

Tab. 4.8 Anzahl der Brettabschnitte pro Gruppe und max. Anzahl der herstellbaren Prüfkörper

In den Abb. 4.10 bis Abb. 4.11 sind die Rohdichteverteilungen innerhalb der einzelnen Brettabschnittsgruppen in Histogrammen dargestellt. Eine Auswertung der Angaben erfolgt in der Tab. 4.9. Dabei ist ersichtlich, dass die Differenzen von den Mittelwerten und Standardabweichungen zwischen den unterschiedlichen Aufbauten der Prüfkörper innerhalb der beiden Rohdichtegruppen sehr gering sind.

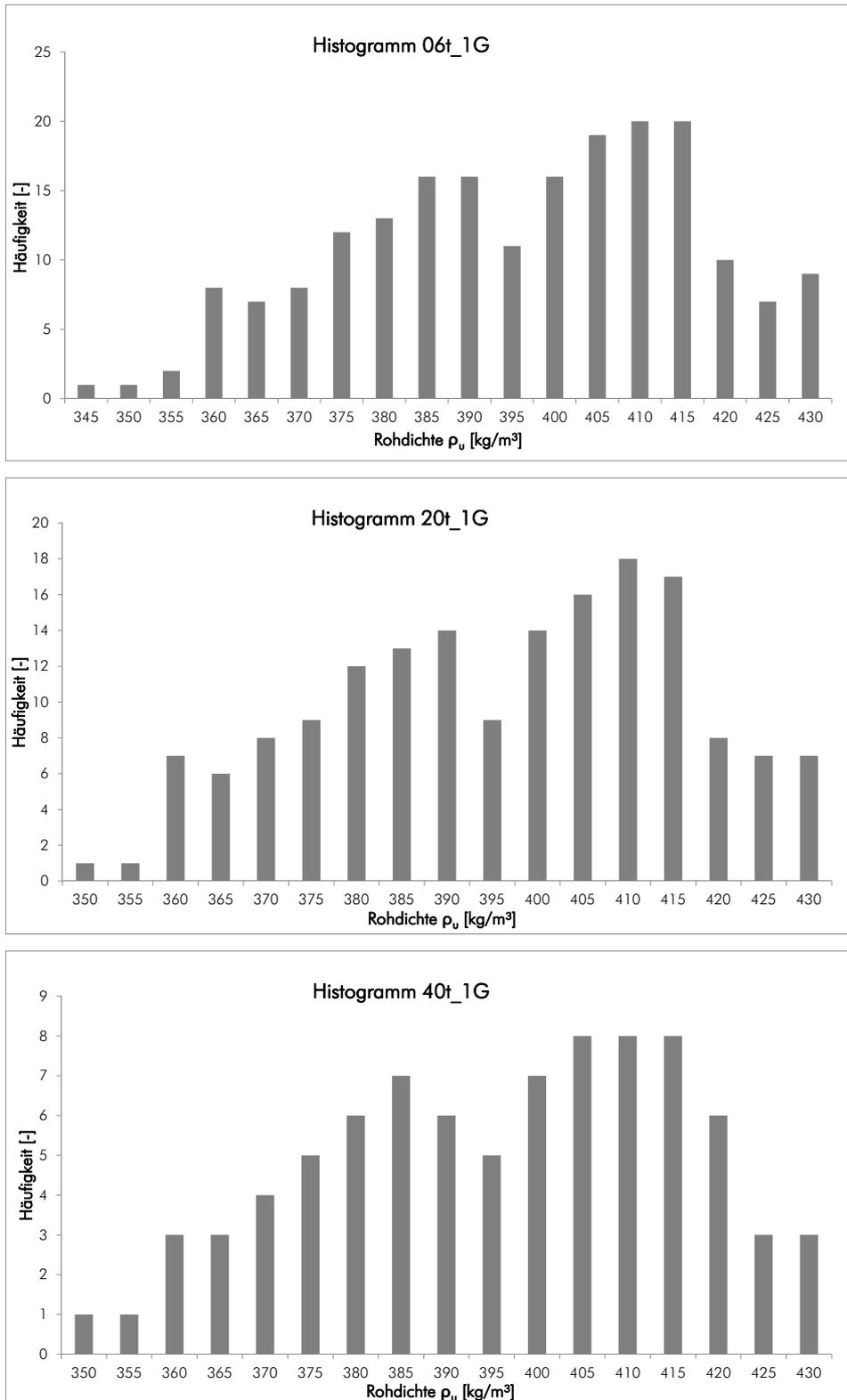


Abb. 4.10 Rohdichteverteilung in den Gruppen 06t, 20t und 40t; Rohdichtegruppe 1G

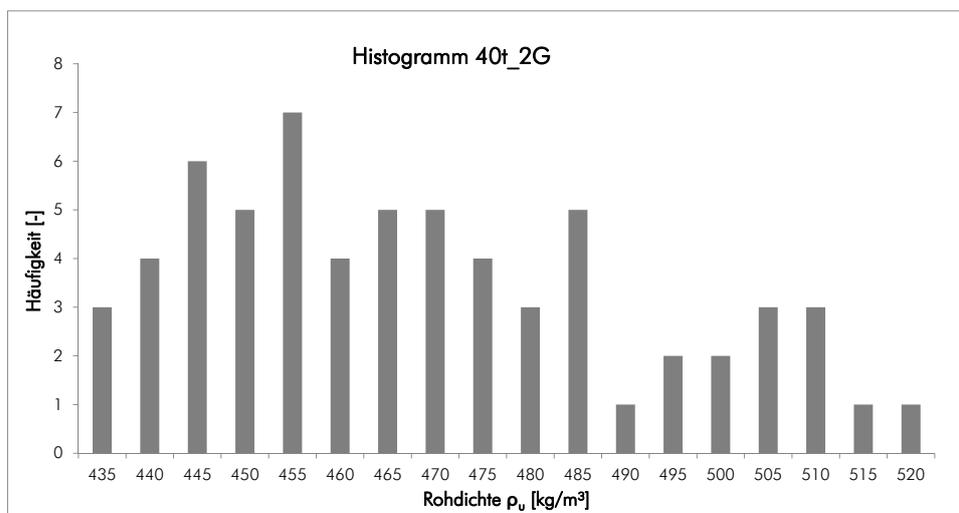
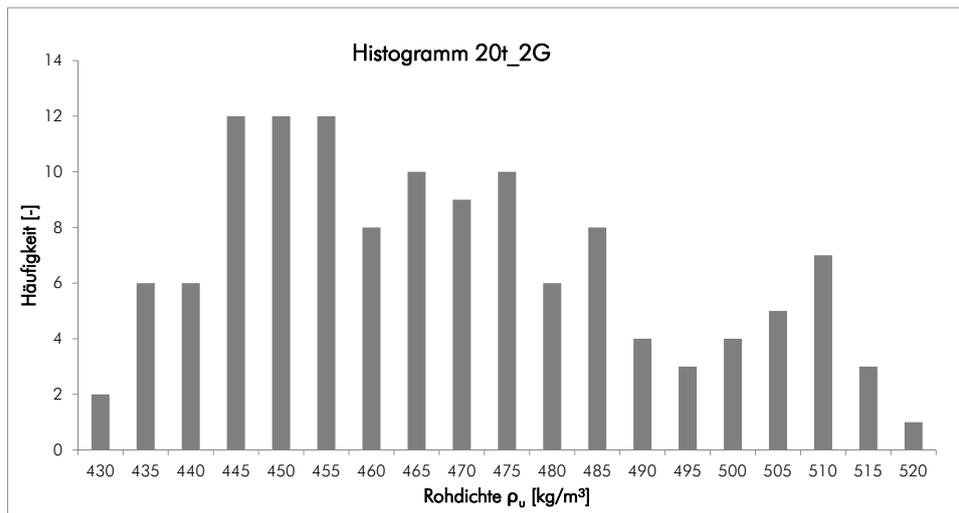
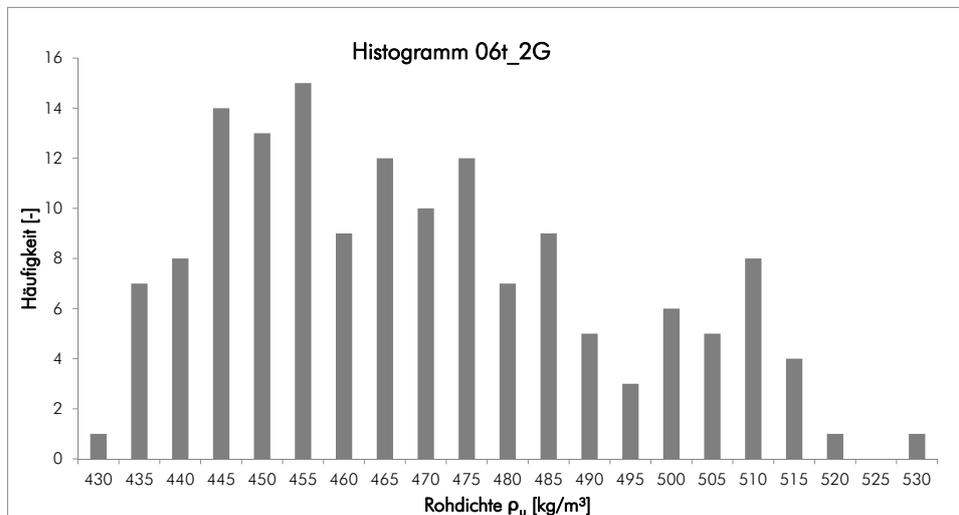


Abb. 4.11 Rohdichteverteilung in den Gruppen 06t, 20t und 40t; Rohdichtegruppe 2G

Typ	Rohdichte ρ_v [kg/m ³]	COV
06t_1G	393 ± 19,5	4,94 %
20t_1G	394 ± 19,3	4,90 %
40t_1G	395 ± 20,0	5,06 %
06t_2G	466 ± 22,7	4,87 %
20t_2G	466 ± 23,1	4,95 %
40t_2G	466 ± 22,7	4,85 %

Tab. 4.9 Mittelwert ± Standardabweichung sowie Variationskoeffizient der Rohdichte der Brettabschnittsgruppen

Die Brettabschnitte wurden bei Bedarf in Längsrichtung in zwei – bei der Einzellamellenstärke von 20 mm – oder drei – bei der Einzellamellenstärke von 6 mm – Lamellen geteilt und auf die endgültige Dicke gehobelt. Zwischen dem Hobeln und dem Verkleben der Einzellamellen lag jeweils ein Zeitraum von weniger als 24 Stunden und in diesem Zeitraum wurden die fertigen Einzellamellen bis zum Verkleben klimatisiert. Nach dem Hobeln wurden aus jedem Brettabschnitt zwei quadratische Einzellamellen mit einer Seitenlänge von 208 mm gefertigt, wobei jeweils eine Lamelle für den BSP-Prüfkörper und eine Lamelle für den hinsichtlich der Parameter identen BSH-Prüfkörper verwendet wurde.

2. 2 Fertigen der Prüfkörper

Die Auswahl der Lamellen für den Prüfkörperaufbau erfolgt zufällig, um eine industrielle Fertigung nachzubilden. Je Prüfkörper entstammt nicht mehr als eine Einzellamelle einem Brett (Ausgangsmaterial). Da für den BSP- und den BSH-Prüfkörper die Einzellamellen demselben Brettabschnitt entnommen wurden, sind diese beiden sogenannten „matched samples“ hinsichtlich der Parameter ident aufgebaut. Die Aufbauten wurden dokumentiert, um nachträglich nachvollziehen zu können, aus welchen Brettabschnitten ein Prüfkörper aufgebaut ist. In der Abb. 4.12 und in der Abb. 4.13 werden die einzelnen Stationen beim Verkleben der Prüfkörper gezeigt.

Nach dem Aufbringen des Klebstoffes mit der Kleberauftragsmaschine der Firma Oest (Förderband von der Firma Minda) wurden die Einzellamellen zu BSP- bzw. BSH-Prüfkörpern aufgestapelt (zwischen drei und zwanzig Schichten) und direkt im Anschluss gepresst. Die Presszeit betrug 150 Minuten, der Pressdruck 0,6 N/mm². Nach dem Pressen wurden die Prüfkörper in der Klimakammer bei Normalklima bis zur Prüfung klimatisiert.

Zum Verkleben der Lamellen wurde das Produkt „Jowapur“ der Firma Jowat AG, ein flüssiger Einkomponenten-Polyurethan-Klebstoff für den Holzleimbau, verwendet. Die vom Hersteller vorgegebene offene Zeit beträgt bei +20°C rund 30 bis 45 min. Der vorgegebene Pressdruck beträgt 0,6 - 1,0 N/mm² bei einer Presszeit von 135 Minuten (12 % Holzfeuchte; 0,1 mm Fugendicke bei einer Verarbeitung innerhalb von 30 Minuten) – alle Angaben gelten für tragende Anwendungen [58].



Abb. 4.12 Fertigen der Prüfkörper – Vorbereiten der Einzellamellen für den Klebstoffauftrag (links) und automatisches Auftragen des Klebstoffes durch die Klebstoffauftragsmaschine (rechts)



Abb. 4.13 Fertigen der Prüfkörper – Ausrichten und Übereinanderstapeln der Einzellamellen (links) und Pressen eines Brettspertholzprüfkörpers (rechts)

Die Tab. 4.10 zeigt die Anzahl der hergestellten Prüfkörper je Rohdichtegruppe und Einzellamellendicke. Es war geplant, mindestens 45 Prüfkörper pro Gruppe (06t, 20t und 40t) beziehungsweise pro Material (BSP, BSH) herzustellen.

	Rohdichtegruppe		Gesamtanzahl pro Gruppe
	G1	G2	
06t	28	20	48
20t	28	20	48
40t	27	21	48

Tab. 4.10 Anzahl der hergestellten Prüfkörper je Gruppe

Die Abb. 4.14 zeigt die unterschiedliche Orientierung der Fasern eines BSP-Prüfkörpers und des hinsichtlich seiner Parameter identen BSH-Prüfkörpers am Beispiel einer Einzellamellenstärke von 20 mm (Gruppe 20t).



Abb. 4.14 Aufbau der BSP- und BSH-Prüfkörper am Beispiel der Gruppe 20t

2.3 Vorbereitung der Körper für die Prüfungen

Die Prüfkörper wurden entsprechend Abschnitt 2.5 gekennzeichnet. Anschließend wurde an zwei gegenüberliegenden Punkten die Prüfkörperhöhe gemessen, um festzustellen, wie groß der Unterschied der durchschnittlichen Höhen ist. Die Auswertung der Ergebnisse ist in der Tab. 4.11 ersichtliche.

	06t	20t	40t	Gesamt	
Mittelwert	123,8	120,9	120,5	121,7	
Differenz zum Mittelwert von	06t	0,0 %	- 2,3 %	- 2,7 %	- 1,7 %
	20t	2,4 %	0,0 %	- 0,3 %	0,7 %
	40t	2,6 %	0,3 %	0,0 %	1,0 %
Standardabweichung	0,29	0,21	0,16	1,50	
maximale Höhe	124,7	121,8	120,8	124,7	
minimale Höhe	122,6	120,2	119,8	119,8	

Tab. 4.11 Auswertung der Prüfkörperhöhen (alle Angaben in Millimeter)

Da die Streuung der Höhen sehr gering ist, wurde festgelegt, dass das Durchschrauben durch den gesamten Prüfkörper – damit die Spitze der Schraube aus dem Prüfkörper herausragt und keine Abminderung aufgrund der Spitze erfolgt – wie geplant erfolgen kann.

Es wurden stichprobenartig Feuchtemessungen mit dem Elektronik-Feuchtemesser „Hydromette M4050“ der Firma GANN an den Prüfkörpern durchgeführt. Dafür wurden pro Gruppe (06t, 20t und 40t) zehn Prüfkörper – fünf BSP- und fünf BSH-Prüfkörper, gleichmäßig auf beide Rohdichtegruppen aufgeteilt – zufällig ausgewählt und der Holzfeuchtegehalt bestimmt. Die Tab. 4.12 zeigt die Auswertung der Ergebnisse.

	06t	20t	40t	Gesamt	
Mittelwert	11,2	12,0	12,1	11,8	
Differenz zum Mittelwert von	06t	0,0	0,8	0,9	0,6
	20t	- 0,8	0,0	0,1	- 0,2
	40t	- 0,9	- 0,1	0,0	- 0,3
Standardabweichung	0,8	0,8	0,6	0,8	
max. Holzfeuchte	12,6	13,3	13,0	13,3	
min. Holzfeuchte	9,9	10,7	11,3	9,9	

Tab. 4.12 Auswertung der Feuchtemessungen (alle Angaben in Prozent)

Um die Bildung von Mikro- und Makrorissen beim Eindrehen der Schrauben zu verhindern, wurde bei beiden Durchmessern vorgebohrt. Dabei wurden Bohrer in Anlehnung an die Kerndurchmesser (5 mm und 7 mm bei einem Kerndurchmesser von 5,3 mm und 7,5 mm) der Schrauben oder kleiner verwendet und über die gesamte Körperhöhe vorgebohrt.

Die Abstände zu den Rändern wurden so gewählt, dass zusätzlich ein dritter Durchmesser – Ø 8 mm – ohne Vorbohrung geprüft werden kann. Aufgrund dieser Änderung ist es möglich, den Einfluss des Vorbohrens auf den Ausziehwiderstand zu untersuchen, da der Schraubendurchmesser 8 mm sowohl vorgebohrt als auch nicht vorgebohrt im selben Prüfkörper geprüft wird und daher die Ergebnisse direkt verglichen werden können. Die gewählten Abstände sind in der Abb. 4.15 ersichtlich und in der Tab. 4.13 werden die gewählten Abstände mit den Mindestabständen verglichen.

Die quadratische Bohrschablone mit den Seitenabmessungen von 200 mm wurde auf dem Prüfkörper mit den Abmessungen von 208 mm x 208 mm zentrisch ausgerichtet. Dies war notwendig, da es bei der Fertigung zu geringen Unregelmäßigkeiten beim Schichtaufbau kam (beim Schließen der Presse, etc.) und darauf verzichtet wurde, die Prüfkörper nachträglich zu besäumen.

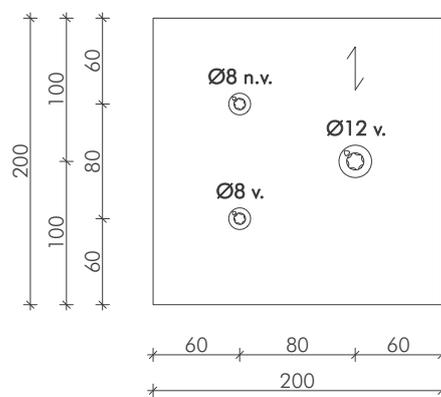


Abb. 4.15 Ausgeführte Abstände bei den Prüfkörpern (alle Angaben in Millimetern)
v. ... vorgebohrt; n.v. ... nicht vorgebohrt

	ausgeführter Abstand	Mindestabstände	
		BSP [13]	BSH [19]
a_1	80,0	$4 \cdot d = 4 \cdot 8 = 32,0$	$4 \cdot d = 4 \cdot 8 = 32,0$
a_2	80,0	$2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 12 = 30,0$	$4 \cdot d = 4 \cdot 12 = 48,0$
a_3	60,0	$6 \cdot d = 6 \cdot 8 = 48,0$	$4 \cdot d = 4 \cdot 8 = 32,0$
	100,0	$6 \cdot d = 6 \cdot 12 = 72,0$	$4 \cdot d = 4 \cdot 12 = 48,0$
a_4	60,0	$2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 8 = 20,0$	$4 \cdot d = 4 \cdot 8 = 32,0$
		$2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 12 = 30,0$	$4 \cdot d = 4 \cdot 12 = 48,0$

Tab. 4.13 Gegenüberstellung der ausgeführten Abstände mit den Mindestabständen (alle Angaben in Millimetern)

2. 4 Herstellung von „Vollholz“-Prüfkörpern

Um die gewonnenen Ergebnisse der Herausziehprüfungen des Schraubendurchmessers 8 mm – sowohl vorgebohrt als auch nicht vorgebohrt – auch mit jenen von Vollholz vergleichen zu können, werden zusätzlich Prüfungen bei „Vollholz“-Prüfkörpern durchgeführt. Dafür werden die 48 BSH-Prüfkörper der Gruppe 40t – wie in der Abb. 4.16 ersichtlich – zugeschnitten.

Die „Vollholz“-Prüfkörper weisen die Abmessungen 200 mm x 120 mm x 120 mm auf und wie auch bei den Hauptprüfungen wird durchgeschraubt, damit keine Spitzenabminderung notwendig ist.

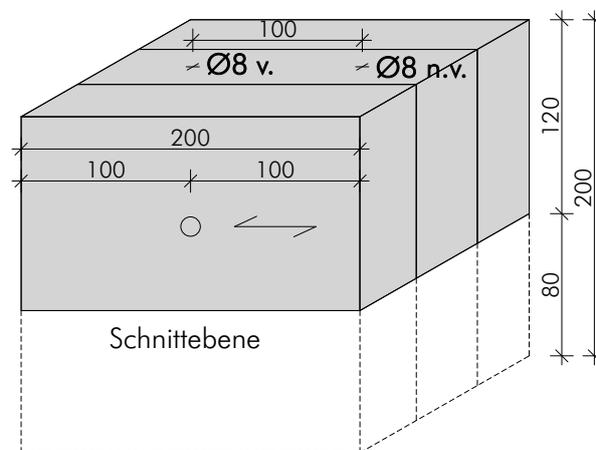


Abb. 4.16 Modifikation der BSH-Prüfkörper (40t) zu „Vollholz“-Prüfkörpern (alle Angaben in Millimeter)

Die Abb. 4.17 zeigt die gewählten Abstände zwischen den Schrauben bzw. zum Rand in und quer zur Faserrichtung und in der Tab. 4.14 werden die ausgeführten Abstände mit den Mindestabständen verglichen.

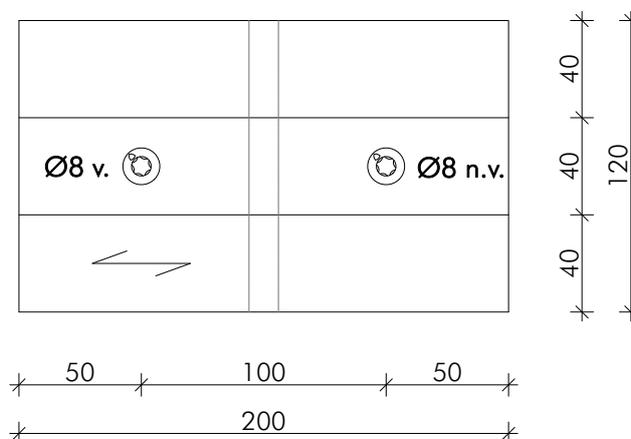


Abb. 4.17 ausgeführte Abstände bei den „Vollholz“-Prüfkörpern (alle Angaben in Millimeter)
 v. ... vorgebohrt; n.v. ... nicht vorgebohrt

	ausgeführter Abstand	Mindestabstände Vollholz [19]
a_1	100,0	$4 \cdot d = 4 \cdot 8 = 32,0$
a_3	50,0	$4 \cdot d = 4 \cdot 8 = 32,0$
a_4	60,0	$4 \cdot d = 4 \cdot 8 = 32,0$

Tab. 4.14 Gegenüberstellung der ausgeführten Abstände mit den Mindestabständen (alle Angaben in Millimetern)

Pro Prüfkörper werden zwei Schrauben mit dem Nenndurchmesser 8 mm geprüft, wobei einmal vorgebohrt wird – siehe Abb. 4.18.



Abb. 4.18 „Vollholz“-Prüfkörper der Serie C_40t

2.5 System der Prüfkörperbezeichnung

Die Bezeichnung der Prüfkörper besteht aus der Prüfkörpernummer, dem Prüfkörpertyp, der Rohdichtegruppe, der Einzelschichtdicke, dem Schraubendurchmesser und einer zusätzlichen Kennzeichnung wenn nicht vorgebohrt wurde - siehe Abb. 4.19 und Tab. 4.15.

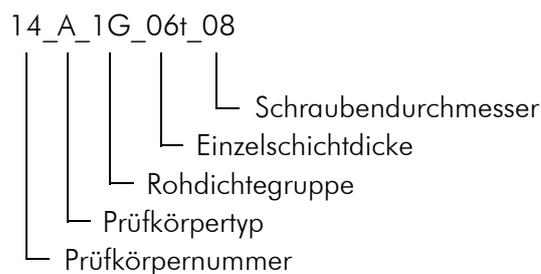


Abb. 4.19 Nummerierung der Prüfkörper

Bezeichnung	
Prüfkörpernummer	01/02/.../28
Prüfkörpertyp	A → BSP B → BSH C → „Vollholz“
Rohdichtegruppe	1G/2G
Einzelschichtdicke	06t/20t/40t
Schraubendurchmesser	08/12
Vorbohrung	Ja → [-] Nein → NV

Tab. 4.15 System zur Nummerierung der Prüfkörper

Bei der Bezeichnung der „Vollholz“-Prüfkörper wird der Name der BSH-Prüfkörper übernommen und ausschließlich das B (Abkürzung für Brettschichtholz) gegen ein C (Abkürzung für „Vollholz“) ersetzt.

3 Durchführung der Prüfungen

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den Prüfungen, die im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführt wurden. Dies beinhaltet die allgemeinen normativen Regeln, die Beschreibung der Ausziehprüfungen und die anschließende Nachbearbeitung der Prüfkörper.

3.1 Allgemein

Der Einbau des Prüfkörpers in die Prüf-Vorrichtung muss derart erfolgen, dass die Ausziehungskraft axial in der Schraubenachse wirkt. Weiters muss die Belastungsgeschwindigkeit der Ausziehprüfung gleichförmig sein. Da die maximale Ausziehlast F_{\max} in (90 ± 30) Sekunden erreicht werden muss, muss die Vorschubgeschwindigkeit dementsprechend gewählt werden. [6]

3.2 Durchführung der Ausziehprüfungen

Um die Ausziehprüfungen durchführen zu können, muss zuerst die Schraube durch die Öffnung des ringförmigen Einbauteils geführt werden, welcher bei den Prüfungen gewährleistet, dass die Last zentrisch eingeleitet wird. Die Schraube wird so weit eingebracht, dass sich die Schraubenspitze in einem vorher definierten Abstand außerhalb des Prüfkörpers befindet – siehe Abb. 4.21 links.

Die Schraube wird durch die Öffnung der Lagerplatte - der Durchmesser entspricht jeweils $4 \cdot d = 32$ mm bzw. 48 mm - geführt und mit dem ringförmigen Einbauteil (siehe Abb. 4.21 rechts) an der Prüfmaschine eingehängt. Die Lagerplatte ist an zwei sekundären Längsträgern fixiert, welche an zwei Platten befestigt sind. Diese beiden Platten sind wiederum mit Hilfe von je vier Gewindestangen am Längsträger der Prüfmaschine angebracht – siehe Abb. 4.20.

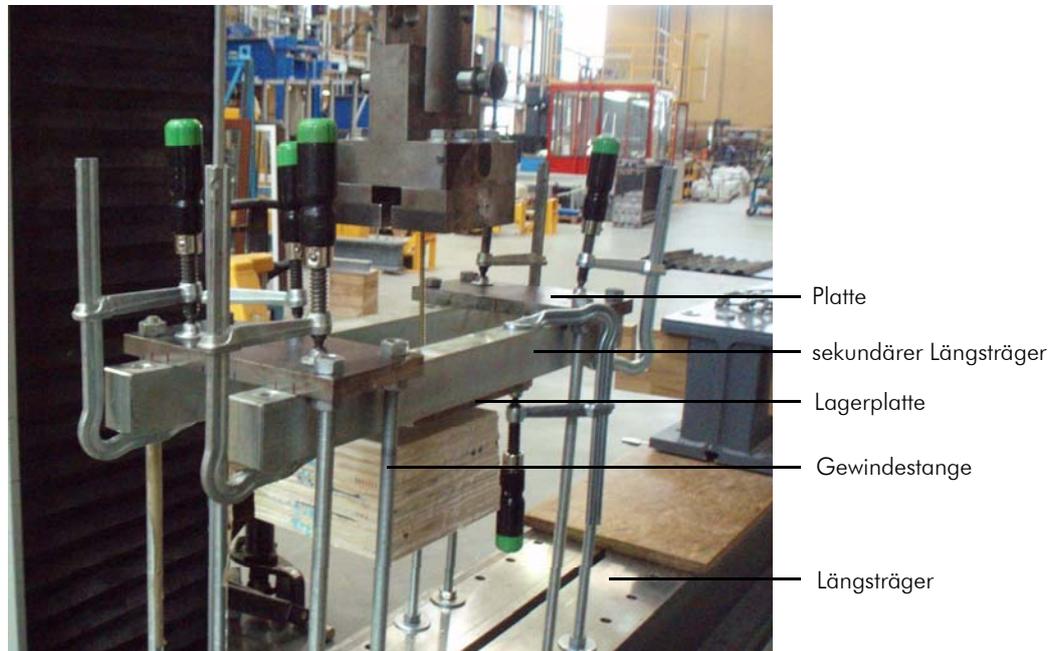


Abb. 4.20 Prüfaufbau



Abb. 4.21 Eindrehen der Schrauben (links) und die Bauteile Lagerplatte und Einhänger (rechts)

Der Prüfkörper wird mit einer Vorkraft von 200 N gegen die Lagerplatte gepresst und zentriert. Die Prüfgeschwindigkeit muss so gewählt werden, dass die Anforderungen der ÖNORM EN 1382:1999 [6] – siehe 3. 1 – erfüllt werden. Die Prüfgeschwindigkeit betrug hier zwischen 2,5 mm/min und 3,2 mm/min.

Die Prüfung wird automatisch beendet, wenn ein Kraftabfall nach dem Erreichen der Maximalkraft F_{\max} von 20 % gemessen wird.

Es wird ein Prüfprotokoll geführt, wobei die Prüfnummer, der Prüfkörpername, die Maximalkraft (F_{\max} [N]), der Weg bis zum Erreichen der Maximalkraft (l bei F_{\max} [mm]) und weitere Anmerkungen eingetragen werden. Zusätzlich wird von der Messsoftware der Prüfmaschine die Zeit [s], die Kraft [N] und der Weg [mm] protokolliert.

3.3 Nachbearbeitung

3.3.1 Vorarbeiten zur Aufbereitung der Prüfdaten

Nach der Prüfdurchführung wurden Proben zur Ermittlung der Rohdichte und Holzfeuchte aus dem Prüfkörpern geschnitten. Pro Prüfung wurde eine Probe mit einer quadratischen Grundform (Abmessung von $4 \cdot d = 32 \text{ mm}$ bzw. 48 mm) und einer Höhe von rund 120 mm entnommen, wobei sich das Schraubenloch in der Mitte der Probe befindet. Die Masse der Probe wurde direkt nach dem Schneiden auf $0,01 \text{ g}$ genau ermittelt.

Die genauen Abmessungen (Länge, Breite und Höhe) wurden mit einem digitalen Messschieber mit einer Genauigkeit von $0,01 \text{ mm}$ gemessen, wobei jede Abmessung an zwei gegenüberliegenden Stellen ermittelt und das arithmetische Mittel gebildet wurde.

Die Trocknung der Proben erfolgte entsprechend der ÖNORM EN 13183-1:2004 [8] bei einer Temperatur von $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ in einem Trockenschrank der Firma Memmert GmbH & Co KG (D06062, Modell 600) mit interner Luftzirkulation bis zur Erreichung der Darrtrockenheit – dies dauerte rund drei Tage. Laut ÖNORM EN 13183-1:2004 ist eine Probe darrtrocken, „[...] wenn der Masseunterschied zwischen zwei Wägevorgängen im Abstand von 2 h geringer als $0,1 \%$ ist.“ [8] Das Trockengewicht wurde direkt nach der Entnahme aus dem Trockenschrank mit einer Genauigkeit von $0,01 \text{ g}$ bestimmt.

3.3.2 Bereinigung der Daten

Als mögliche Ausreißer wurden jene Daten definiert, die sich außerhalb des Medians plus / minus des zweifachen Interquartil-Abstandes (IQR = Interquartilrange) befinden. Zusätzlich wurden jene Daten kontrolliert, die außerhalb des 1,5-fachen Interquartil-Abstandes (IQR) vom Median sind.

Der Interquartil-Abstand ist definiert als die Differenz zwischen der 75 %-Quantile und der 25 %-Quantile.

Diese Untersuchung wurde getrennt für die Kraft F_{\max} und die Rohdichte durchgeführt, wobei folgende Daten untersucht wurden:

Maximalkraft F_{\max} :

- Rohdichtegruppe – 1G und 2G;
- Durchmesser – $\varnothing 12$, $\varnothing 8$ und $\varnothing 8 \text{ n.v.}$;
- Material – BSP, BSH und VH und
- Einzelschichtstärke – 06t, 20t, 40t und 120t.

Rohdichte:

- Durchmesser – Ø12, Ø8 und Ø8 n.v.;
- Material – BSP, BSH und VH und
- Einzelschichtstärke – 06t, 20t, 40t und 120t.

Von den insgesamt 906 Datensätzen wurden 126 Proben nochmals kontrolliert, wobei davon 48 als Extremwerte markiert wurden. Dafür wurden die Proben entlang der Bohrung aufgeschnitten und betreffend Auffälligkeiten untersucht. Zusätzlich wurden die Eingaben zur Ermittlung der Rohdichte nochmals kontrolliert.

Bei der Untersuchung wurden bei zwanzig Proben Auffälligkeiten beobachtet. Diese haben eine Auswirkung auf die Ergebnisse, wenn sie sich in einem Abstand von je $1,5 \cdot \text{Durchmesser}_{\text{Schraube}}$ von der Achse der Bohrung befinden. Die sechzehn Proben, bei denen sich ein Ast im direkten Einflussbereich befindet, wurden aussortiert. Jene vier Proben, die geringe Mengen von Harz aufweisen, wurden nicht ausgeschlossen. Als Grundlage für diese Entscheidung wurde die Masterarbeit Plieschounig „Ausziehverhalten axial beanspruchter Schraubengruppen“ [14] herangezogen. Zusätzlich dazu wurden alle weiteren Extremwerte statistisch untersucht, wobei ein weiterer Datensatz ausgeschlossen wurde.

4 Prüfdaten

In diesem Kapitel wird auf die Berechnung der Prüfdaten „Ausziehwanstand“, „Feuchtegehalt“, „Rohdichte“ und „Nachgiebigkeit“ eingegangen. Zusätzlich sind teilweise die Ergebnisse der Auswertungen der Prüfdaten dargestellt.

4.1 Charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit

Gemäß der ÖNORM EN 1382:1999 [6] erfolgt die Ermittlung des Ausziehparameters f nach der Glg. 4.1.

$$f = \frac{F_{\max}}{d \times l_p} \quad \text{in [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Glg. 4.1}$$

Wobei	f	... der Ausziehparameter [N/mm ²],
	F_{\max}	... die maximale Ausziehlast laut Prüfung [N],
	d	... der Durchmesser des glatten Schaftes einer Schraube [mm] und
	l_p	... die Eindringtiefe des Verbindungsmittels einschließlich der Schraubenspitze [mm] ist.

In weiterer Folge wurde die Auswertung in dieser Masterarbeit nicht mit dem Ausziehparameter f , sondern mit der Mantelfestigkeit $f_{\text{ax,k}}$ durchgeführt. Diese wird nach der Glg. 4.2 berechnet, wobei sich die Ergebnisse durch den Faktor π unterscheiden.

$$f_{\text{ax,k}} = \frac{F_{\max}}{d \times \pi \times l_{\text{ef}}} \quad \text{in [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Glg. 4.2}$$

Wobei	$f_{\text{ax,k}}$	... der charakteristische Wert der Ausziehfestigkeit [N/mm ²],
	F_{\max}	... die maximale Ausziehlast laut Prüfung [N],
	d	... der Durchmesser des glatten Schaftes einer Schraube [mm] und
	l_{ef}	... die Eindringtiefe des Verbindungsmittels einschließlich der Schraubenspitze [mm] ist.

4.2 Feuchtegehalt u

Laut ÖNORM EN 13183-1:2004 [8] ist der Feuchtegehalt u nach der Glg. 4.3 zu berechnen, wobei die Ergebnisse in Prozent mit einer Dezimalstelle nach dem Komma anzugeben sind.

$$u = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad \text{in [\%]} \quad \text{Glg. 4.3}$$

Wobei u ... der Feuchtegehalt [%],

m_1 ... die Masse der Probe vor dem Trocknen [g] und

m_0 ... die Masse der Probe im darrtrockenen Zustand [g] ist.

4.3 Rohdichte

Bei der Rohdichte gibt es eine Unterscheidung zwischen der Normalrohdsichte (ρ_u), der Darrohdsichte ρ_0 und der Rohdsichte bei einer Referenzholzfeuchte von 12 % (ρ_{12}). Anzumerken ist, dass bei vorhandener Vorbohrung das Volumen der Probe um das Volumen der Bohrung zu vermindern ist.

4.3.1 Normalrohdsichte ρ_u

Die Normalrohdsichte ρ_u einer Probe ist gemäß der ÖNORM ISO 3131:1996 [9] nach der Glg. 4.4 zu berechnen.

$$\rho_u = \frac{m_u}{a_u \times b_u \times l_u} = \frac{m_u}{V_u} \quad \text{in [kg/m}^3\text{]} \quad \text{Glg. 4.4}$$

Wobei ρ_u ... die Dichte der Probe bei einem Feuchtegehalt u [kg/m³],

m_u ... die Masse der Probe bei einem Feuchtegehalt u [kg],

a_u, b_u ... die Seitenabmessungen der Probe bei einem Feuchtegehalt u [m],

l_u ... die Höhe der Probe bei einem Feuchtegehalt u [m] und

V_u ... das Volumen der Probe bei einem Feuchtegehalt u [m³] ist.

4.3.2 Darrrohdichte ρ_0

Die Darrrohdichte ρ_0 einer Probe ist entsprechend der ÖNORM ISO 3131:1996 [9] nach der Glg. 4.5 zu ermitteln.

$$\rho_0 = \frac{m_0}{a_0 \times b_0 \times l_0} = \frac{m_0}{V_0} \quad \text{in [kg/m}^3\text{]} \quad \text{Glg. 4.5}$$

Wobei	ρ_0	... die Dichte der Probe im absolut trockenen Zustand [kg/m ³],
	m_0	... die Masse der Probe im absolut trockenen Zustand [kg],
	a_0, b_0	... die Seitenabmessungen der Probe im absolut trockenen Zustand [m],
	l_0	... die Höhe der Probe im absolut trockenen Zustand [m] und
	V_0	... das Volumen der Probe im absolut trockenen Zustand [m ³] ist.

4.3.3 Rohdichte bei 12 % Holzfeuchte ρ_{12}

Eine Korrektur der Rohdichte gemäß ÖNORM EN 384:2010 [10] ist wie folgt durchzuführen: wenn „[...] die Holzfeuchte mehr als 12 % beträgt, ist die Rohdichte je Prozent Holzfeuchte um 0,5 % zu verringern; wenn die Holzfeuchte weniger als 12 % beträgt, ist die Rohdichte je Prozent Holzfeuchte um 0,5 % zu erhöhen.“ Die Umrechnung der Rohdichte auf eine Referenzholzfeuchte von 12 % erfolgt nach der Glg. 4.6.

$$\rho_{12} = \rho_u \times \left(1 + (12 - u) \times \frac{0,5}{100}\right) \quad \text{in [kg/m}^3\text{]} \quad \text{Glg. 4.6}$$

Wobei	ρ_{12}	... die auf eine Holzfeuchte von 12 % umgerechnete Rohdichte [kg/m ³],
	ρ_u	... die Dichte der Probe bei einem Feuchtegehalt u [kg/m ³] und
	u	... der Feuchtegehalt [%] ist.

4.4 Nachgiebigkeit von Verbindungen

Die Verformungscharakteristik des Verbindungsmittels wird mit dem Verschiebungsmodul K beschrieben. Dabei unterscheidet man das Verschiebungsmodul K_{ser} – Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit – und K_u – Grenzzustand der Tragfähigkeit.

4. 4. 1 Allgemeines zur Berechnung der Verschiebungsmoduln K_{ser} und K_U einer Schraube

Entsprechend der EN 1995-1-1 [2] wird das Verschiebungsmodul K_{ser} für eine Schraube und pro Scherfuge nach der Glg. 4.7 berechnet, wobei nicht zwischen „vorgebohrt“ oder „nicht vorgebohrt“ unterschieden wird.

$$K_{ser, Schraube} = \frac{\rho_m^{1,5} \times d}{23} \quad \text{in [N/mm]} \quad \text{Glg. 4.7}$$

Wobei $K_{ser, Schraube}$... der Verschiebungsmodul einer Schraube pro Scherfuge [N/mm],

ρ_m ... der Mittelwert der Rohdichte [kg/m³] und

d ... der Gewindeaußendurchmesser der Schraube [mm] ist.

Bei der Berechnung des Verschiebungsmoduls K_U einer Verbindung kann meist folgende Annahme getroffen werden:

$$K_U = \frac{2}{3} \times K_{ser} \quad \text{in [N/mm]} \quad \text{Glg. 4.8}$$

Wobei K_U ... der Anfangsverschiebungsmodul im Grenzzustand der Tragfähigkeit [N/mm] und

K_{ser} ... der Verschiebungsmodul im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit [N/mm] ist.

4. 4. 2 Ermittlung der Verschiebungsmoduln K_{ser} und K_U im Rahmen dieser Masterarbeit

Anfangs ist anzumerken, dass es sich bei den berechneten Werten nicht um die Verschiebungsmoduln einer Schraube, sondern um die Verschiebungsmoduln der Prüfung handelt.

Die Ermittlung der Verschiebungsmoduln aus den Last-Verschiebungsdiagrammen, die bei den Prüfungen aufgezeichnet werden, erfolgte automatisch mit dem Programm „Testing Data Visualizer“ der holz.bau forschungs gmbh.

Die Abb. 4.22 zeigt die Bereiche zur Ermittlung der Verschiebungsmoduln am Beispiel eines tatsächlich aufgezeichneten Last-Verschiebungsdiagramms. In der Abb. 4.23 sind die Verläufe der Last-Verschiebungskurven der Gruppe BSP_06t_1G (Ø 8 mm) dargestellt.

Der Verschiebungsmodul K_U umfasst entsprechend der verwendeten Software die Zone zwischen $0,0 F_{max}$ bis F_{max} – grundsätzlich wird der sogenannte „Schlupf“ nicht mit ein-

bezogen. In Übereinstimmung mit der ÖNORM EN 408:2010 [11] wurde zur Ermittlung des Verschiebungsmoduls K_{ser} der Bereich zwischen $0,1 F_{max}$ und $0,4 F_{max}$ herangezogen, wobei ein Korrelationskoeffizient von zumindest 0,99 oder höher erreicht werden muss. Es wurde eine mittlere Korrelation von 0,9995 (minimal 0,9929 und maximal 1,0) erreicht.

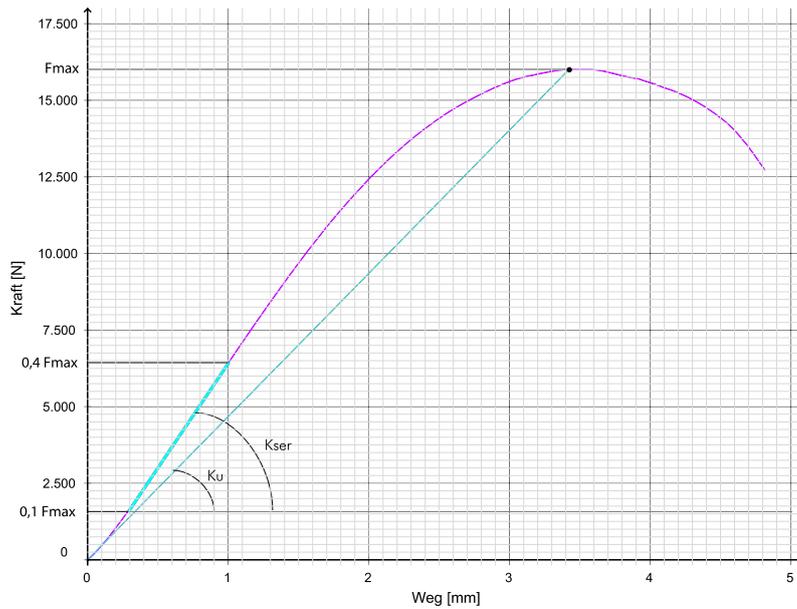


Abb. 4.22 Darstellung der Bereiche zur Ermittlung der Verschiebungsmoduln K_{ser} und K_u am Beispiel einer tatsächlich aufgezeichneten Last-Verschiebungskurve

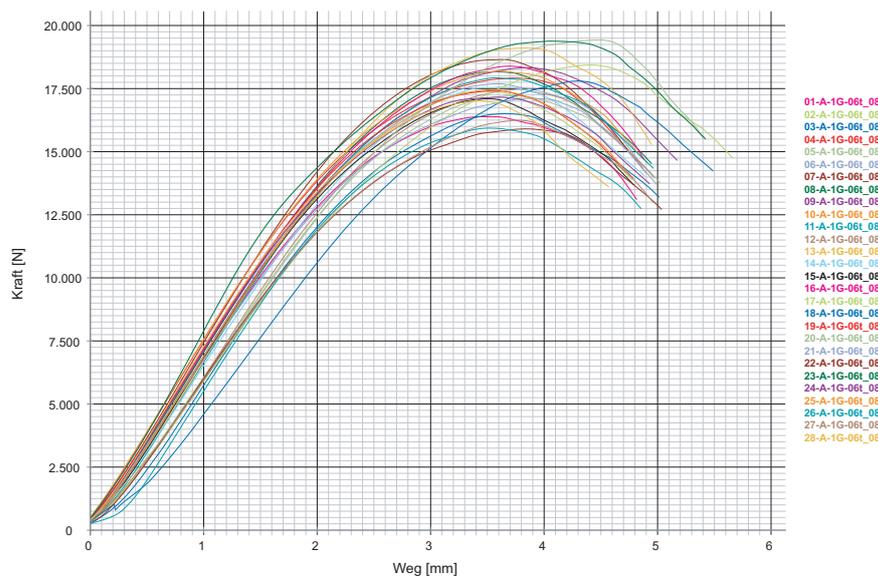


Abb. 4.23 Verläufe der einzelnen Last-Verschiebungskurven der Gruppe BSP_1G_06t (\varnothing 8 mm)

4. 5 Auswertung der Prüfdaten

Für die Auswertung der Prüfdaten wurde der bereinigte Datensatz verwendet. Es wurde die Ausziehfestigkeit f_{ax} , der Feuchtegehalt u , die Normalrohddichte ρ_U , die Rohddichte ρ_{12} bei 12 % Holzfeuchte und die Verschiebungsmoduln K_{ser} und K_U sowohl für das Material Brettsperrholz als auch für Brettschichtholz ausgewertet, wobei sich die abgebildeten Ergebnisse auf Brettsperrholz beziehen.

Anzumerken ist, dass in dieser Masterarbeit der 5 %-Quantilwert der empirischen Daten $X_{0,5,empD}$ (empD ... empirische Häufigkeitsverteilung) als charakteristischer Wert X_k festgelegt wird.

4. 5. 1 Charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit $f_{ax,k}$

Der Ausziehwiderstand f_{ax} wurde entsprechend der Glg. 4.2 ermittelt, wobei eine Verbindungsmittellänge von 120 mm angesetzt wurde.

Nachfolgend wird der Einfluss der Schichtanzahl auf den Ausziehwiderstand f_{ax} dargestellt, wobei einmal die Unterschiede auf der Materialseite (siehe Abb. 4.24) und einmal der zusätzliche Einfluss einer Vorbohrung dargestellt ist (siehe Abb. 4.25). Dabei ist in den Abbildungen sowohl die Entwicklung des Mittelwertes als auch des charakteristischen Wertes gezeigt.

Der Mittelwert und der charakteristische Wert des Ausziehwiderstandes steigt, bei einem Anstieg der Schichtanzahl, aus dem der Körper aufgebaut ist. Die Ergebnisse der Prüfkörper die vorgebohrt wurden sind geringer, als jene bei denen dies nicht erfolgte.

Eine genauere Betrachtung des charakteristischen Wertes der Ausziehfestigkeit erfolgt im nächsten Kapitel.

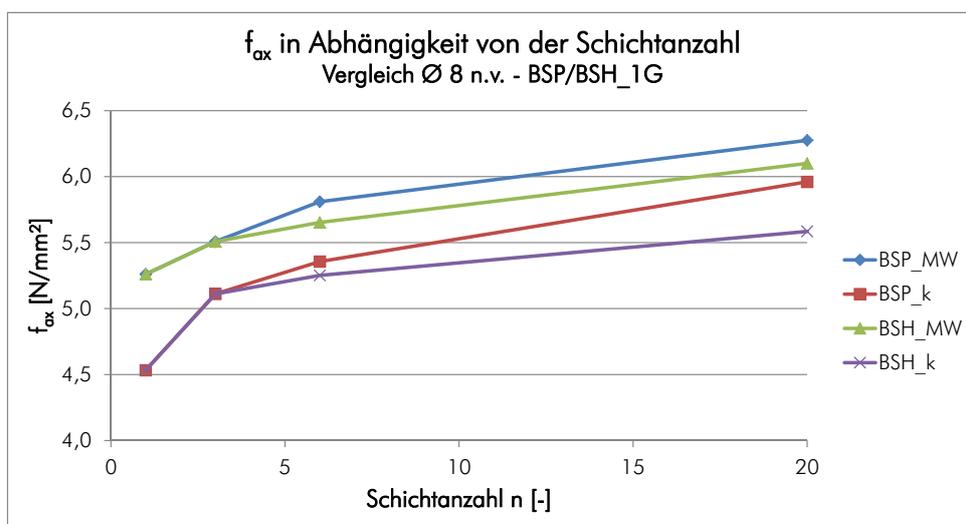


Abb. 4.24 Einfluss der Schichtanzahl auf den Ausziehwiderstand f_{ax} bei Brettsperrholz und Brettschichtholz am Beispiel vom $\varnothing 8$ n.v. der Rohdichtegruppe 1G

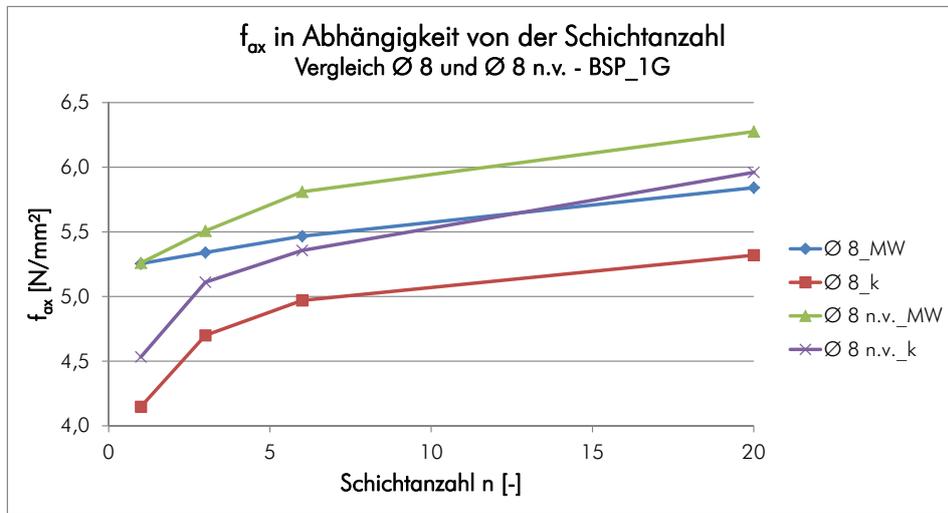


Abb. 4.25 Einfluss der Schichtanzahl und der Vorbohrung auf den Auszieh Widerstand f_{ox} am Beispiel von Brettspertholz der Rohdichtegruppe 1G

4. 5. 2 Feuchtegehalt u

Der Feuchtegehalt der Proben wurde entsprechend der Glg. 4.3 ermittelt. Die Ergebnisse sind in der Tab. 4.16 dargestellt.

	Typ	Mittelwert	Standardabweichung	COV
Rohdichtegruppe 1G	06t	11,6	0,21	1,77
	20t	12,3	0,18	1,42
	40t	12,3	0,34	2,81
	Vollholz	12,3	0,95	7,67
Rohdichtegruppe 2G	06t	12,2	0,23	1,92
	20t	12,9	0,18	1,39
	40t	12,7	0,25	1,94
	Vollholz	12,8	0,35	2,69

Tab. 4.16 Auswertung des Feuchtegehalts zum Zeitpunkt der Prüfungen (alle Angaben in %)

Der Feuchtegehalt der Prüfkörper zum Zeitpunkt der Prüfungen variiert zwischen 11,6 % und 12,9 %, wobei anzumerken ist, dass die Werte in der zweiten Rohdichtegruppe immer höher sind als jene in der Gruppe mit einer geringeren Rohdichte. Der Feuchtegehalt der Prüfkörper mit einer Zellaamellenstärke von 6 mm ist unabhängig von der Rohdichtegruppe geringer als der von den anderen Körpern. Bei den „Vollholz“-Prüfkörpern ist der Variationskoeffizient am Höchsten.

4. 5. 3 Normalrohddichte ρ_u

Die Berechnung der Normalrohddichte zum Zeitpunkt der Prüfungen erfolgte gemäß der Glg. 4.4. In der Tab. 4.17 bis Tab. 4.19 sind die tatsächlichen Rohddichtewerte zum Zeitpunkt der Prüfung den Rohddichtewerten der Brettabschnitte (siehe Tab. 4.9) gegenübergestellt.

Die Mittelwerte der Proben weichen um minimal 0,1 % und maximal 4,3 % von den Mittelwerten der Rohddichten der Brettabschnitte ab. Sowohl die Mittelwerte als auch die charakteristischen Werte der Rohddichte des Ausgangsmaterials weichen von den Ergebnissen der Proben ab, da die Proben weitestgehend astfrei sind, jedoch teilweise Äste bei den Brettabschnitten vorhanden waren.

Bei den BSP- und BSH-Proben sind die Standardabweichungen um ein Vielfaches geringer als jene des Ausgangsmaterials. Bei den Vollholzproben trifft diese Aussage nicht zu. Hier sind diese Werte bei den Proben etwas höher als beim Grundmaterial, jedoch wurden die Schrauben bei den Prüfungen ausschließlich in den Mittellamellen der zufällig aufgebauten „Vollholz“-Körpern geprüft.

Die Streuung ist bei den geschichteten bzw. gesperrten Körpern viel geringer, als bei den Brettabschnitten, aber wie auch schon bei der Standardabweichung ist auch der Variationskoeffizient bei den „Vollholz“-Körpern höher.

Die Werte der Standardabweichung und des Variationskoeffizienten sinken, je mehr Einzelschichten vorhanden bzw. je dünner die Einzellamelle ist. Dies kann auf die Homogenisierung des Materials zurückgeführt werden.

	$\rho_{\text{Proben, 1G}}$			$\rho_{\text{Bretter, 1G}}$		
	06t	20t	40t	06t	20t	40t
Mittelwert	400	384	378	393	394	395
% von ρ_{Bretter} [%]	101,9	97,6	95,7	-	-	-
charakteristischer Wert	388	369	358	360	360	360
Standardabweichung	7,5	10,6	11,4	19,5	19,3	20,0
COV [%]	1,9	2,8	3,0	5,0	4,9	5,1

Tab. 4.17 Auswertung der Rohddichte der Rohdichtegruppe 1G und Gegenüberstellung mit dem Ausgangsmaterial (alle Angaben in $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben)

	$\rho_{\text{Proben, 2G}}$			$\rho_{\text{Bretter, 2G}}$		
	06t	20t	40t	06t	20t	40t
Mittelwert	466	452	449	466	466	466
% von ρ_{Bretter} [%]	99,9	96,9	96,3	-	-	-
charakteristischer Wert	453	433	427	435	434	436
Standardabweichung	8,1	10,3	14,0	22,7	23,1	22,7
COV [%]	1,7	2,3	3,1	4,9	5,0	4,9

Tab. 4.18 Auswertung der Rohdichte der Rohdichtegruppe 2G und Gegenüberstellung mit dem Ausgangsmaterial (alle Angaben in $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben)

	$\rho_{\text{Proben, Vollholz}}$		$\rho_{\text{Bretter, 40t}}$	
	1G	2G	1G	2G
Mittelwert	380	450	395	466
% von ρ_{Bretter} [%]	96,1	96,6	-	-
charakteristischer Wert	340	414	360	436
Standardabweichung	24,4	24,4	20,0	22,7
COV [%]	6,4	5,4	5,1	4,9

Tab. 4.19 Auswertung der Rohdichte der Vollholzproben und Gegenüberstellung mit dem Ausgangsmaterial (alle Angaben in $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben)

In den Abb. 4.26 bis Abb. 4.27 sind die Histogramme der Normalrohichtevertelung der Rohdichtegruppen 1G bzw. 2G (BSP- und BSH-Prüfkörper) und in den Abb. 4.28 und Abb. 4.29 jene der Normalrohichtevertelung der „Vollholz“-Proben sowie die empirische Häufigkeitsvertelung der Rohdichte der „Vollholz“-Prüfkörper der Rohdichtegruppen 1G bzw. 2G dargestellt. Bei allen Histogrammen sind die Klassenbreiten ident gewählt.

Bei den Ergebnissen der BSP- und BSH-Proben handelt es sich um Mittelwerte der Rohdichte der einzelnen Lamellen, aus denen der Körper aufgebaut ist. Bei den „Vollholz“-Ergebnissen handelt es sich um die Rohdichte der Einzelschicht. Grundsätzlich würde man bei der Einzelschicht ebenfalls mit einer annähernden Normalvertelung rechnen, da die Brettabschnitte so sortiert wurden, dass die Rohdichte annähernd normal- oder zumindest eingipfelig vertelut ist und der Aufbau der dreischichtigen BSH-Körper zufällig erfolgte. Die vorhandene Vertelung weicht von dieser Erwartung ab, ist jedoch möglich. Um zu kontrollieren, ob die Klassengröße der Histogramme die grafischen Ergebnisse beeinflussen, wurden zusätzlich die empirische Häufigkeitsvertelung der Rohdichte der „Vollholz“-Prüfkörper der beiden Rohdichtegruppen dargestellt. Hierbei werden die Aussagen der Histogramme bestätigt.

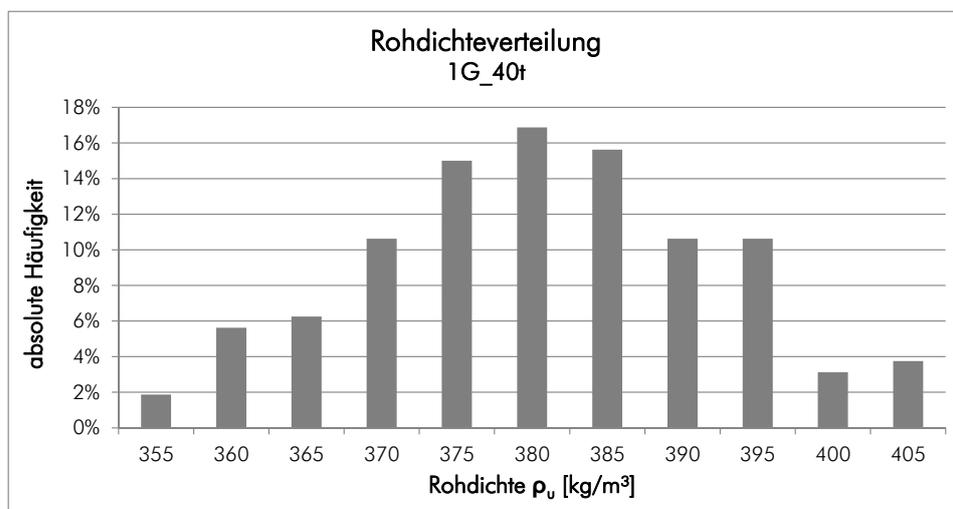
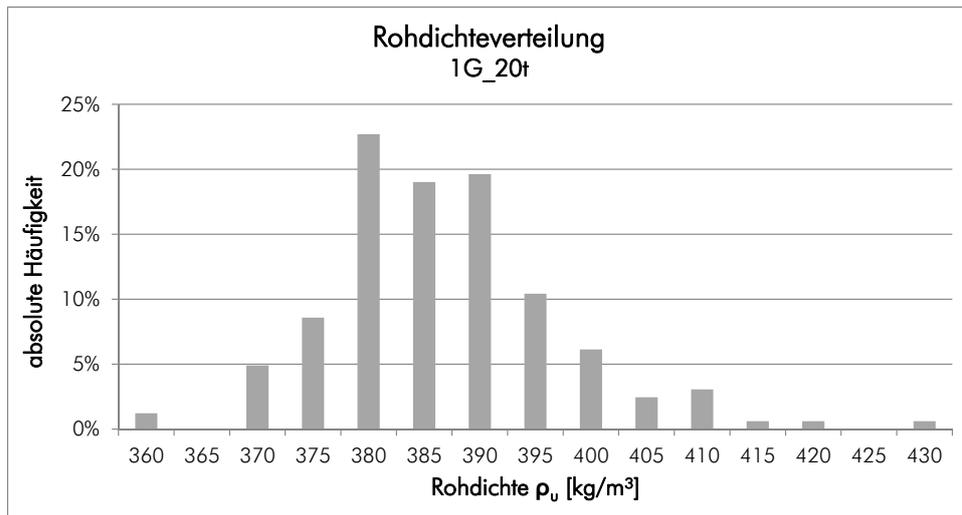
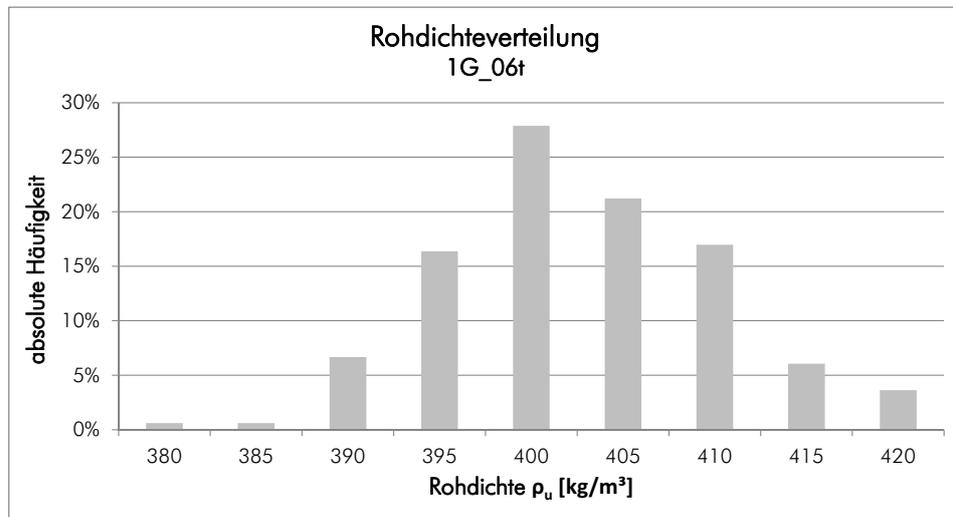


Abb. 4.26 Histogramme der Normalrohndichteverteilung der Rohdichtegruppe 1G

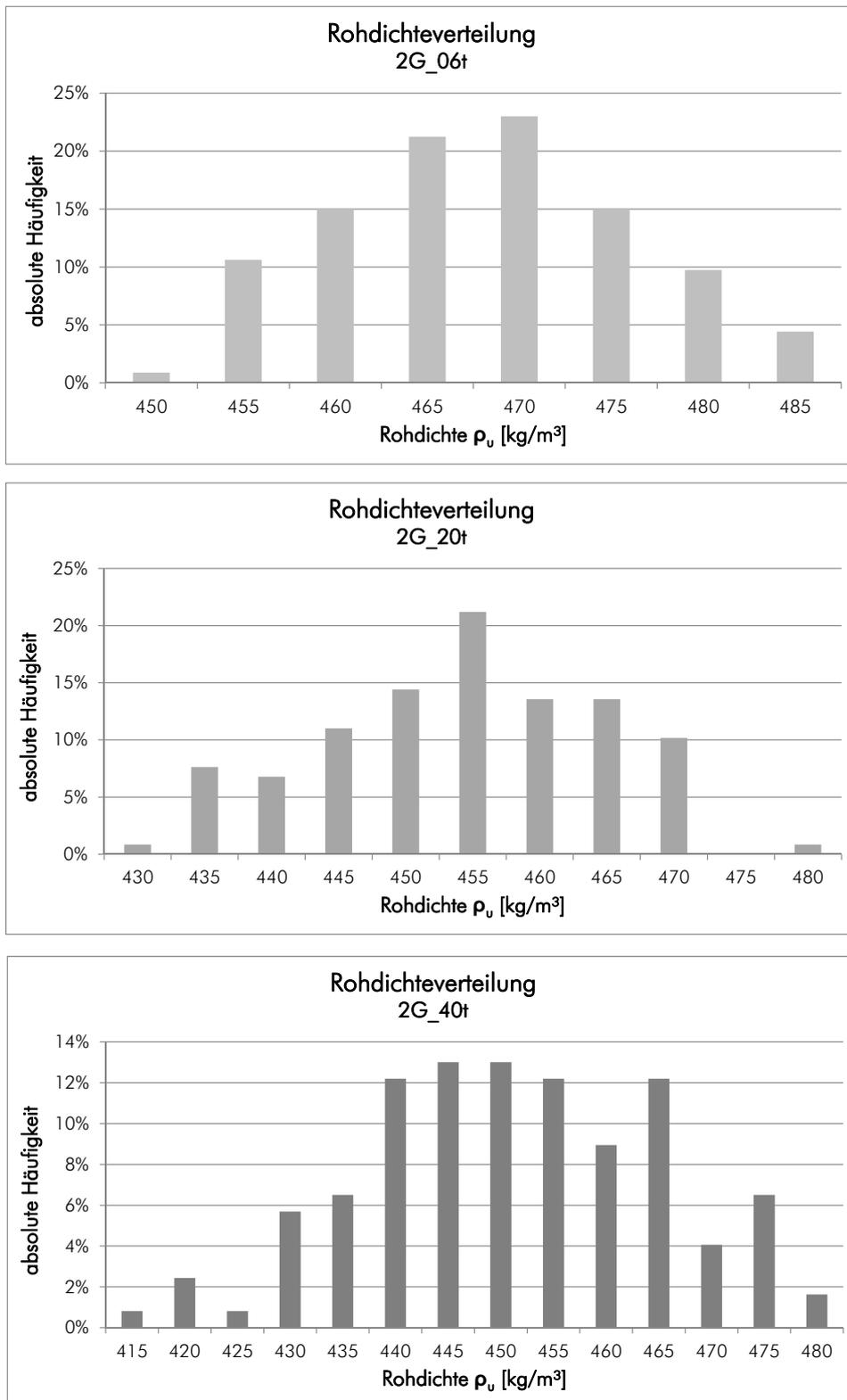


Abb. 4.27 Histogramme der Normalrohndichteverteilung der Rohdichtegruppe 2G

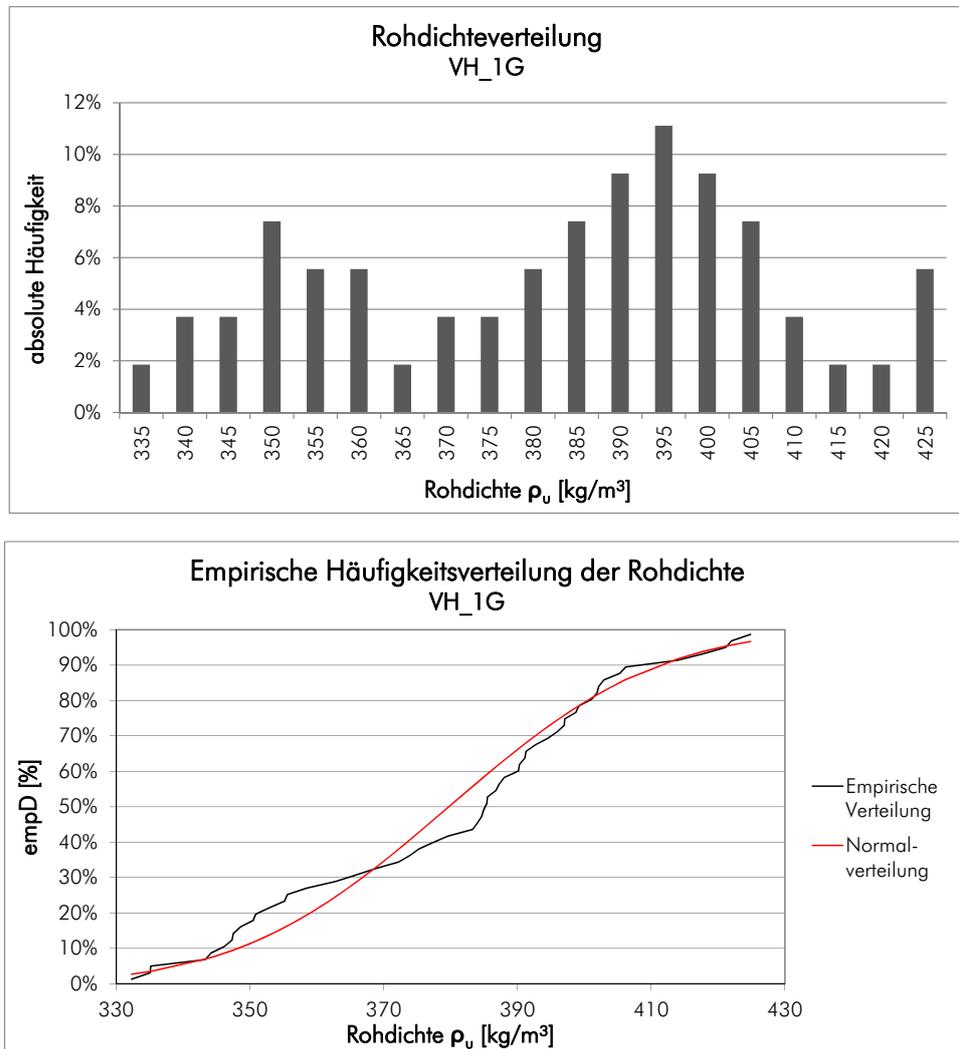


Abb. 4.28 Histogramme der Normalrohndichteverteilung und die empirische Häufigkeitsverteilung der Rohdichte der „Vollholz“-Prüfkörper der Rohdichtegruppe 1G

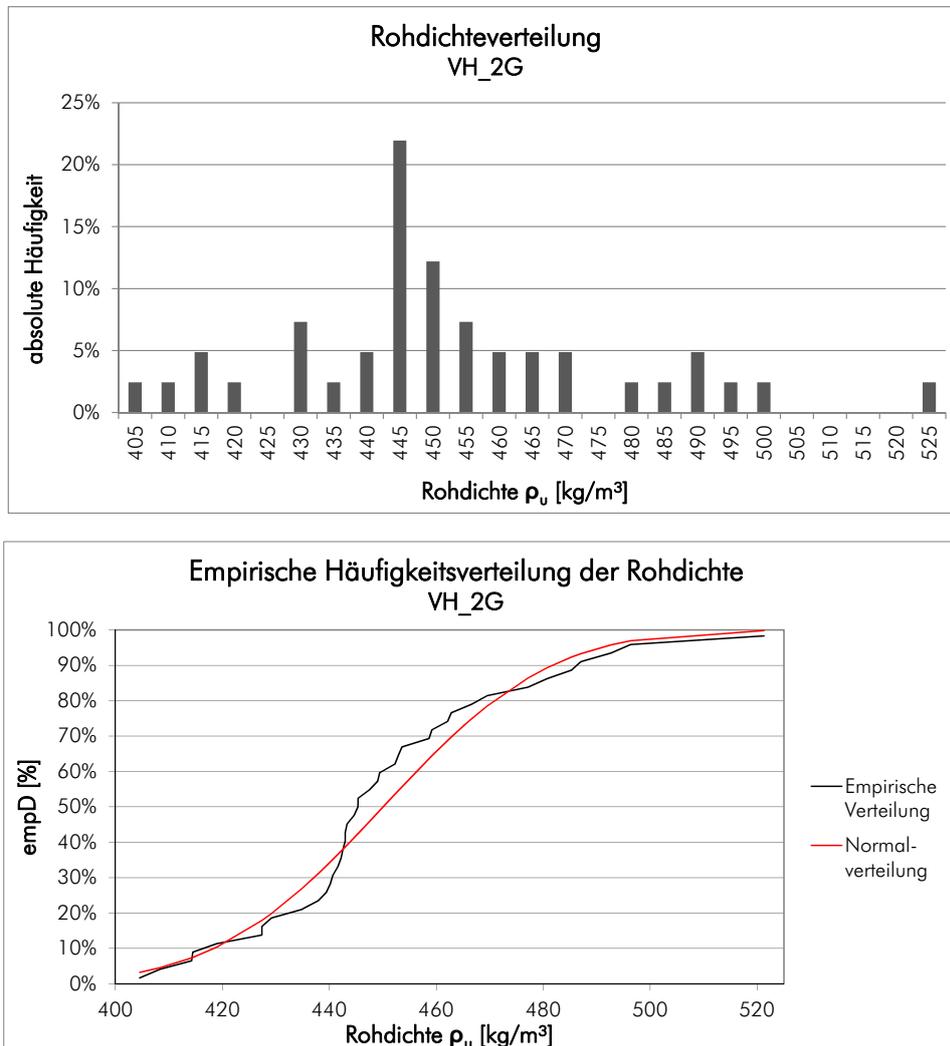


Abb. 4.29 Histogramme der Normalrohndichteverteilung und die empirische Häufigkeitsverteilung der Rohdichte der „Vollholz“-Prüfkörper der Rohdichtegruppe 2G

4. 5. 4 Rohdichte bei 12 % Holzfeuchte ρ_{12}

Die Umrechnung der Normalrohndichte ρ_v auf jene bei einer Referenzholzfeuchte von 12 % erfolgt entsprechend Glg. 4.6. Die Ergebnisse sind in der Tab. 4.20 bis Tab. 4.22 wiedergegeben.

Da der Mittelwert des Feuchtegehalts der Proben (Betrachtung der Ergebnisse von BSP und BSH zusammen) zwischen 11,6 % und 12,9 % beträgt (siehe Tab. 4.16), verändert sich der Mittelwert der Rohdichte bei der Korrektur um maximal 0,5 %. Auch bei den Werten der Standardabweichung und der Streuung gibt es kaum Veränderung durch die Korrektur des Feuchtegehalts.

Bei den BSP- und BSH-Körpern kann auch wie bei der Auswertung der Normalrohddichte beobachtet werden, dass die Werte der Standardabweichung und des Variationskoeffizienten sinken, wenn der Körper aus einer größeren Anzahl von Schichten aufgebaut ist.

	$\rho_{12, 1G}$			$\rho_{u, 1G}$		
	06t	20t	40t	06t	20t	40t
Mittelwert [kg/m ³]	401	384	378	400	384	378
% von $\rho_{u, 1G}$ [%]	100,3	99,9	99,9	-	-	-
Standardabweichung [kg/m ³]	7,5	10,6	11,4	7,5	10,6	11,4
COV [%]	1,9	2,8	3,0	1,9	2,8	3,0

Tab. 4.20 Auswertung der Rohddichte bei einer Referenzholzfeuchte von 12 % $\rho_{12, 1G}$ und Gegenüberstellung mit der Normalrohddichte $\rho_{u, 1G}$

	$\rho_{12, 2G}$			$\rho_{u, 2G}$		
	06t	20t	40t	06t	20t	40t
Mittelwert [kg/m ³]	465	450	447	466	452	449
% von $\rho_{u, 2G}$ [%]	99,8	99,5	99,6	-	-	-
Standardabweichung [kg/m ³]	8,0	10,3	13,8	8,1	10,3	14,0
COV [%]	1,7	2,3	3,1	1,7	2,3	3,1

Tab. 4.21 Auswertung der Rohddichte bei einer Referenzholzfeuchte von 12 % $\rho_{12, 2G}$ und Gegenüberstellung mit der Normalrohddichte $\rho_{u, 2G}$

	$\rho_{12, VH}$		$\rho_{u, VH}$	
	1G	2G	1G	2G
Mittelwert [kg/m ³]	379	448	380	450
% von $\rho_{u, VH}$ [%]	99,8	99,6	-	-
Standardabweichung [kg/m ³]	23,9	24,3	24,4	24,4
COV [%]	6,3	5,4	6,4	5,4

Tab. 4.22 Auswertung der Rohddichte bei einer Referenzholzfeuchte von 12 % $\rho_{12, VH}$ und Gegenüberstellung mit der Normalrohddichte $\rho_{u, VH}$

4.5.5 Verschiebungsmoduln K_{ser} und K_U

Bei der Auswertung des Einflusses der Schichtanzahl und der Vorbohrung auf die Verschiebungsmoduln können folgende Trends bei beiden Verschiebungsmoduln festgestellt werden:

- beim Vergleich der Einzelschicht mit dem 20-schichtigen Aufbau kann ein Anstieg der Steifigkeit beobachtet werden – dies gilt bei beide Verschiebungsmoduln;
- die Werte bei BSP sind höher als bei BSH – dies stützt die getroffene Annahme des „Sperreffektes“ und wird später besprochen;
- die Verschiebungsmoduln bei der zweiten Rohdichtegruppe sind höher und
- durch das Vorbohren sinkt die Steifigkeit – dies gilt bei beiden Verschiebungsmoduln.

Die Abb. 4.30 zeigt den Einfluss der Anzahl von Schichten und der Vorbohrung auf die Verschiebungsmoduln K_{ser} und K_U .

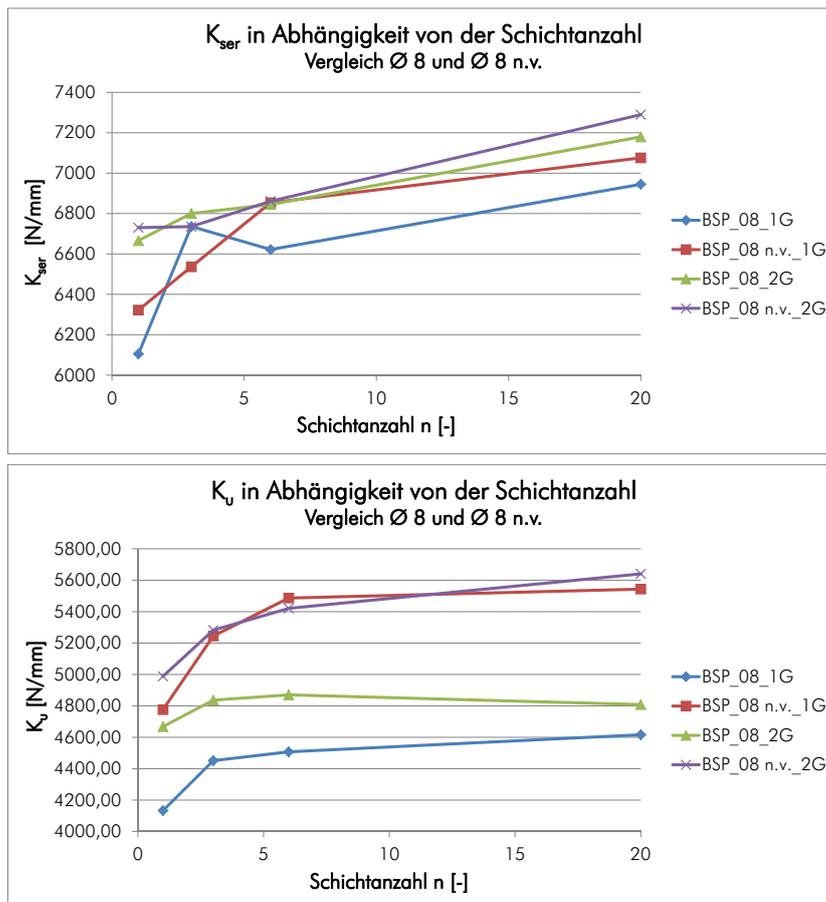


Abb. 4.30 Einfluss der Schichtanzahl und der Vorbohrung auf die Verläufe der Verschiebungsmoduln K_{ser} und K_U bei Brettsperrholz der Rohdichtegruppe 1G und 2G

In Tab. 4.23 bis Tab. 4.25 sind die Mittelwerte der Verschiebungsmoduln $K_{ser,mean}$ und $K_{U,mean}$ getrennt nach Schichtanzahl verglichen, wobei die Unterschiede zwischen Brettsperrholz und Brettschichtholz bzw. zwischen vorgebohrt und nicht vorgebohrt dargestellt sind.

Vergleicht man die Ergebnisse der Einzelschicht bzw. des dreischichtigen Aufbaues ($\varnothing 12$) mit jenen der maximal möglichen Schichtanzahl, so sieht man, dass die Steifigkeit um bis zu 11 % (K_{ser} und K_U) ansteigt, wobei beobachtet wurde, dass der Anstieg bei Brettsperrholz höher ist als bei Brettschichtholz.

Wie schon einleitend festgestellt, sind die Werte der Verschiebungsmoduln bei Brettsperrholz höher als bei Brettschichtholz – dies gilt nicht bei $K_{U,\varnothing 12,n=20,mean}$, wobei hier der Verschiebungsmodul von Brettschichtholz geringfügig höher ist. Die maximale Differenz beträgt 6 % (K_{ser} und K_U). Es ist anzumerken, dass die geringsten Unterschiede der Werte jene Gruppen aufweisen die aus der maximalen Anzahl an Schichten aufgebaut sind und grundsätzlich die Differenzen bei $\varnothing 8$ größer sind als bei $\varnothing 12$.

Durch das Vorbohren sinkt die Steifigkeit, wobei dies beim Verschiebungsmodul im Grenzzustand der Tragfähigkeit K_U besonders ausgeprägt ist. Zusätzlich konnte hier festgestellt werden, dass der Unterschied mit Zunahme der Schichtanzahl steigt und maximal 16 % beträgt.

n	$K_{ser,mean}$ [N/mm]			$K_{U,mean}$ [N/mm]		
	BSP	BSH	$\Delta_{BSP-BSH}$	BSP	BSH	$\Delta_{BSP-BSH}$
1	6422	6422	0,0 %	4614	4614	0,0 %
3	6693	6359	- 5,0 %	4937	4675	- 5,3 %
6	6787	6389	- 5,9 %	5061	4753	- 6,1 %
20	7099	6776	- 4,5 %	5140	5018	- 2,4 %

Tab. 4.23 Vergleich der Verschiebungsmoduln von Brettsperrholz und Brettschichtholz; beide Rohdichtegruppen, $\varnothing 8$ ges

n	$K_{ser,mean}$ [N/mm]			$K_{U,mean}$ [N/mm]		
	BSP	BSH	$\Delta_{BSP-BSH}$	BSP	BSH	$\Delta_{BSP-BSH}$
3	10178	9870	- 3,0 %	5353	5128	- 4,2 %
6	10152	9716	- 4,3 %	5371	5115	- 4,8 %
20	10455	10225	- 2,2%	5516	5544	0,5 %

Tab. 4.24 Vergleich der Verschiebungsmoduln von Brettsperrholz und Brettschichtholz; beide Rohdichtegruppen, $\varnothing 12$

n	$K_{ser,mean}$ [N/mm]			$K_{u,mean}$ [N/mm]		
	$\varnothing 8$	$\varnothing 8$ n.v.	$\Delta_{v.-n.v.}$	$\varnothing 8$	$\varnothing 8$ n.v.	$\Delta_{v.-n.v.}$
1	6350	6496	- 2,2 %	4367	4866	- 10,3 %
3	6764	6621	2,2 %	4620	5261	- 12,2 %
6	6717	6857	- 2,0 %	4662	5460	- 14,6 %
20	7030	7166	- 1,9 %	4686	5584	- 16,1 %

Tab. 4.25 Vergleich der Verschiebungsmoduln bei vorhandener bzw. ohne Vorbohrung; Brettsperrholz, beide Rohdichtegruppen

Modellbildung und Vergleich

1 Allgemeine Betrachtungen

Die Abb. 5.1 zeigt eine Darstellung aller, aus den im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten Schraubenausziehprüfungen resultierenden, Ausziehfestigkeiten. Dabei sieht man eine Konzentration der Ergebnisse in zwei Bereichen. Diese Bereiche sind die beiden Rohdichtegruppen 1G und 2G. Ausschließlich beim Material Vollholz kommt es zu einer Ausbildung einer Art Band, welches von links unten nach rechts oben verläuft.

Man sieht, dass innerhalb dieser beiden Ergebniskonzentrationen, die einzelnen Materialien und Schraubendurchmesser relativ gleichmäßig aufgeteilt sind, was die Annahme zulässt, dass der Schraubendurchmesser einen geringen Einfluss auf die Ausziehfestigkeit hat.

Teilweise sind die Ergebnisse des Vollholzes eher im unteren und die Ergebnisse des Brettsperrholzes bei einem Schraubendurchmessers von 8 mm eher im oberen Bereich der Konzentration angesiedelt.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die Ausziehfestigkeit mit steigender Rohdichte zunimmt und mit steigendem Schraubendurchmesser tendenziell einen geringeren Wert aufweist.

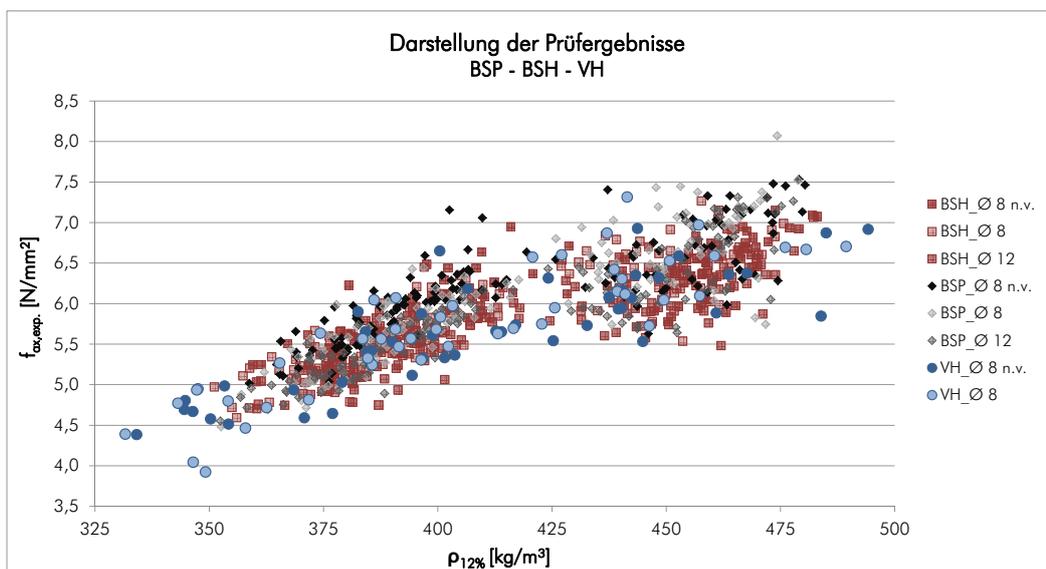


Abb. 5.1 Darstellung der Ausziehfestigkeit (Prüfergebnisse) gegen die Rohdichte $\rho_{12\%}$ (Rohdichte bei einer Referenzholzfeuchte von 12 %) der Materialien Brettsperrholz, Brettschichtholz und Vollholz; alle Durchmesser und Rohdichtegruppen

2 Veränderung der Rohdichte über die Schichtanzahl

Dieser Abschnitt befasst sich mit dem Verhalten der Rohdichte in Abhängigkeit der Schichtanzahl. Dabei werden die Ergebnisse der Rohdichte (Mittelwerte und charakteristische Werte) und des Variationskoeffizienten der Rohdichte dargestellt und etwaige Änderungen durch vorgenommene Korrekturen, rückführbar auf die Einflüsse der Klebstoffmenge und der Holzfeuchte, gezeigt. Die Werte der charakteristischen Rohdichte der Materialien Brettsperrholz und Brettschichtholz werden ebenso verglichen. Abschließend wird die Ursache für das Ansteigen der Rohdichte bei einer Zunahme der Anzahl der Einzellamellen aufgezeigt.

2.1 Allgemein

Um den Einfluss der Schichtanzahl auf die Rohdichte zu zeigen, werden als Eingangsdaten der Rohdichte die holzfeuchtekorrigierten Daten verwendet. Da die Holzfeuchte der BSP- und BSH-Körper zum Zeitpunkt der Prüfungen zwischen 11,6 % und 12,9 % betrug – siehe Kapitel 4, 4. 5. 2 Feuchtegehalt u – weicht die Rohdichte bei 12 % Referenzholzfeuchte ρ_{12} minimal von der Prüfrohdichte ρ_u ab.

Es ist anzumerken, dass der Schraubendurchmesser kaum Einfluss auf die jeweilige Rohdichte hat. Daher werden im Weiteren alle Gruppen die die Schraube betreffen (d.h. $\varnothing 8$, $\varnothing 8$ n.v. bzw. $\varnothing 12$) zusammen betrachtet und nicht getrennt nach Gruppe.

2.2 Ergebnisse

2.2.1 Charakteristischer Wert der Rohdichte

Die Abb. 5.2 zeigt den Einfluss der Schichtanzahl auf den charakteristischen Wert der Rohdichte – dies für Brettsperrholz und Brettschichtholz beider Rohdichtegruppen. Die Ergebnisse der einzelnen Gruppen wurden mit dem charakteristischen Wert der Rohdichte von Vollholz ($n = 1$) normiert.

Bei einem Vergleich des Wertes von Vollholz mit jenem der aus zwanzig Schichten aufgebauten Körper kommt es bei Brettsperrholz zu einem Anstieg von 13,0 % und bei Brettschichtholz zu einem Anstieg von 13,1 %.

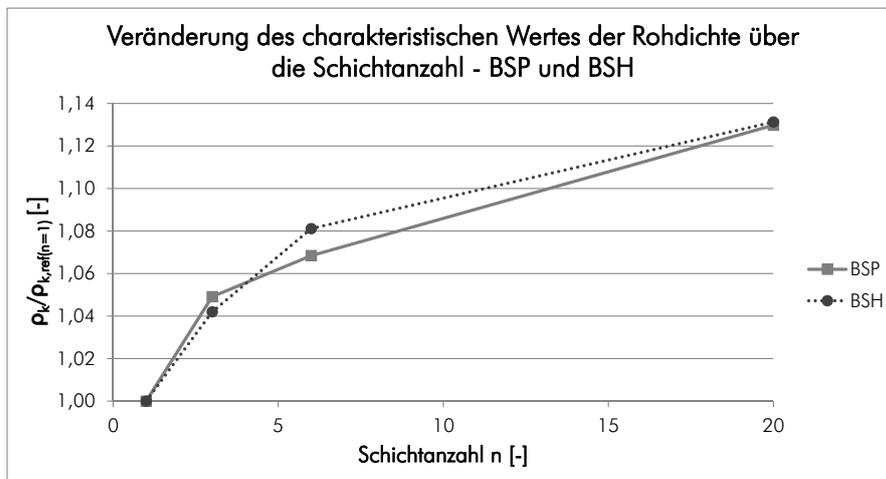


Abb. 5.2 Darstellung der charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz und Brettschichtholz; alle Durchmesser, beide Rohdichtegruppen

2. 2. 2 Mittelwert der Rohdichte

Der Einfluss der Schichtanzahl auf den Mittelwert der Rohdichte bei Brettsperrholz und Brettschichtholz wird in der Abb. 5.3 gezeigt. Wie auch schon bei den charakteristischen Werten der Rohdichte sind die Ergebnisse der Gruppen auf den Wert von Vollholz ($n = 1$) bezogen.

Aufgrund der gleichmäßigen Aufteilung der Brettabschnitte in die einzelnen Gruppen (06t, 20t und 40t), könnte man grundsätzlich davon ausgehen, dass der Verlauf des Mittelwertes der Rohdichte annähernd konstant ist. Bei einem Vergleich des Wertes von den Gruppen 40t ($n = 3$) und 06t ($n = 20$) zeigt sich allerdings ein Anstieg von 4,3 % bei Brettsperrholz und von 4,6 % bei Brettschichtholz.

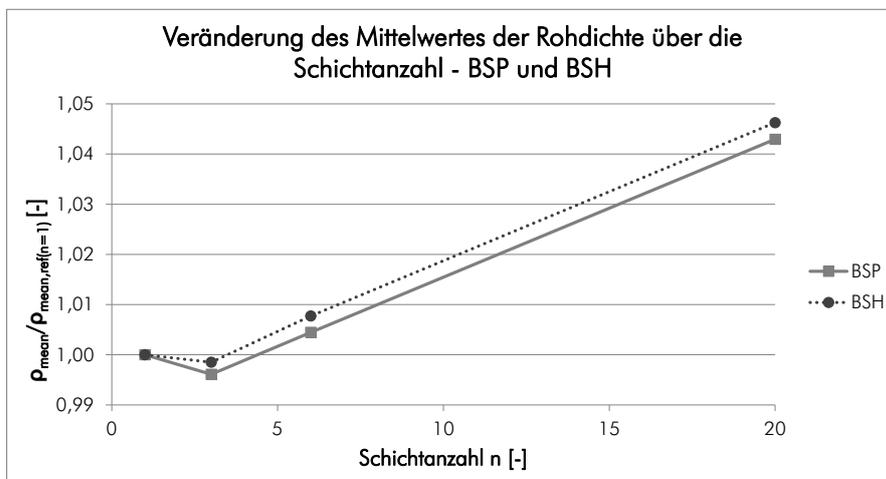


Abb. 5.3 Darstellung der Mittelwerte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz und Brettschichtholz; alle Durchmesser, beide Rohdichtegruppen

Beide Materialien (BSP und BSH) und alle Rohdichtegruppen (1G, 2G und gesamt) zeigen qualitative Übereinstimmungen bei den Verläufen über die Schichtanzahl. Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass dieses Verhalten nicht aus einem Fehler der Sortierung resultiert, sondern ein anderer Faktor diesen Wert beeinflusst.

2. 2. 3 Vergleich von Brettsper Holz und Brettschichholz

Der Mittelwert, der charakteristische Wert und der Variationskoeffizient der Rohdichte für Brettsper Holz und Brettschichholz werden in der Tab. 5.1 und Tab. 5.2 getrennt nach Durchmesser (\varnothing 8 n.v., \varnothing 8 und \varnothing 12) und Rohdichtegruppe (1G und 2G) gezeigt.

Grundsätzlich steigen die Mittelwerte und die charakteristischen Werte der Rohdichte mit der Zunahme der Schichtanzahl und der Variationskoeffizient sinkt. Die maximale Differenz des Ergebnisses von Brettsper Holz und Brettschichholz beträgt beim Mittelwert der Rohdichte 1,3 %, beim charakteristischen Wert der Rohdichte 1,9 % und beim Variationskoeffizienten 0,7 %.

Da die Unterschiede bei der Rohdichte bei diesen beiden Materialien gering sind, können diese Daten grundsätzlich gleichwertig zur Modellbildung herangezogen werden.

	n	ρ_{mean} [kg/m ³]			ρ_k [kg/m ³]			COV [%]		
		BSP	BSH	Δ	BSP	BSH	Δ	BSP	BSH	Δ
\varnothing 8 n.v.	3	379	380	0,3 %	365	361	- 1,1 %	2,7	2,7	0,0 %
	6	387	388	0,3 %	374	377	0,8 %	2,5	2,4	- 0,2 %
	20	403	403	0,1 %	392	392	0,0 %	1,8	1,8	0,1 %
\varnothing 8	3	378	373	- 1,3 %	362	355	- 1,9	3,1	2,9	- 0,2 %
	6	383	384	0,3 %	366	369	0,8 %	3,3	3,5	0,3 %
	20	399	400	0,3 %	387	390	0,8 %	1,9	1,9	0,1 %
\varnothing 12	3	376	381	1,3 %	357	361	1,1 %	3,1	3,0	- 0,1 %
	6	381	380	- 0,3 %	368	371	0,8 %	2,1	1,6	- 0,5 %
	20	401	401	0,0 %	393	391	- 0,5 %	1,5	1,9	0,5 %

Tab. 5.1 Vergleich der Mittelwerte und der charakteristischen Werte der Rohdichte und der Variationskoeffizienten getrennt für alle Durchmesser bei BSP und BSH; Rohdichtegruppe 1G

	n	ρ_{mean} [kg/m ³]			ρ_k [kg/m ³]			COV [%]		
		BSP	BSH	Δ	BSP	BSH	Δ	BSP	BSH	Δ
Ø 8 n.v.	3	449	450	0,2 %	425	428	0,7 %	3,3	3,1	- 0,2 %
	6	451	456	1,1 %	436	441	1,1 %	2,4	1,6	- 0,7 %
	20	469	468	- 0,2 %	459	455	- 0,9 %	1,6	1,8	0,2 %
Ø 8	3	447	443	- 0,9 %	426	427	0,2 %	3,3	2,6	- 0,7 %
	6	448	450	0,4 %	433	433	0,0 %	2,3	2,0	- 0,3 %
	20	463	462	- 0,2 %	453	451	- 0,4 %	1,7	1,9	0,2 %
Ø 12	3	447	448	0,2 %	429	428	- 0,2 %	3,0	3,0	- 0,1 %
	6	446	446	0,0 %	432	431	- 0,2 %	2,3	2,3	0,0 %
	20	464	466	0,4 %	454	455	0,2 %	1,5	1,3	- 0,1 %

Tab. 5.2 Vergleich der Mittelwerte und der charakteristischen Werte der Rohdichte und der Variationskoeffizienten getrennt für alle Durchmesser bei BSP und BSH; Rohdichtegruppe 2G

2.3 Korrektur der Ergebnisse

Da die Mittelwerte der Rohdichte bei Zunahme der Schichtanzahl sowohl bei Brettsperrholz, als auch bei Brettschichtholz und bei beiden Rohdichtegruppen ansteigen, obwohl der Mittelwert der Rohdichte aufgrund der Sortierung der Brettabschnitte annähernd einen konstanten Verlauf aufweisen müsste, muss der dafür verantwortliche Einfluss auffindig gemacht werden.

Da es diesen Einfluss der Schichtanzahl bei beiden Materialien gibt, wird zuerst eine mögliche Auswirkung der Masse des Klebstoffes untersucht.

Bei der Herstellung der Prüfkörper wurde der Kleber Jowapur [58] des Herstellers Jowat Klebstoffe verwendet (siehe Kapitel 4, Abschnitt 2. 2). Die Trockendichte des Klebers beträgt laut dem Produktdatenblatt 1150 kg/m³. Zuerst musste die Masse des Klebers je einzelner Kleberschicht abgeschätzt werden. Hierfür wurden zwei unterschiedliche Ansätze miteinander verglichen.

- Im Allgemeinen gilt bei Polyurethanklebstoffen die Forderung nach der Einhaltung einer maximalen Klebstoffdicke von $\leq 0,1$ mm. Multipliziert man die maximale Fugendicke mit der Trockendichte des Klebers, so entspricht dies einer Masse von 0,115 kg Kleber pro Quadratmeter Fuge.

- Es wurden 150 g Kleber pro Quadratmeter Holzlamelle aufgetragen. Es wird angenommen, dass rund 25 % des Klebers beim Pressen herausgedrückt werden. Dies würde bedeuten, dass sich die Masse des Klebers auf 0,115 kg pro Quadratmeter beläuft.

Da beide Ansätze zum gleichen Ergebnis führen, wird von einer Fugendicke von 0,1 mm und folglich von einer Masse von 0,115 kg/m² ausgegangen.

In weiterer Folge wurde die Masse der einzelnen Kleinproben derart korrigiert, dass die Masse des Klebstoffes in den Fugen von der Masse der Kleinproben abgezogen wurde. Damit erhält man die Masse des Holzkörpers, mit der wiederum die Rohdichte erneut berechnet wird. Die Masse der Fugen $\Delta m_{(n-1)}$ wurde mit Hilfe einer Funktion in Abhängigkeit von der Fugenanzahl berechnet – siehe Glg. 5.1 und Glg. 5.2.

$$m_{\text{korr}} = m_{\text{KP}} - \Delta m_{(n-1)} \quad \text{in [kg]} \quad \text{Glg. 5.1}$$

$$\Delta m_{(n-1)} = A_{\text{Fuge}} \times \rho_{\text{Kleber}} \times t_{\text{Fugen}} \times (n - 1) \quad \text{in [kg]} \quad \text{Glg. 5.2}$$

Wobei	m_{korr}	... die korrigierte Masse der Probe [kg],
	m_{KP}	... die gesamte Masse der Kleinprobe [kg],
	$\Delta m_{(n-1)}$	... die Masse der Klebstofffugen in Abhängigkeit von der Anzahl der Schichten [kg],
	A_{Fuge}	... die Klebstofffläche pro Fuge [m ²],
	ρ_{Kleber}	... die Trockenrohichte des verwendeten Klebstoffes [kg/m ³],
	t_{Fugen}	... die Dicke der Klebstoffschicht pro Fuge [m] und
	n	... die Anzahl der Schichten [-] ist.

Die Masse des Klebers in Abhängigkeit von der Anzahl der Fugen und der Einfluss der höheren Dichte des Klebers auf den Mittelwert der Gesamtmasse der Proben sind in der Tab. 5.3 dargestellt. Bei der maximal möglichen Schichtanzahl von zwanzig Schichten, beträgt die Masse des Klebstoffes rund 4 % von der Gesamtmasse der Kleinprobe, da die Rohdichte des Klebstoffes viel höher ist, als die Rohdichte von Holz.

		(n-1)	Ø8 und Ø8n.v.		Ø12	
			$\Delta m_{(n-1)}$	$\frac{\Delta m_{(n-1)}}{m_{KP,mean}}$	$\Delta m_{(n-1)}$	$\frac{\Delta m_{(n-1)}}{m_{KP,mean}}$
Rohdichte- gruppe 1G	06t	19	2,24 g	4,3 %	5,03 g	4,4 %
	20t	5	0,59 g	1,2 %	1,32 g	1,2 %
	40t	2	0,24 g	0,5 %	0,53 g	0,5 %
Rohdichte- gruppe 2G	06t	19	2,24 g	3,7 %	5,03 g	3,8 %
	20t	5	0,59 g	1,0 %	1,32 g	1,0 %
	40t	2	0,24 g	0,4 %	0,53 g	0,4 %

Tab. 5.3 Masse des Klebers bei den Proben und Verhältnis der Klebermasse zur Gesamtmasse der Probe in Abhängigkeit von der Anzahl der Klebefugen und der Rohdichtegruppen

2. 3. 1 Darstellung der korrigierten Ergebnisse

Die Abb. 5.4 zeigt einleitend das Verhalten der klebstoffkorrigierten Mittelwerte und charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl der Rohdichtegruppe 1G und 2G am Beispiel des Materials Brettsperholz.

Durch die Korrektur der Rohdichte verringern sich sowohl die charakteristischen Werte, als auch die Mittelwerte der Rohdichte der geschichteten Prüfkörper. Nachfolgend wird der Einfluss der Korrektur auf die Ergebnisse der Rohdichte näher erläutert.

Für die nachfolgenden Betrachtungen werden bei der Rohdichte die feuchte- und klebstoffkorrigierten Daten zugrunde gelegt, da den vorhandenen Modellen zugrunde gelegt ist, dass die Mittelwerte der Rohdichte konstant sind.

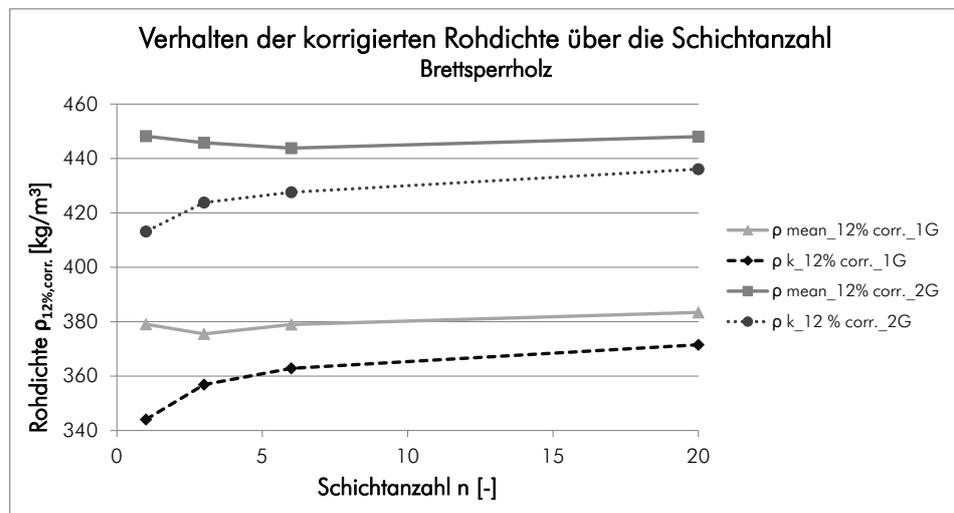


Abb. 5.4 Darstellung der klebstoffkorrigierten Mittelwerte und charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz der Rohdichtegruppen 1G und 2G; alle Durchmesser

Charakteristischer Wert der Rohdichte

Die Änderung des Verlaufes des charakteristischen Wertes der Rohdichte durch die Klebstoffkorrektur in Abhängigkeit von der Schichtanzahl ist in der Abb. 5.5 dargestellt. Dabei sind die Ergebnisse aller Gruppen auf die charakteristische Rohdichte von Vollholz normiert.

Nach der Korrektur des Klebstoffes beträgt der maximale Anstieg des charakteristischen Wertes der Rohdichte bei Brettsperrholz 7,9 % und bei Brettschichtholz 8,1 % (Vergleich der Werte für 1s und 20s).

Einen Vergleich der Änderung der Werte aufgrund der Klebstoffkorrektur in Abhängigkeit von der Schichtanzahl, getrennt für die beiden Rohdichtegruppen, zeigt die Abb. 5.4 und Abb. 5.5. Die Werte beider Materialien wurden zuerst getrennt voneinander und anschließend die korrigierten Ergebnisse der Rohdichte beider Materialien miteinander verglichen.

Die maximale Differenz aufgrund der Korrektur beträgt 4,6 % analog für BSP und BSH der Rohdichtegruppe 1G. Bei dem Vergleich der beiden Materialien miteinander, klaffen die Ergebnisse maximal um 0,8 % auseinander.

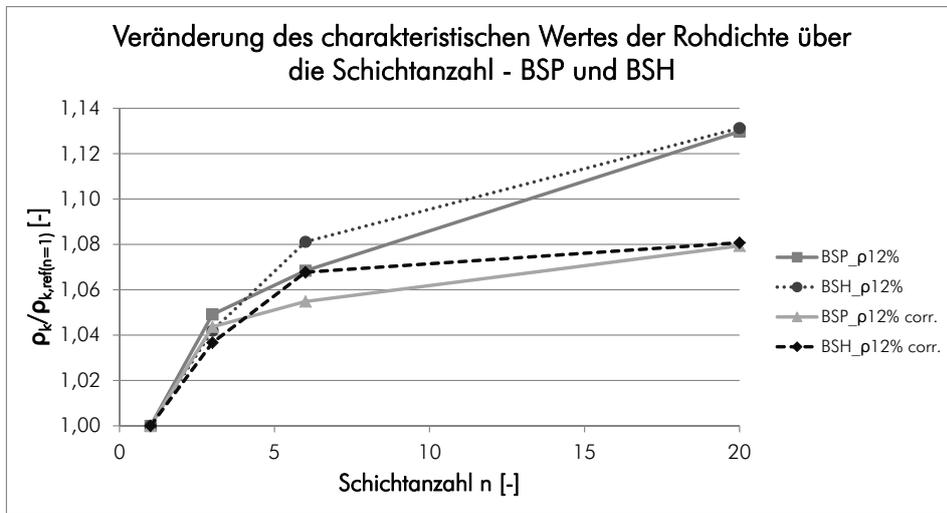


Abb. 5.5 Darstellung der charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl vor und nach der Klebstoffkorrektur bei Brettsperrholz und Brettschichtholz; alle Durchmesser und beide Rohdichtegruppen

n	BSP			BSH			BSP/BSH
	$\rho_{12\%,k}$	$\rho_{12\%_corr.,k}$	Δ	$\rho_{12\%,k}$	$\rho_{12\%_corr.,k}$	Δ	$\Delta\rho_{12\%_corr.,k}$
3	359	357	- 0,6 %	359	357	- 0,6 %	0,0 %
6	368	363	- 1,4 %	371	366	- 1,3 %	0,8 %
20	389	371	- 4,6 %	391	373	- 4,6 %	0,5 %

Tab. 5.4 Vergleich der charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl vor und nach der Klebstoffkorrektur bei Brettsperrholz und Brettschichtholz der Rohdichtegruppe 1G; alle Angaben in $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben

n	BSP			BSH			BSP/BSH
	$\rho_{12\%,k}$	$\rho_{12\%_corr.,k}$	Δ	$\rho_{12\%,k}$	$\rho_{12\%_corr.,k}$	Δ	$\Delta\rho_{12\%_corr.,k}$
3	426	424	- 0,5 %	427	423	- 0,9 %	- 0,2 %
6	432	428	- 0,9 %	431	427	- 0,9 %	- 0,2 %
20	453	436	- 3,8 %	452	435	- 3,8 %	- 0,2 %

Tab. 5.5 Vergleich der charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl vor und nach der Klebstoffkorrektur bei Brettsperrholz und Brettschichtholz der Rohdichtegruppe 2G; alle Angaben in $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben

Mittelwert der Rohdichte

Der Einfluss der Korrektur des Klebstoffes auf den Mittelwert der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl ist in der Abb. 5.6 dargestellt. Wie auch bei den charakteristischen Werten sind die Ergebnisse auf jene von Vollholz normiert. Es wird angenommen, dass der Mittelwert der Rohdichte konstant ist. Die maximale Differenz zwischen dem minimalen und maximalen Mittelwert der Rohdichte beträgt bei BSP 0,9 % und bei BSH 0,5 % (Vergleich der Werte für 3s und 20s).

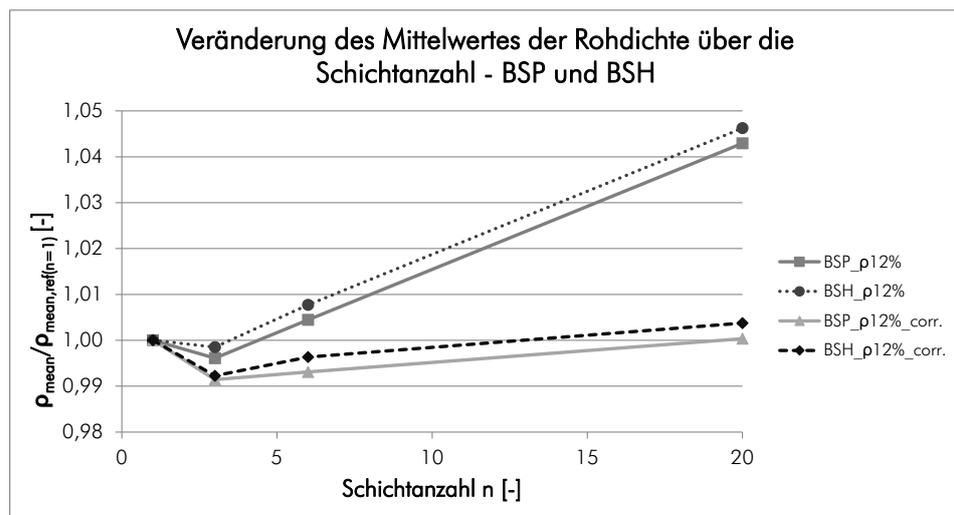


Abb. 5.6 Darstellung der Mittelwerte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl vor und nach der Klebstoffkorrektur bei BSP und BSH; alle Durchmesser und beide Rohdichtegruppen

Die Mittelwerte der Rohdichte, vor und nach der Korrektur, werden in der Tab. 5.6 und Tab. 5.7 verglichen. Dies erfolgt getrennt für beide Rohdichtegruppen und die Anzahl der Einzellamellen, aus denen der Körper aufgebaut ist. Zuerst werden die Änderungen der Ergebnisse der beiden Materialien getrennt voneinander verglichen und anschließend werden die korrigierten Ergebnisse beider Materialien miteinander verglichen.

Bei Brettsperrholz und bei Brettschichtholz beträgt die maximale Änderung des Mittelwertes der Rohdichte 4,5 % (Rohdichtegruppe 1G). Die korrigierten Ergebnisse der Materialien weisen eine maximale Differenz von 0,7 % auf.

n	BSP			BSH			BSP/BSH Δρ _{12%_corr.}
	ρ _{12%}	ρ _{12%_corr.}	Δ	ρ _{12%}	ρ _{12%_corr.}	Δ	
3	377	375	- 0,5 %	378	376	- 0,5 %	0,3 %
6	384	379	- 1,3 %	384	379	- 1,3 %	0,0 %
20	401	383	- 4,5 %	401	384	- 4,2 %	0,3 %

Tab. 5.6 Vergleich der Mittelwerte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl vor und nach der Klebstoffkorrektur bei Brettsperrholz und Brettschichtholz der Rohdichtegruppe 1G; alle Angaben in [kg/m³], wenn nicht anders angegeben

n	BSP			BSH			BSP/BSH
	$\rho_{12\%}$	$\rho_{12\%_corr.}$	Δ	$\rho_{12\%}$	$\rho_{12\%_corr.}$	Δ	$\Delta\rho_{12\%_corr.}$
3	448	446	- 0,4 %	447	443	- 0,9 %	- 0,7 %
6	448	444	- 0,9 %	451	446	- 1,1 %	0,5 %
20	465	448	- 3,7 %	465	448	- 3,7 %	- 0,1 %

Tab. 5.7 Vergleich der Mittelwerte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl vor und nach der Klebstoffkorrektur bei Brettsperrholz und Brettschichtholz der Rohdichtegruppe 2G; alle Angaben in $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben

2. 4 Vergleich der charakteristischen Rohdichte von Brettsperrholz und Brettschichtholz

Bei der Bestimmung des charakteristischen Wertes der Rohdichte bei BSH gilt Folgendes:

$$\rho_{\text{BSH},k} = 1,1 \times \rho_{\text{VH},k} \quad [12]$$

Bei der Ermittlung dieses multiplikativen Faktors wurden die Annahmen getroffen, dass der Variationskoeffizient der Rohdichte beim Ausgangsmaterial mindestens 7,2 % beträgt und dass das Brettschichtholz aus 15 Schichten aufgebaut ist. Dies ergibt sich bei Betrachtung eines Brettschichtholzträgers mit einem Referenzquerschnitt von $b/h = 150/600\text{mm}$, aufgebaut aus BSH-Lamellen mit einer Referenzlamellenstärke t_{lam} von 40 mm.

Die Abb. 5.7 zeigt die Darstellung der charakteristischen Werte von Brettsperrholz und Brettschichtholz, wobei diese Werte in Abhängigkeit von der Einzelschicht (d.h. vom Vollholz) dargestellt sind. Anschließend wurde jener Faktor bestimmt, der das Verhältnis zwischen BSP bzw. BSH und Vollholz darstellt. Die ermittelten Faktoren sind bei Brettsperrholz 1,071 und bei Brettschichtholz 1,076. Sowohl bei Brettschichtholz als auch bei Brettsperrholz ist das Ergebnis geringer als der in den Normen verankerte Faktor von 1,1. Dies kann aber dadurch erklärt werden, dass der Variationskoeffizient des Ausgangsmaterials (1G: COV = 6,3 %, 2G: COV = 5,4 %) geringer ist als die dem Modell zugrunde gelegten $\geq 7,2\%$ und dass bei der Rohdichte die Korrektur des Klebstoffes durchgeführt wurde. Wie in 2. 3 gezeigt, ist der Einfluss der Klebstoffmenge, durch die wesentlich höhere Rohdichte, bei einer größeren Anzahl von Einzellamellen mit einer geringen Stärke nicht zu vernachlässigen.

Aufgrund der Daten dieser Masterarbeit kann die Aussage gemacht werden, dass der charakteristische Wert der Rohdichte bei Brettsperrholz höher ist als jener von Vollholz und dem Wert von Brettschichtholz gleichgesetzt werden kann, sofern gleich viele Schichten zu einer Homogenisierung der Rohdichte beitragen.

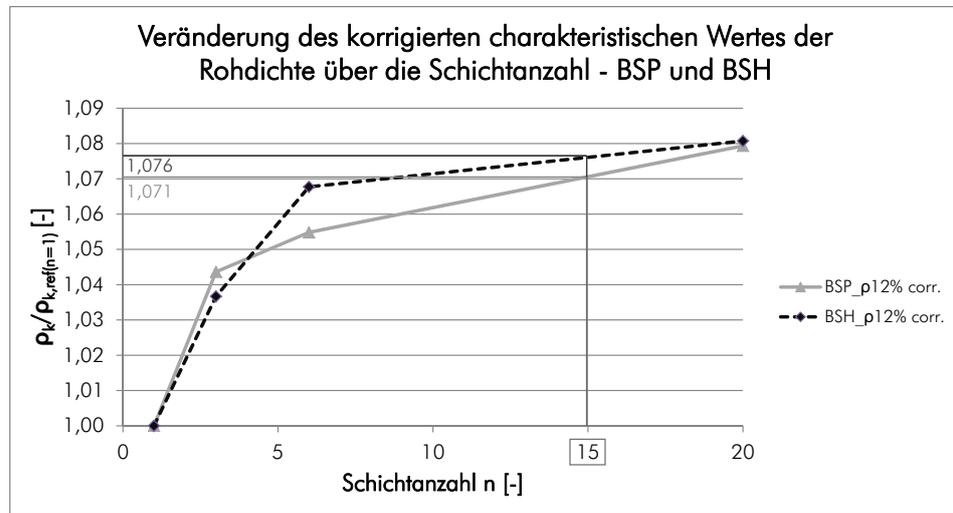


Abb. 5.7 Darstellung der charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz und Brettschichtholz

In der Tab. 5.8 ist der aufgrund der Wahrscheinlichkeitstheorie berechnete theoretische Anstieg (bezogen auf den charakteristischen Wert der Einzelschicht) der charakteristischen Werte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl dargestellt. Hier sieht man, dass die Größe des Anstieges vom Variationskoeffizient der Einzelschicht und von der Anzahl der Schichten abhängig ist, wobei hier folgendes gilt:

$$X_{n,k} = \mu \times \left(1 - 1,645 \times \frac{COV_1}{\sqrt{n}} \right) \quad \text{Glg. 5.3}$$

- Wobei $X_{n,k}$... der charakteristische Wert von X bei n Schichten,
 μ ... der Mittelwert von X,
 COV_1 ... der Variationskoeffizient von X bei n = 1 und
n ... die Anzahl der Einzelschichten ist [-].

	COV ₁	Schichtanzahl n					
		1	3	5	7	9	15
$\frac{X_{n,k}}{X_{n=1,k}}$	6 %	1,00	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08
	8 %	1,00	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11
	10 %	1,00	1,08	1,11	1,12	1,13	1,15

Tab. 5.8 theoretischer Anstieg der charakteristischen Werte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl auf Grundlage unterschiedlicher Variationskoeffizienten

2. 5 Vergleich des Variationskoeffizienten

Anfänglich wird auf die Ergebnisse des Einflusses der Schichtanzahl auf den Variationskoeffizienten und weiters auf die Wirkung der Korrektur der Rohdichte auf das relative Streuungsmaß eingegangen.

2. 5. 1 Darstellung der Ergebnisse

Der Einfluss der Schichtanzahl auf den Variationskoeffizienten (die Grundlage bilden die Mittelwerte der Rohdichte) ist in der Abb. 5.8, in der Abb. 5.9 und in der Tab. 5.9 dargestellt, wobei sich die Angaben auf das Material Brettsperrholz beziehen. Dabei werden die tatsächlich ermittelten Werte $COV_{12\% \text{ corr.}}$ (Variationskoeffizient der klebstoffkorrigierten Rohdichte bei einer Referenzholzfeuchte von 12 %) bei Brettsperrholz den prognostizierten Werten gemäß der Glg. 5.4 gegenübergestellt.

$$COV_N = \frac{COV_1}{\sqrt{n}} \quad \text{in [\%]} \quad \text{Glg. 5.4}$$

Wobei COV_N ... der Variationskoeffizient eines aus N Schichten aufgebauten Körpers [%],
 COV_1 ... der Variationskoeffizient eines aus einer Schicht aufgebauten Körpers [%] und
 n ... die Anzahl der Schichten [-] ist.

Für den Wert des Variationskoeffizienten der Einzelschicht wurde der Wert des Vollholzes der jeweiligen Rohdichtegruppe – dies ergibt den Wert COV_N – bzw. ein Wert von 8 % – dies ergibt den Wert $COV_1 = 8\%$ – zugrunde gelegt. Es wird angenommen, dass die Rohdichte von Vollholz ein relatives Streuungsmaß von 8 % aufweist. Diese Annahme beruht auf statistischen Analysen von Prüf- und Versuchsreihen des Institutes für Holzbau und Holztechnologie der Technischen Universität Graz und der holz.bau forschungs gmbh, sowie auch auf den JCSS (2006), welcher jedoch von einem $COV(\rho_{12\%})$ von 10 % ausgeht. Aufgrund der Einteilung in zwei Rohdichtegruppen sind die tatsächlich ermittelten Werte der Einzelschicht geringer als der angenommene Wert.

Die tatsächlichen Werte ($COV_{12\% \text{ corr.}}$) stimmen mit den statistischen Werten (COV_N) gut überein. Die maximale Abweichung beträgt 0,6 %.

Die Werte des Brettchichtholzes entsprechen bei den tatsächlichen Werten der Rohdichtegruppe 1G sehr gut denen des Brettsperrholzes. Die maximale Differenz beträgt hier 0,1 %. Die Werte der Einzelschicht sind für beide Materialien ident und daher nimmt der COV_N bei beiden Materialien die gleichen Werte an. Die maximale Änderung der tatsächlichen Werte beträgt 0,2 % (beim Vergleich mit Brettsperrholz) und ein Vergleich mit den prognostizierten Werten (COV_N) zeigt analog zum Brettsperrholz eine maximale Differenz von 0,6 %.

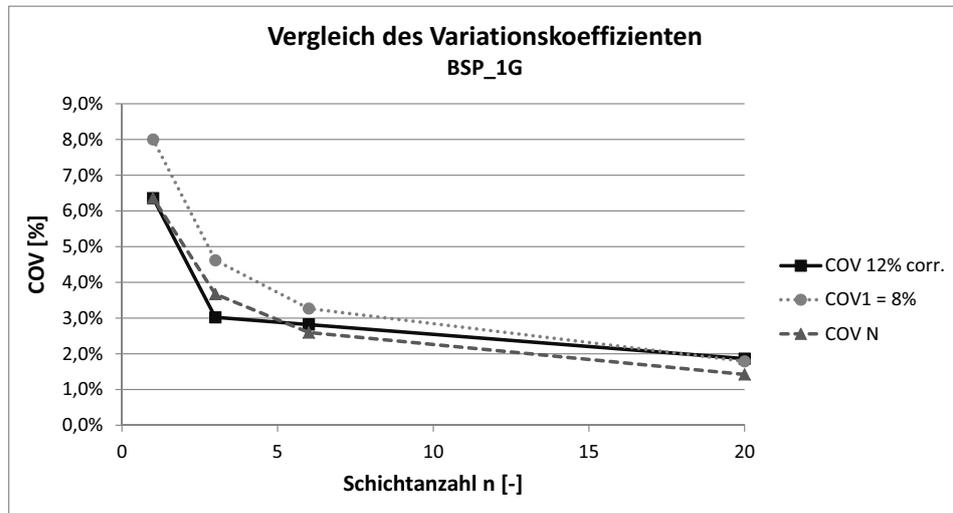


Abb. 5.8 Vergleich des Verlaufs des Variationskoeffizienten in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz der Rohdichtegruppe 1G

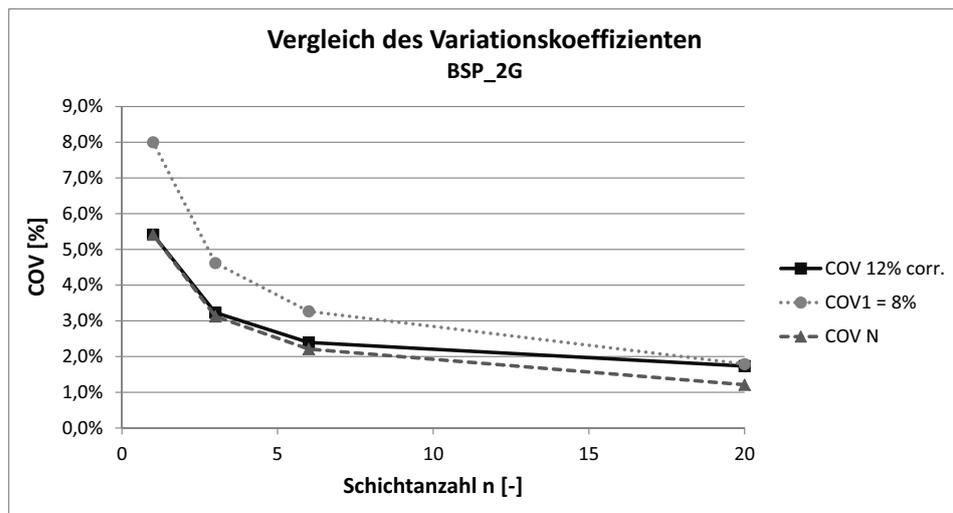


Abb. 5.9 Vergleich des Verlaufs des Variationskoeffizienten in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz der Rohdichtegruppe 2G

	n	COV _{12%}	COV _N	COV _{1=8%}	Differenz zu COV _{12%}		
					COV _N	COV _{1=8%}	
Rohdichte- gruppe 1G	06t	20	1,9 %	1,4 %	1,8 %	- 0,4 %	- 0,1 %
	20t	6	2,8 %	2,6 %	3,3 %	- 0,2 %	0,4 %
	40t	3	3,0 %	3,7 %	4,6 %	0,6 %	1,6 %
	VH	1	6,4 %	6,4 %	8,0 %	0,0 %	1,6 %
Rohdichte- gruppe 2G	06t	20	1,7 %	1,2 %	1,8 %	- 0,5 %	0,1 %
	20t	6	2,4 %	2,2 %	3,3 %	- 0,2 %	0,9 %
	40t	3	3,2 %	3,1 %	4,6 %	- 0,1 %	1,4 %
	VH	1	5,4 %	5,4 %	8,0 %	0,0 %	2,6 %

Tab. 5.9 Gegenüberstellung des ermittelten Variationskoeffizienten mit den Werten laut Modell in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz; beide Rohdichtegruppen

2. 5. 2 Einfluss der Korrektur der Rohdichte

Die Auswirkung der Korrektur (Holzfeuchte, Klebstoff) der Rohdichte auf den Variationskoeffizienten am Beispiel des Materials Brettsperrholz der Rohdichtegruppe 1G ist in der Abb. 5.10 dargestellt. Der Variationskoeffizient in Abhängigkeit von der Schichtanzahl ist nach der Korrektur des Klebstoffes und der Holzfeuchte auf 12 % ($\rho_{12\% \text{ corr.}}$), nach der Korrektur des Klebstoffes ($\rho_{\text{corr.}}$) und ohne jegliche Korrektur ($\rho_{\text{vor.}}$) abgebildet. Die maximale Änderung des Variationskoeffizienten aufgrund der Korrektur der Rohdichte beträgt 0,08 %. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Korrektur der Rohdichte (nahezu) keinen Einfluss auf den Variationskoeffizienten hat.

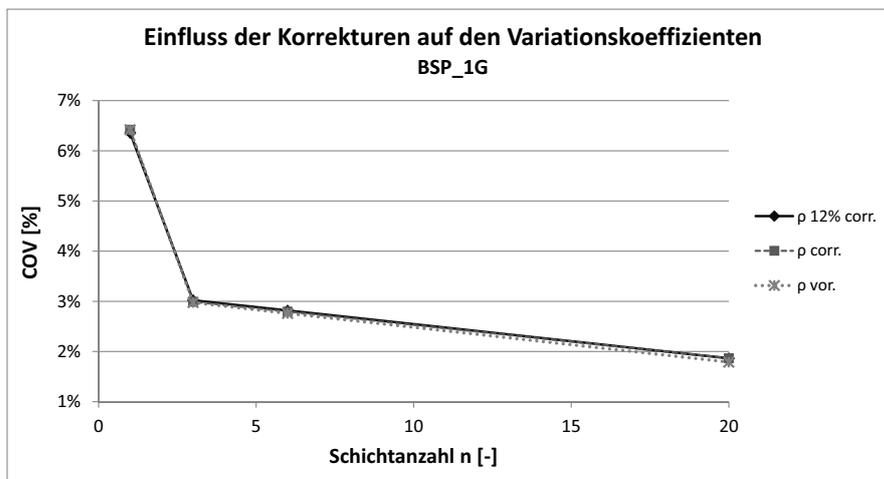


Abb. 5.10 Darstellung des Einflusses der vorgenommenen Korrekturen der Rohdichte auf den Variationskoeffizienten am Beispiel von Brettsperrholz der Rohdichtegruppe 1G

2. 6 Ursache für die Änderung der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl

Bei der Auswertung der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl wurde Folgendes festgestellt:

- der Mittelwert der um den Klebstoffanteil korrigierten Rohdichte ρ_m bleibt konstant,
- der charakteristische Wert der Rohdichte ρ_k steigt – siehe dazu Glg. 5.3,
- die Standardabweichung σ sinkt und
- der Variationskoeffizient (COV) sinkt mit Erhöhung der Anzahl der Schichten.

All dies kann durch die Wahrscheinlichkeitstheorie erklärt werden. Unter der Annahme einer iid normalverteilten Zufallsvariable $X \sim ND(\mu, \sigma^2)$ ergibt sich gemäß der Wahrscheinlichkeitstheorie die Verteilung des Mittelwertes der realisierten Zufallsvariable in Abhängigkeit ihrer Anzahl die Verteilung mit $\bar{X} \sim ND(\mu, \sigma^2/N)$. Da die Rohdichte eines Prüfkörpers aus N-Schichten dem Mittelwert der Rohdichte der Einzelschichten entspricht und im Allgemeinen angenommen werden kann, dass $\rho \sim ND$ und die Rohdichte der Schichten voneinander unabhängig und gleich verteilt sind (iid) kann oben genanntes Modell direkt angewendet werden.

3 Veränderung der Ausziehfestigkeit f_{ax} über die Schichtanzahl

In diesem Abschnitt sind die Ergebnisse der Ausziehfestigkeit f_{ax} in Abhängigkeit von der Schichtanzahl dargestellt. Dabei werden die Ergebnisse von Brettsperrholz und Brettschichtholz getrennt für die Durchmesser 8 mm und 12 mm wiedergegeben. Zudem wird der Einfluss der Vorbohrung auf die Ausziehfestigkeit gezeigt. Danach werden die Ergebnisse diskutiert, der Begriff des „Aufbaufaktors“ k_{lay-up} wird eingeführt und allgemein erklärt.

3.1 Ergebnisse

Die bei den durchgeführten Prüfungen ermittelten Ausziehfestigkeiten sind in der Abb. 5.11 und Abb. 5.12, getrennt nach Material, Anzahl der Einzelschichten und Schraubendurchmesser, dargestellt. Dabei sieht man, dass die Ergebnisse der Ausziehfestigkeit mit Zunahme der Anzahl der Einzelschichten steigen und dass die Ergebnisse des Materials Brettsperrholz höher sind als jene des Brettschichtholzes. Die Werte der Ausziehfestigkeit des Vollholzes sind am geringsten. Die Ergebnisse des Vollholzes weisen den höchsten Variationskoeffizienten auf, da hier die „Whiskers“ den größten Bereich umfassen. Das relative Streuungsmaß bei Brettsperrholz ist auch größer als bei Brettschichtholz. Eine genaue Betrachtung und Auswertung erfolgt in den nachfolgenden Unterabschnitten.

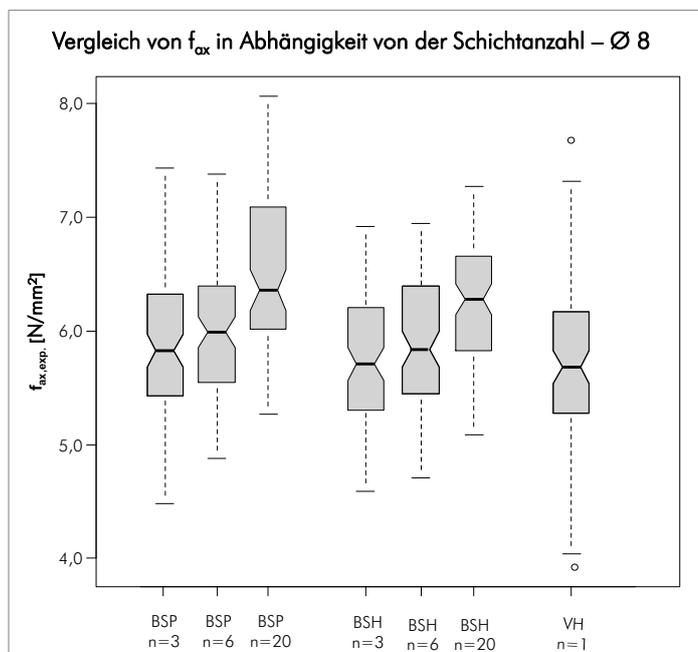


Abb. 5.11 Darstellung der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei den Materialien Brettsperrholz, Brettschichtholz und Vollholz; $\varnothing 8$ und $\varnothing 8$ n.v.

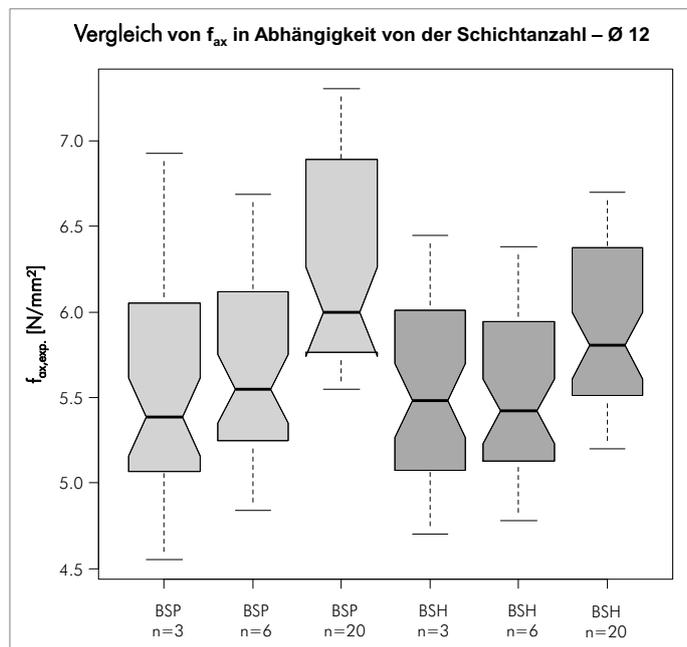


Abb. 5.12 Darstellung der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei den Materialien Brettsperrholz und Brettschichtholz; Ø 12

3. 1. 1 Darstellung der Ergebnisse - Vergleich von BSP und BSH

In Abb. 5.13 bis Abb. 5.15 und in Tab. 5.10 bis Tab. 5.12 wird die Veränderung der Ausziehfestigkeit f_{ax} über die Schichtanzahl bei den Materialien Brettsperrholz und Brettschichtholz unter Referenz auf jene bei Vollholz verglichen. Dies erfolgt getrennt für die geprüften Schraubendurchmesser (Ø 8 n.v., Ø 8 und Ø 12). Bei den Ergebnissen des Durchmessers 8 mm wurden die Werte der einzelnen Gruppen mit dem jeweiligen Wert der Ausziehfestigkeit von Vollholz ($n = 1$) normiert – dies gilt für die charakteristischen Werte und die Mittelwerte der Ausziehfestigkeit. Alle grafischen und numerischen Betrachtungen erfolgten sowohl getrennt für die beiden Rohdichtegruppen als auch zusammen, um möglichen Abweichungen innerhalb einer Gruppe feststellen zu können.

Die größte relative Zunahme der Ausziehfestigkeit kann bei den Ergebnissen jener Prüfkörper festgestellt werden, die aus drei Einzelschichten aufgebaut sind. Je mehr Einzelschichten vorhanden sind, desto geringer ist der relative Anstieg. Wenn man die Ergebnisse der Ausziehfestigkeit bei Brettsperrholz und Brettschichtholz auf die Ergebnisse der Einzelschicht (d.h. Vollholz) bezieht, sieht man, dass die Zunahme des charakteristischen Wertes der Ausziehfestigkeit immer wesentlich höher ist, als der Anstieg des Mittelwertes, wobei die Ergebnisse der gesperrten Struktur höher sind als bei der geschichteten Struktur. Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass die Werte der Ausziehfestigkeit bei einem Schraubendurchmesser von 12 mm geringer sind, als bei einem Schraubendurchmesser von 8 mm. Die Werte der Ausziehfestigkeit bei den Gruppen mit einer höheren Holzrohddichte sind immer höher als jene der geringeren Holzrohddichte.

Weiters ist der Variationskoeffizient der Vollholzergebnisse wesentlich höher als jener der Materialien Brettsperrholz und Brettschichtholz. Dabei sind die Ergebnisse der Rohdichtegruppen 1G und 2G immer geringer, wenn diese getrennt voneinander betrachtet werden.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Ausziehfestigkeit f_{ax} der Gruppen $\varnothing 8$ n.v., $\varnothing 8$ und $\varnothing 12$ getrennt voneinander dargestellt, wobei die Veränderung der Ausziehfestigkeit f_{ax} über die Schichtanzahl für Brettsperrholz und Brettschichtholz dargestellt ist und die Werte (bei BSP und BSH sind immer die Maximalwerte bei $n = 20$ angegeben) gegenübergestellt und verglichen werden.

Ergebnisse der Ausziehfestigkeit $f_{ax} - \varnothing 8$ n.v.

Der Mittelwert der Ausziehfestigkeit $f_{ax,mean}$ ist bei Brettsperrholz um 4 % höher als bei Brettschichtholz (1G: 3 % und 2G: 6 %) und um 15 % höher als bei Vollholz (1G: 16 % und 2G: 14 %). Der charakteristische Wert der Ausziehfestigkeit $f_{ax,k}$ ist bei Brettsperrholz um rund 6,5 % höher als bei Brettschichtholz (1G: 6 % und 2G: 6,5 %) und um 24 % höher als bei Vollholz (1G: 23 % und 2G: 20 %). Der Variationskoeffizient von Vollholz ist um 4 % höher als von Brettsperrholz und um 5 % höher als von Brettschichtholz.

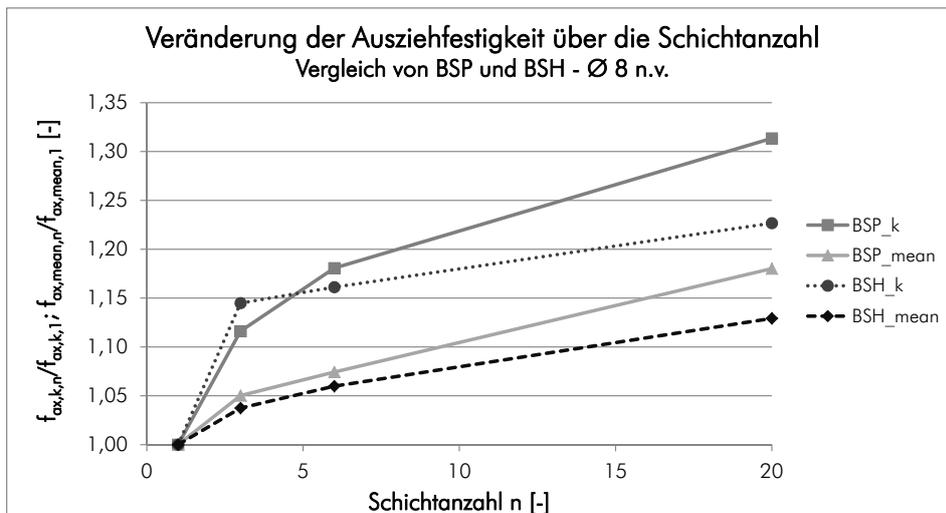


Abb. 5.13 Darstellung der Mittelwerte und charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeit bezogen auf das jeweilige Ergebnis der Einzelschicht in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz und Brettschichtholz der Gruppe $\varnothing 8$ n.v.; beide Rohdichtegruppen

	Brettsperrholz (n = 20)	Brettschichtholz (n = 20)	Vollholz (n = 1)
$f_{ax,mean,n}$ [N/mm ²]	6,7	6,4	5,6
Differenz zu [%]	BSP	0,0	- 15,3
	BSH	4,6	- 11,5
	VH	18,1	0,0
$f_{ax,k,n}$ [N/mm ²]	6,0	5,6	4,6
Differenz zu [%]	BSP	0,0	- 23,9
	BSH	7,1	- 18,5
	VH	31,4	0,0
N [-]	45	46	47
Median [N/mm ²]	6,6	6,4	5,7
min [N/mm ²]	5,9	5,4	4,4
max [N/mm ²]	7,5	7,2	6,9
COV [%]	7,9	6,8	11,9

Tab. 5.10 Gegenüberstellung und Vergleich der Ergebnisse der Ausziehfestigkeit der Materialien Brettsperrholz, Brettschichtholz und Vollholz der Gruppe Ø 8 n.v.

Ergebnisse der Ausziehfestigkeit f_{ax} – Ø 8

Der Mittelwert der Ausziehfestigkeit $f_{ax,mean}$ ist bei Brettsperrholz um 3 % höher als bei Brettschichtholz (1G: 2 % und 2G: 6,5 %) und um 9 % höher als bei Vollholz (1G: 10 % und 2G: 10,5 %). Der charakteristische Wert der Ausziehfestigkeit $f_{ax,k}$ ist bei Brettsperrholz um einen halben Prozent höher als bei Brettschichtholz (1G: - 0,5 % und 2G: 7,5 %) und um 18 % höher als bei Vollholz (1G: 22 % und 2G: 17 %). Der Variationskoeffizient von Vollholz ist um 3 % höher als von Brettsperrholz und um 5 % höher als von Brettschichtholz.

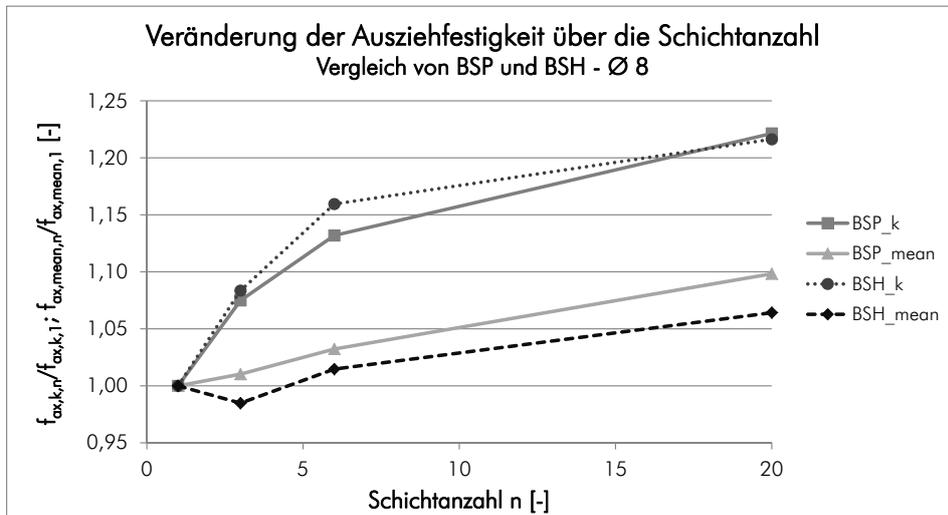


Abb. 5.14 Darstellung der Mittelwerte und charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeit bezogen auf das jeweilige Ergebnis der Einzelschicht in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz und Brettschichtholz der Gruppe Ø 8; beide Rohdichtegruppen

	Brettsperrholz (n = 20)	Brettschichtholz (n = 20)	Vollholz (n = 1)
$f_{ax,mean,n}$ [N/mm ²]	6,3	6,1	5,8
Differenz zu [%]	BSP	0,0	- 9,0
	BSH	3,3	- 6,0
	VH	9,8	0,0
$f_{ax,k,n}$ [N/mm ²]	5,4	5,4	4,4
Differenz zu [%]	BSP	0,0	- 18,0
	BSH	0,4	- 17,7
	VH	21,9	21,5
N [-]	44	48	48
Median [N/mm ²]	6,1	6,2	5,7
min [N/mm ²]	5,3	5,1	3,9
max [N/mm ²]	8,1	7,3	7,7
COV [%]	11,3	9,4	14,1

Tab. 5.11 Gegenüberstellung und Vergleich der Ergebnisse der Ausziehfestigkeit der Materialien Brettsperrholz, Brettschichtholz und Vollholz der Gruppe Ø 8

Ergebnisse der Ausziehfestigkeit f_{ax} – Ø 12

Da im Rahmen dieser Masterarbeit ausschließlich Schraubenausziehprüfungen in Vollholz mit einem Schraubendurchmesser von 8 mm durchgeführt wurden, werden ausschließlich die Ergebnisse der Ausziehfestigkeit von Brettsperrholz und Brettschichtholz verglichen.

Der Mittelwert der Ausziehfestigkeit $f_{ax,mean}$ ist bei Brettschichtholz im Vergleich zu Brettsperrholz um 6 % geringer (1G: 4 % und 2G: 8 %). Der charakteristische Wert der Ausziehfestigkeit $f_{ax,k}$ ist bei diesem Vergleich um 4,5 % geringer (1G: 5 % und 2G: 7 %). Der Variationskoeffizient der gesperrten Struktur ist um 2 % höher als jener der geschichteten Struktur.

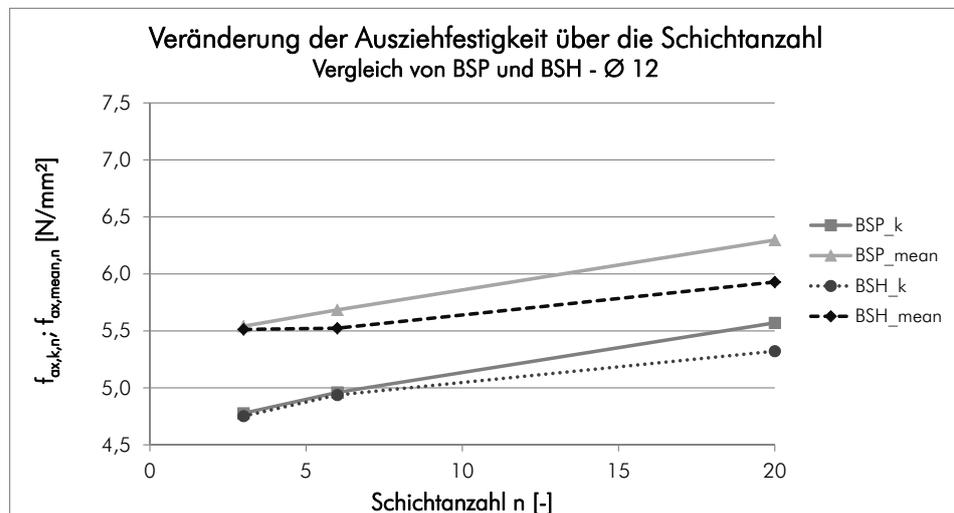


Abb. 5.15 Darstellung der Mittelwerte und charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz und Brettschichtholz der Gruppe Ø 12; beide Rohdichtegruppen

	Brettsperrholz (n = 20)	Brettschichtholz (n = 20)	Δ
$f_{ax,mean,n}$ [N/mm ²]	6,3	5,9	- 5,9 %
$f_{ax,k,n}$ [N/mm ²]	5,6	5,3	- 4,5 %
N [-]	47	48	-
Median [N/mm ²]	6,0	5,8	- 3,3 %
min [N/mm ²]	5,5	5,2	-
max [N/mm ²]	7,3	6,7	-
COV [%]	9,8	7,6	- 2,2 %

Tab. 5.12 Gegenüberstellung und Vergleich der Ergebnisse der Ausziehfestigkeit der Materialien Brettsperrholz und Brettschichtholz der Gruppe Ø 12

3. 1. 2 Darstellung der Ergebnisse - Einfluss der Vorbohrung

Die Auswertung erfolgt für den Schraubendurchmesser 8 mm (vorgebohrt und nicht vorgebohrt), getrennt für beide Rohdichtegruppen sowie unter Berücksichtigung aller Daten. Dabei wurden die Mittelwerte und die charakteristischen Werte für alle Gruppen der Einzelschichtstärke (06t, 20t und 40t) zusammen und für die Gruppe mit der maximalen Anzahl von Lamellen betrachtet. Dies erfolgte getrennt für die Materialien Brettsperrholz und Brettschichtholz, um eine mögliche Abweichung innerhalb einer Gruppe feststellen zu können.

Folgende allgemeine Angaben gelten für beide Rohdichtegruppen. Die Mittelwerte der Ausziehfestigkeit $f_{ax,mean}$ sind höher als die charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeit $f_{ax,k}$. Sowohl bei der Gesamtbetrachtung (alle Einzelschichtstärken), als auch bei der Betrachtung der Ergebnisse der Gruppe der Maximalwerte (dies ist bei $n = 20$), sind die charakteristischen Werte und die Mittelwerte der Ausziehfestigkeit bei Vorbohrung geringer als ohne Vorbohrung.

Es zeigt sich die Tendenz, dass eine vorhandene Vorbohrung einen größeren Einfluss auf die Ausziehfestigkeit bei einem niedrigeren Wert der Rohdichte hat (siehe dazu Tab. 5.13 bzw. Tab. 5.14). Dies sieht man bei den charakteristischen Ergebnissen und bei den Mittelwerten beider Materialien (BSP bzw. BSH), sowohl bei der Gesamtbetrachtung als auch bei der Betrachtung der Gruppe der Maximalwerte ($n = 20$).

	Rohdichtegruppe 1G			Rohdichtegruppe 2G		
	Ø 8 n.v.	Ø 8	Δ	Ø 8 n.v.	Ø 8	Δ
06t	6,28	5,84	- 6,9 %	7,19	7,18	- 0,1 %
20t	5,81	5,47	- 5,9 %	6,44	6,60	2,5 %
40t	5,51	5,34	- 3,0 %	6,43	6,02	- 6,4 %
VH	5,26	5,25	- 0,1 %	6,16	6,42	4,1 %

Tab. 5.13 Vergleich der Mittelwerte der Ausziehfestigkeit $f_{ax,mean}$ mit und ohne Vorbohrung; Brettsperrholz, Ø 8 (alle Angaben in [N/mm²], wenn nicht anders angegeben)

	Rohdichtegruppe 1G			Rohdichtegruppe 2G		
	Ø 8 n.v.	Ø 8	Δ	Ø 8 n.v.	Ø 8	Δ
06t	5,96	5,32	- 10,7 %	6,95	6,86	- 1,4 %
20t	5,36	4,97	- 7,2 %	5,98	6,13	2,4 %
40t	5,11	4,70	- 8,0 %	6,06	5,58	- 7,9 %
VH	4,53	4,15	- 8,5 %	5,54	5,70	2,8 %

Tab. 5.14 Vergleich der charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeit $f_{ax,k}$ mit und ohne Vorbohrung; Brettsperrholz, Ø 8 (alle Angaben in [N/mm²], wenn nicht anders angegeben)

Die Abb. 5.16 zeigt die Veränderung der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl für den Schraubendurchmesser 8 mm (vorgebohrt und nicht vorgebohrt) am Beispiel von Brettsperrholz. Die Ergebnisse der charakteristischen Werte und der Mittelwerte der Gruppen „vorgebohrt“ und „nicht vorgebohrt“ getrennt für Brettsperrholz und Brettschichtholz werden in der Tab. 5.15 gegenübergestellt und miteinander verglichen.

Der Mittelwert der Ausziehfestigkeit $f_{ax,mean,n=20}$ ist bei vorhandener Vorbohrung bei Brettsperrholz um 6 % (1G: 8,5 % und 2G: 0,1 %) geringer als ohne Vorbohrung. Der charakteristische Wert der Ausziehfestigkeit $f_{ax,k,n=20}$ ist bei den vorgebohrten Prüfkörpern um 11 % (1G: 13 % und 2G: 1 %) geringer bei Brettsperrholz und um rund 4 % (1G: 4 % und 2G: 2,5 %) geringer als bei Brettschichtholz.

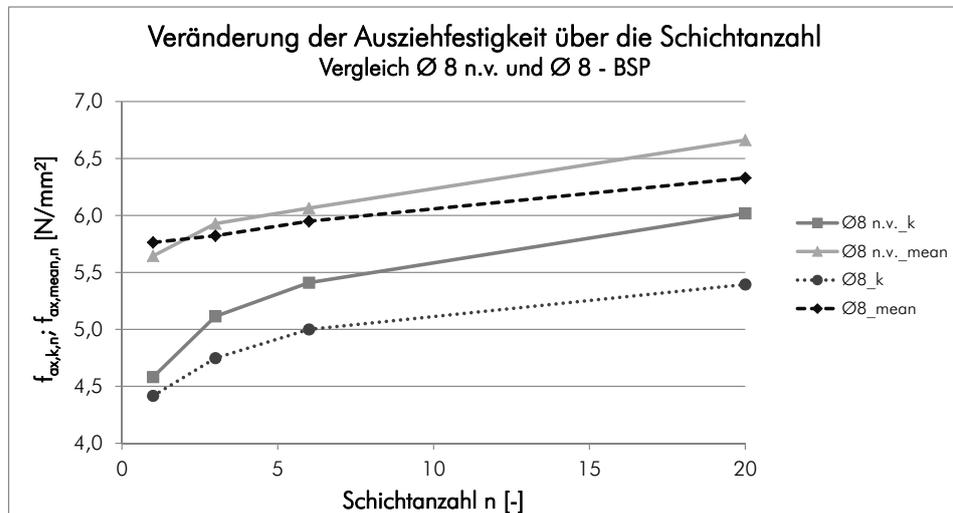


Abb. 5.16 Darstellung der Mittelwerte und charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz der Gruppen Ø 8 n.v. und Ø 8; beide Rohdichtegruppen

		$f_{ax,mean,n=20}$	$f_{ax,k,n=20}$
BSP	Ø 8	6,3	5,4
	Ø 8 n.v.	6,7	6,0
	$\Delta_{v.-n.v.}$	6,3 %	11,1 %
BSH	Ø 8	6,1	5,4
	Ø 8 n.v.	6,4	5,6
	$\Delta_{v.-n.v.}$	4,9 %	3,7 %

Tab. 5.15 Gegenüberstellung und Vergleich der Ergebnisse der Ausziehfestigkeit der Gruppen Ø 8 n.v. und Ø 8 der Materialien Brettsperrholz und Brettschichtholz; alle Angaben wenn nicht anders angegeben in [N/mm²]

3.2 Diskussion der Ergebnisse

3.2.1 Allgemein

Beim Vergleich der im Rahmen dieser Masterarbeit durch Prüfungen ermittelten Ausziehfestigkeiten von den Materialien Brettsperrholz, Brettschichtholz und Vollholz, kann festgestellt werden, dass sowohl auf charakteristischen Niveau als auch auf Mittelwertniveau, die Ausziehfestigkeit bei Brettsperrholz und Brettschichtholz höher ist, als die bei Vollholz. Die Unterschiede der Vollholzergebnisse zu den Brettsperrholzergebnissen sind immer größer als zu den Brettschichtholzergebnissen.

In der Abb. 5.17 sind die Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit aller durchgeführten Prüfungen mit dem Schraubendurchmesser von 8 mm dargestellt. Zusätzlich sind die Trendlinien getrennt für die drei unterschiedlichen Materialien und die verschiedenen Schichtanzahlen ($n = 1, 3, 6$ und 20) abgebildet, wobei die maximal mögliche Anzahl an Einzelschichten je Material gesondert hervorgehoben ist, da es sich hierbei um die Maximalwerte handelt.

Hier sieht man, wie auch schon davor bei den verschiedenen untersuchten Schraubendurchmessern, dass die Prüfergebnisse bei Brettsperrholz höher sind als bei Brettschichtholz und dass Vollholz die niedrigsten Ausziehfestigkeiten aufweist. Zusätzlich ist der Trend zu erkennen, dass die Ausziehfestigkeit bei Brettsperrholz durch das Ansteigen des Wertes der Rohdichte eine größere Zunahme an Auszieh Widerstand als bei BSH, erfährt. Anmerkung: Darauf wird später noch eingegangen.

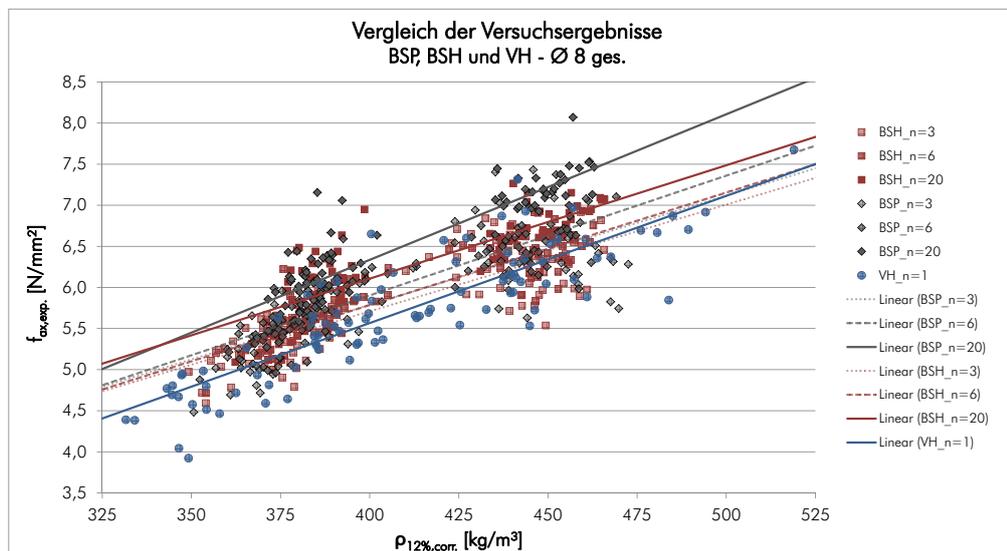


Abb. 5.17 Darstellung der Ausziehfestigkeit (Prüfergebnisse) und der Trendlinien der verschiedenen Schichtungen der Materialien Brettsperrholz, Brettschichtholz und Vollholz; alle Rohdichtegruppen, $\varnothing 8$ ges.

Eine Vielzahl von Effekten und Parametern beeinflussen den Wert der Ausziehfestigkeit. Auf der Seite des Materials (d.h. vom Holz) sind dies zum Beispiel der Mittelwert der Rohdichte ρ_{mean} - dieser ist konstant da gilt: $\rho_{\text{mean},N} = \rho_{\text{mean},1}$ - und der Variationskoeffizient der Rohdichte COV_ρ - dieser sinkt mit Zunahme der Anzahl der Einzelschichten da gilt:

$$\text{COV}_N = \frac{\text{COV}_1}{\sqrt{n}} \quad (\text{Glg. 5.4})$$

Zusätzlich kann noch ein Systemeffekt aus dem Tragverhalten der Schraube erwartet werden.

Die Veränderung der Ausziehfestigkeit über die Schichtanzahl am Beispiel des $\varnothing 8$ n.v. ist in der Abb. 5.18 dargestellt. Wie auch schon zuvor, wird das Ergebnis des Vollholzes zur Darstellung des Ergebnisses der Einzelschicht des Brettsperrholzes und des Brettchichtholzes verwendet. Wie bereits vorher festgestellt wurde, steigt der Wert der Ausziehfestigkeit mit der Zunahme der Einzelschichten. Zudem sind die Ergebnisse des Materials Brettsperrholz höher als jene des Materials Brettchichtholz.

3. 2. 2 „Aufbaufaktor“ $k_{\text{lay-up}}$

Aufbauend auf dem Wert der Ausziehfestigkeit des Vollholzes wird die Zunahme des Wertes der Ausziehfestigkeit des Brettsperrholzes entsprechend der Glg. 5.5 und Glg. 5.6 berücksichtigt.

$$f_{ax, \text{BSP}} = f_{ax, \text{VH}} \times k_{\text{lay-up}} \quad \text{in [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Glg. 5.5}$$

$$k_{\text{lay-up}} = k_{\text{sys}} \times k_{\text{cross}} \quad \text{Glg. 5.6}$$

Wobei	$f_{ax, \text{BSP}}$	... der Wert der Ausziehfestigkeit bei Brettsperrholz in der Seitenfläche [N/mm ²],
	$f_{ax, \text{VH}}$	... der Wert der Ausziehfestigkeit bei Vollholz [N/mm ²],
	$k_{\text{lay-up}}$	... der Beiwert zur Berücksichtigung des „Aufbaufaktors“ [-],
	k_{sys}	... der Beiwert zur Berücksichtigung des „Vergütungseffektes“ [-] und
	k_{cross}	... der Beiwert zur Berücksichtigung des „Sperreffektes“ [-] ist.

Entsprechend der Glg. 5.6 besteht der „Aufbaufaktor“ $k_{\text{lay-up}}$ aus zwei Beiwerten die den „Vergütungseffekt“ k_{sys} und den „Sperreffekt“ k_{cross} (k_Δ aus Abb. 5.18 wird hier zugeordnet) berücksichtigen. Beide Beiwerte werden in Folge als multiplikative Faktoren definiert, wobei der Beiwert k_{sys} das Verhältnis der Ausziehfestigkeiten von Brettchichtholz zu Vollholz und der Beiwert k_{cross} das Verhältnis der Ausziehfestigkeiten von Brettsperrholz zu Brettchichtholz wiedergibt.

Diese Gleichungen können theoretisch auch für die Berechnung der Ausziehfestigkeit bei Brettschichtholz angewendet werden. Hierbei ist für den Beiwert k_{cross} ein Wert von 1,0 einzusetzen.



Abb. 5.18 Darstellung des „Aufbaufaktors“ $k_{\text{lay-up}}$ und dessen Bestandteile am Beispiel der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; $\varnothing 8$ n.v., alle Materialien und Rohdichtegruppen

„Vergütungseffekt“ k_{sys}

Beim sogenannten „Vergütungseffekt“ handelt es sich um einen Systemeffekt. Wie schon im Abschnitt 2. 6 dargelegt, steigt der charakteristische Wert der Rohdichte mit Zunahme der Anzahl der Einzelschichten. Wenn ein Körper aus einer Vielzahl von Einzelschichten aufgebaut ist, dann steigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Einzelschichten mit höherer Rohdichte. Ist man im Grenzfall am Maximalwert der Rohdichten der in einem Prüfkörper verwendeten Einzelschichten interessiert, so lässt sich feststellen, dass sich die gesamte Verteilung der Maximalrohdsichten im Verhältnis zu jener der Einzelschichten nach oben verschiebt.

Es wird folgend die Annahme getroffen, dass der Wert der Ausziehfestigkeit von der Schicht / von den Schichten mit der maximalen Rohdichte abhängt. Dabei wird angenommen, dass die Schraube jene Schichten mit den höchsten Rohdichten und in Folge jene Schichten mit den höchsten Steifigkeit maximal beansprucht. Es wird weiters angenommen, dass diese maximal beanspruchten Schichten initial ein Versagen auslösen und aufgrund mangelnder Umlagerungsfähigkeit der Lasten im System führt dies unmittelbar zum Versagen.

Dies wäre eine mögliche Erklärung dafür, warum, wenn bei einer Prüfung eine Schraube durch einen Ast gedreht wird – (ein Ast weist eine viel höhere Rohdichte als das umliegende Holz auf), die ermittelte Ausziehfestigkeit viel höher ist, als bei einer Prüfung von astfreiem Holz.

Ein Indiz dafür, dass die Annahme korrekt ist, sind die Ergebnisse der Ausziehfestigkeit der durchgeführten Prüfungen. Die Differenz der Ergebnisse von Brettschichtholz zu Vollholz bei $n = 20$ beträgt bei den vorgebohrten Prüfkörpern 6 % und bei den nicht vorgebohrten Prüfkörpern 13 %. Da man davon ausgehen kann, dass ein besserer Verbund zwischen der Schraube und dem Holz vorhanden ist, wenn nicht vorgebohrt wird, stützt dies die Annahme von der Abhängigkeit der Größe der Ausziehfestigkeit von der Schicht mit der maximalen Rohdichte.

„Sperreffekt“ k_{cross}

Beim Eindrehen einer Schraube in Holz werden entweder die Holzfasern durchtrennt oder von der Schraube verdrängt, wodurch Risse in Faserrichtung entstehen, die in weiterer Folge aufgrund der Belastung aufklaffen - siehe Abb. 5.19.

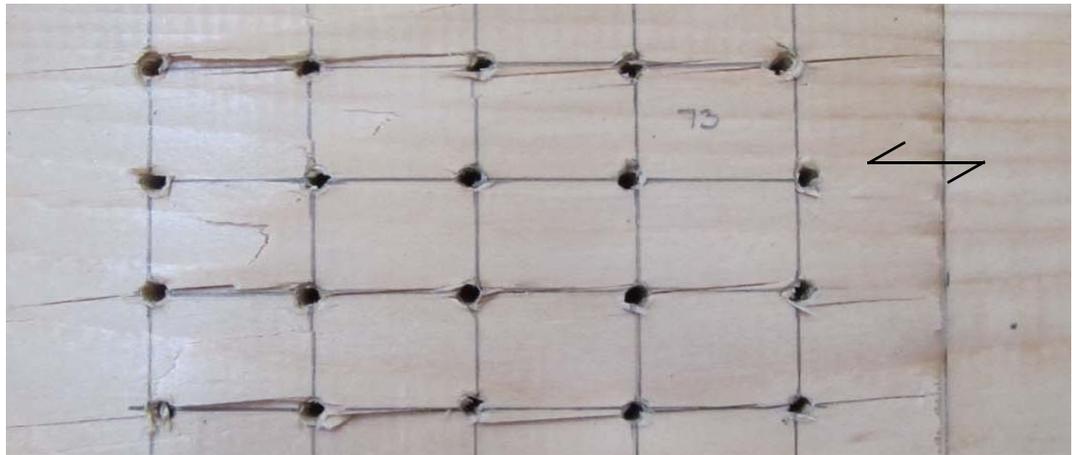


Abb. 5.19 Rissbildung in Faserrichtung zwischen den einzelnen Schraubenreihen (Quelle: Mahlkecht)

Der sogenannte „Sperreffekt“ wirkt wie eine Faserbewehrung. Hierbei lässt sich festhalten, dass in der Grenzschicht zwischen den Längs- und Querlagen ein weiteres Aufklaffen möglicher Risse durch die hohe Steifigkeit der transversalen Schicht weitgehend unterbunden wird. Man beachte das Verhältnis Quer- zu Längs-E-Modul von rund $E_{90}/E_0 \sim 1/30$.

Zudem kann angemerkt werden, dass bei der Applikation der Schraube quer zur Faser in einem gesperrten Produkt wie zum Beispiel Brettsperrholz mit einem deutlich reduzierten Auftreten von Rissen zu rechnen ist. Zusätzlich ist die Höhe eines aufgetretenen Risses mit der Höhe einer Lamelle begrenzt, da die Rissbildung in Faserrichtung erfolgt. Weiters kann ein Effekt aus der Spannungsverteilung des Holzes entlang der Schraubenachse nicht ausgeschlossen werden, welche sich an dem Wechsel der Faserorientierung der einzelnen Schichten zueinander ergeben kann.

Die Differenz zu den Ergebnissen der Ausziehfestigkeit bei Brettschichtholz bei $n = 20$ beträgt beim Material Brettsperrholz zwischen 4 % ($\varnothing 8$; $\varnothing 8$ n.v. 5 %) und 6 % ($\varnothing 12$).

4 Modellbildung

Der „Aufbaufaktor“ $k_{\text{lay-up}}$ wird durch Multiplikation der Beiwerte zur Berücksichtigung des „Vergütungseffektes“ k_{sys} und des „Sperreffektes“ k_{cross} berechnet; siehe 3. 2. 2.

Bei der Modellbildung wird vorausgesetzt, dass die Spannung zylindrisch um die Schraube im Holz verteilt ist, wobei es sich hierbei um eine Vereinfachung handelt. Es wird angenommen, dass die Spannungsverteilung ungleichmäßig über die Prüfkörperhöhe ist; siehe dazu Abb. 5.20.

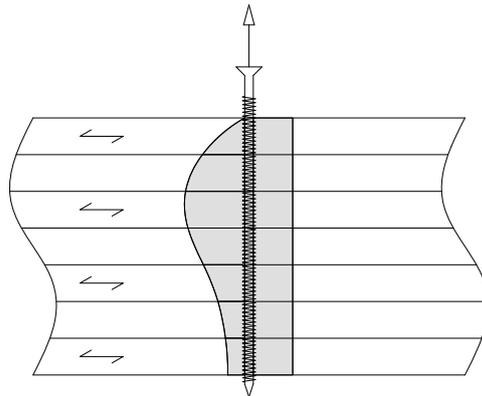


Abb. 5.20 Abbildung der Spannungsverteilung über die Prüfkörperhöhe:
links: angenommener Verlauf der Spannungsverteilung
rechts: vereinfachter angenommener konstanter Verlauf der Spannungsverteilung (ingenieurmäßige Vereinfachung)

Zur Berücksichtigung des „Vergütungseffektes“ k_{sys} und des „Sperreffektes“ k_{cross} wurden zwei voneinander unabhängige Modelle entwickelt.

4.1 „Vergütungseffekt“ k_{sys}

4.1.1 Allgemein

Mit diesem Modell ist es möglich den Anstieg der Ausziehfestigkeit eines mehrschichtigen Aufbaues in Abhängigkeit von der Schichtanzahl n , auf Grundlage der Ausziehfestigkeit von Vollholz ($n = 1$), zu ermitteln; siehe Glg. 5.7. Dabei hat die Orientierung der Lamellen zueinander keinen Einfluss auf das Berechnungsergebnis.

$$f_{\text{ax},n,\text{mean}} = f_{\text{ax},n=1,\text{mean}} \times k_{\text{sys}} = f_{\text{ax},n=1,\text{mean}} \times k_{\text{glue}} \times k_{\text{layer}} \quad \text{in [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Glg. 5.7}$$

Wobei $f_{\text{ax},n,\text{mean}}$... der Mittelwert der Ausziehfestigkeit bei einem n -schichtigen Aufbau [N/mm²],

$f_{\text{ax},n=1,\text{mean}}$... der Mittelwert der Ausziehfestigkeit bei Vollholz [N/mm²],

k_{sys}	... der Beiwert zur Berücksichtigung des „Vergütungseffektes“ [-],
k_{glue}	... der Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses des Klebstoffes [-] und
k_{layer}	... der Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses der Schichtanzahl [-] ist.

Wie schon in 2. 3 besprochen, hat der Klebstoff einen Einfluss auf die Ergebnisse der Rohdichte und somit auf die in den gegenwärtigen Modellen der Ausziehfestigkeit einzige erklärende Variable. Um die Modellergebnisse nachfolgend mit den Prüfergebnissen vergleichen zu können, wird der Einfluss des Klebstoffes mit dem Beiwert k_{glue} (siehe Glg. 5.8) in diesem Modell mitberücksichtigt.

$$k_{\text{glue}} = 1 + \frac{\Delta m_{(n-1)}}{m_{\text{KP}}} = 1 + \left(\frac{\rho_{\text{Kleber}} \times t_{\text{Fugen}} \times (n-1)}{n \times t_{\text{layer}} \times \rho_{n=1, \text{mean}}} \right) \quad \text{Glg. 5.8}$$

Wobei	k_{glue}	... der Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses des Klebstoffes [-],
	$\Delta m_{(n-1)}$	... die Masse der Klebstoffugen in Abhängigkeit von der Anzahl der Schichten (siehe Glg. 5.2) [kg],
	m_{KP}	... die Masse der Kleinprobe [kg],
	ρ_{Kleber}	... die Rohdichte des Klebstoffes [kg/m ³],
	t_{Fugen}	... die Stärke einer Klebstoffuge [mm],
	n	... die Anzahl der Einzelschichten [-],
	t_{layer}	... die Einzellamellenstärke [mm] und
	$\rho_{n=1, \text{mean}}$	... der Mittelwert der Rohdichte von Vollholz [kg/m ³] ist.

Der Einfluss der Schichtanzahl auf die Ausziehfestigkeit wird mit dem Beiwert k_{layer} berücksichtigt, wobei die Anpassung der konstanten Faktoren α und β unabhängig von den Prüfergebnissen stattfand – dies erfolgte mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate. Die Faktoren wurden auf Grundlage eines angenommenen Variationskoeffizienten der Rohdichte von Vollholz COV_1 von 6 %, 8 % und 10 % gefittet. Das Grundmodell ist der Dissertation von Brandner [15] entnommen. Dabei handelt es sich um eine Modifikation der Weibull-Funktion (Spröbruchtheorie) von der Weibullverteilung hin zur Lognormalverteilung bzw. Normalverteilung. Dieses Grundmodell berücksichtigt die Verringerung eines Einflusses auf die Ausziehfestigkeit bei Zunahme der Schichtanzahl.

$$k_{\text{layer}} = \frac{1}{[\ln(n) \times \beta + 1]^\alpha} \quad \text{Glg. 5.9}$$

Wobei k_{layer} ... der Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses der Schichtanzahl [-],

n ... die Anzahl der Einzelschichten [-] und

α, β ... ein konstanter Faktor (siehe Tab. 5.16) [-] ist.

COV_1	α	β
6 %	- 0,1394	0,3830
8 %	- 0,1597	0,4620
10 %	- 0,1963	0,4591

Tab. 5.16 beste Schätzer der konstanten Faktoren α und β in Abhängigkeit des Variationskoeffizienten der Rohdichte von Vollholz

4. 1. 2 Vergleich der Modellergebnisse mit den Prüfergebnissen

Es werden die Modellergebnisse mit den Prüfergebnissen des Brettschichtholzes des Durchmessers 8 mm verglichen. Dies erfolgt für beide Rohdichtegruppen zusammen sowie getrennt für die Rohdichtegruppe 1G und 2G in Abb. 5.21 und in Tab. 5.17.

Der Mittelwert der Rohdichte $\rho_{12\%,\text{mean}}$ der Prüfergebnisse beträgt 409 kg/m^3 (1G: 379 kg/m^3 bzw. 2G: 448 kg/m^3). Der Variationskoeffizient der Rohdichte von Vollholz $\text{COV}_1 = 10,2 \%$ (1G: $6,3 \%$ bzw. 2G: $5,4\%$). Der bei der Berechnung angesetzte Wert der Klebstoffrohichte ρ_{Kleber} beträgt 1150 kg/m^3 (siehe 2. 3) und es wird angenommen, dass die Klebstoffuge eine Stärke t_{Fugen} von $0,1 \text{ mm}$ aufweist.

Das Modell überschätzt in allen Gruppen die Ausziehfestigkeit bei n Schichten. Die Differenz zwischen Prognose und Beobachtung steigt progressiv mit der Anzahl der Schichten und mit ansteigendem $\text{COV}(\rho_{12\%,n=1})$, dem Variationskoeffizienten der Rohdichte der Einzelschicht. Die maximale Differenz zwischen den vorhergesagten und den tatsächlichen Ergebnissen tritt unabhängig von der betrachteten Rohdichtegruppe immer bei der maximal betrachteten Anzahl an Einzelschichten (d.h. $n = 20$) auf. Die maximale Differenz der verglichenen Ausziehfestigkeiten beträgt bei $n = 20$ $11,5 \%$ (1G: $3,7 \%$ bzw. 2G: $7,5 \%$). Als Ursache für die deutliche Überschätzung wird u.a. der Einfluss der ungleichmäßigen Spannungsverteilung über die Prüfkörperhöhe gesehen. Wie schon einleitend festgestellt, wird bei der Modellbildung vereinfacht davon ausgegangen, dass die Spannungsverteilung zylindrisch um die Schraube und somit konstant über die effektive Länge der Schraube verläuft.

Zieht man den in Abb. 5.20 links dargestellten realistischen Spannungsverlauf in Betracht, so ist ein deutlich geringerer Homogenisierungseffekt als bisher prognostiziert zu erwarten. Dies deshalb, da im Wesentlichen nicht die maximale Rohdichte aus n -Schichten, sondern nur das Maximum aus den im Prinzip hauptbeanspruchten Schichten ($\ll n$) im Interesse steht bzw. eine über die Spannungsverteilung integrierte Wahrscheinlichkeit des Auftretens maximaler Rohdichten als Indikator für hohe Steifigkeiten ist. Da gegenwärtig der reale Spannungsverlauf entlang der Schraubenachse nicht bekannt ist, wird auf eine Abschätzung einer Korrektur im Modell gegenwärtig verzichtet.

Nichts desto trotz ist festzuhalten, dass das Modell den qualitativen Verlauf der Entwicklung der Ausziehfestigkeiten sehr gut wiedergibt. Die weitere Bearbeitung und vertiefende Modellierung dieses k_{sys} -Beiwertes wird empfohlen.

	n	$f_{ax,BSH,exp,mean}$ [N/mm ²]	$f_{ax,pred,mean}$ [N/mm ²]	$\Delta_{exp-pred}$
Rohdichtegr. 1G + 2G COV _(n=1) =10,2% COV ₁ = 10%	1	5,7	5,7	0,0 %
	3	5,8	6,2	7,0 %
	6	5,9	6,5	8,9 %
	20	6,3	7,1	11,5 %
Rohdichtegr. 1G COV _(n=1) =6,3% COV ₁ = 6%	1	5,3	5,3	0,0 %
	3	5,4	5,6	3,4 %
	6	5,5	5,7	3,3 %
	20	5,9	6,1	3,7 %
Rohdichtegr. 2G COV _(n=1) =5,4% COV ₁ = 6%	1	6,3	6,3	0,0 %
	3	6,3	6,6	5,4%
	6	6,4	6,8	6,0 %
	20	6,7	7,3	7,5 %

Tab. 5.17 Vergleich der Mittelwerte der Modellergebnisse und der Prüfergebnisse in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8

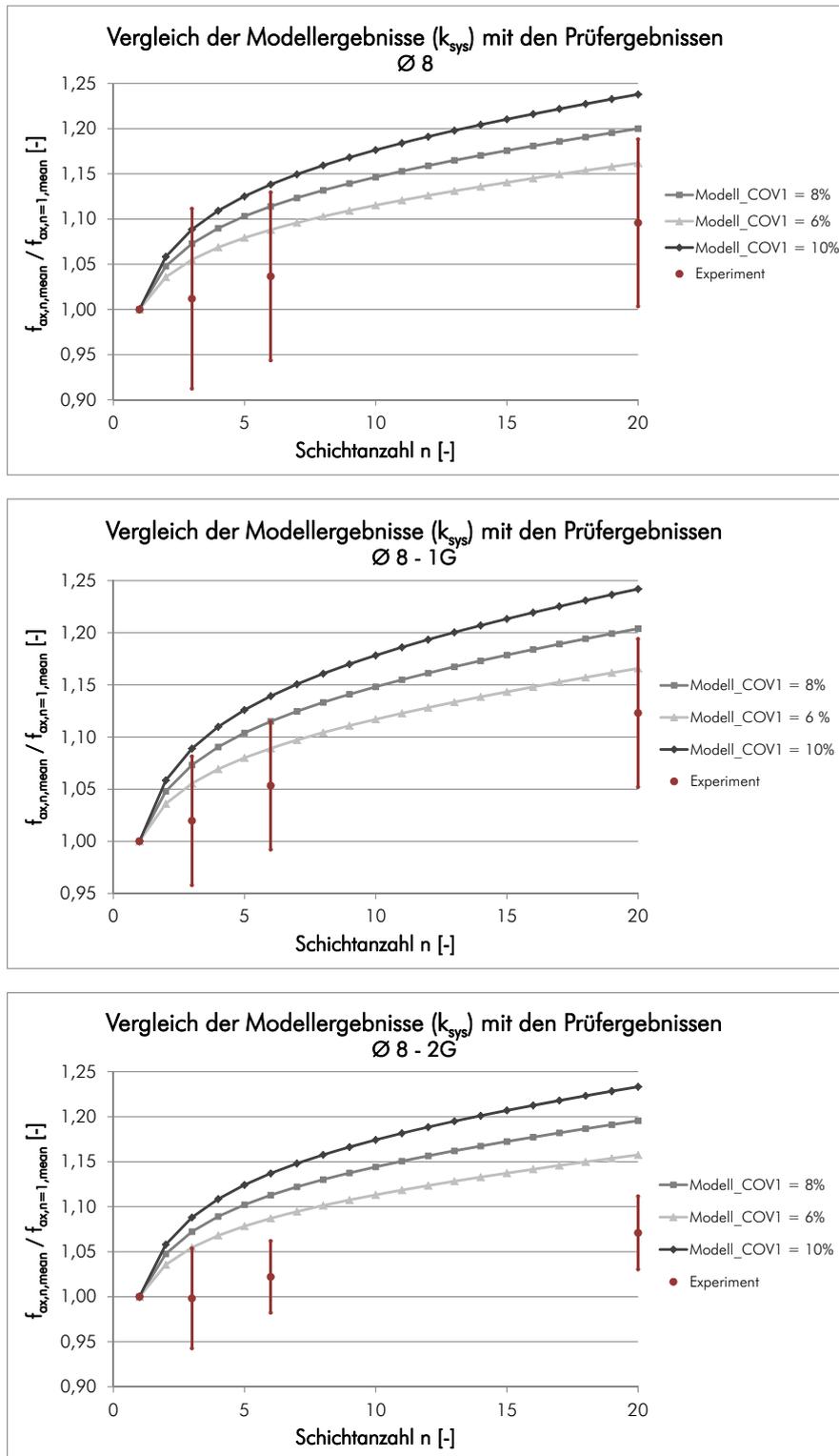


Abb. 5.21 Darstellung der Mittelwerte der Modellergebnisse und der Mittelwerte \pm Standardabweichung der Prüfergebnisse in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; $\varnothing 8$, Rohdichtegruppe 1G und 2G (oben), Rohdichtegruppe 1G (mittig) und Rohdichtegruppe 2G (unten)

4. 2 „Sperreffekt“ k_{cross}

4. 2. 1 Allgemein

Derzeit gibt es noch keine allgemeine Hypothese, warum der Wert der Ausziehfestigkeit bei Brettsperrholz höher ist, als bei Brettschichtholz, d.h. was der Grund für das Auftreten des sogenannten „Sperreffektes“ k_{cross} ist.

Bei der folgenden Modellbildung unter Fall 1 wird angenommen, dass es sich um einen Randeffekt zwischen den Einzellamellen handelt; siehe 3. 2. 2. Bei gleichbleibender Einzellamellenstärke aber zunehmender Schichtanzahl ist somit davon auszugehen, dass die Ausziehfestigkeit aufgrund des „Sperreffektes“ linear zunimmt; hierbei handelt es sich um ein lineares Modell (siehe Abb. 5.22 (links), Glg. 5.11).

Die Höhe der Prüfkörper dieser Arbeit ist konstant, wobei die Anzahl der Schichten variiert. Daher wird in einem zweiten Modellansatz (Fall 2) weiters angenommen, dass das Volumen der Randbereiche zwischen den Schichten, welche den „Sperreffekt“ bewirken, geringer wird je geringer die Stärke der Einzellamellen ist – bezogen auf das Volumen des Randbereiches bei konstanter Schichtstärke und Zunahme der Einzelschichten; siehe Abb. 5.22 (rechts). Dies wird folgend mit einem Potenzmodell beschrieben (siehe Glg. 5.12).

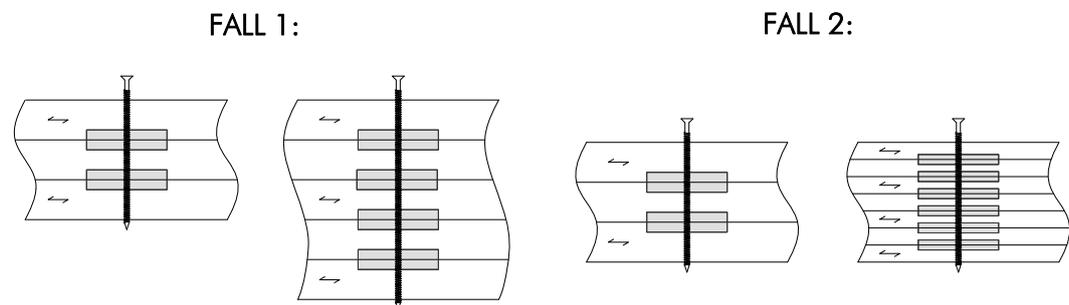


Abb. 5.22 Darstellung der Volumen der Randbereiche bei:
links: Fall 1; konstante Schichtstärke und Zunahme der Schichtanzahl (lineares Modell)
rechts: Fall 2; konstante Gesamthöhe und Zunahme der Schichtanzahl (Potenzmodell)

Der „Sperreffekt“ k_{cross} ist bei beiden Fällen als das Verhältnis der Ausziehfestigkeit von Brettsperrholz zu Brettschichtholz definiert; siehe Abb. 5.18 bzw. Glg. 5.10.

$$f_{ax,BSP,n,mean} = f_{ax,BSH,n,mean} \times k_{cross} \quad \text{in [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Glg. 5.10}$$

$$k_{cross} = 2 \times (n - 1) \times \zeta + 1 \quad \text{Glg. 5.11}$$

$$k_{cross} = \frac{1}{[\ln(n) \times \beta + 1]^\alpha} \quad \text{Glg. 5.12}$$

Wobei

$f_{ax,BSP,n,mean}$	... der Mittelwert der Ausziehfestigkeit von BSH bei n-schichtigem Aufbau [N/mm ²],
$f_{ax,BSH,n,mean}$	... der Mittelwert der Ausziehfestigkeit von BSP bei n-schichtigem Aufbau [N/mm ²],
k_{cross}	... der Beiwert zur Berücksichtigung des „Sperreffektes“ [-] ist und
α, β, ζ	... konstante Faktoren (siehe Tab. 5.18) [-] sind.

Die konstanten Faktoren sind abhängig von der Rohdichtegruppe und sind in Tab. 5.18 getrennt nach Rohdichtegruppen dargelegt, wobei diese an die Prüfergebnisse unter Verwendung der Methode der kleinsten Fehlerquadrate angepasst wurden

Rohdichte- gruppe	lineares Modell (Glg. 5.11)	Potenzmodell (Glg. 5.12)	
	ζ	α	β
1G + 2G	0,00111	- 0,5993	0,0211
1G	0,00076	- 0,5303	0,0180
2G	0,00177	- 0,7426	0,0254

Tab. 5.18 beste Schätzer der konstanten Faktoren α , β und ζ in Abhängigkeit der Rohdichtegruppe

4. 2. 2 Vergleich der Modellergebnisse mit den Prüfergebnissen

Es werden die Modellergebnisse (lineares und potenzielles Modell) mit den Prüfergebnissen des Brettsperrholzes bei Durchmesser 8 mm verglichen. Dabei wird zur Berechnung der Modellergebnisse für Brettsperrholz $f_{ax,pred,BSP,n}$ das Prüfergebnis der Ausziehfestigkeit von Brettschichtholz $f_{ax,exp,BSH,n}$ mit dem Beiwert zur Berücksichtigung des „Sperreffektes“ k_{cross} multipliziert. Dies erfolgt für beide Rohdichtegruppen zusammen (Abb. 5.23, Tab. 5.19) sowie getrennt für die Rohdichtegruppe 1G (Abb. 5.24, Tab. 5.20) und 2G (Abb. 5.25, Tab. 5.21).

Die maximale Abweichung zwischen den Prüfergebnissen und den Modellergebnissen der Ausziehfestigkeit beträgt beim linearen Modell 1,7 % und beim Potenzmodell 1,9 %. Obwohl das Potenzmodell die größte Abweichung aufweist, beschreibt es den Verlauf der Ausziehfestigkeit über die Schichtanzahl qualitativ besser, als das lineare Modell.

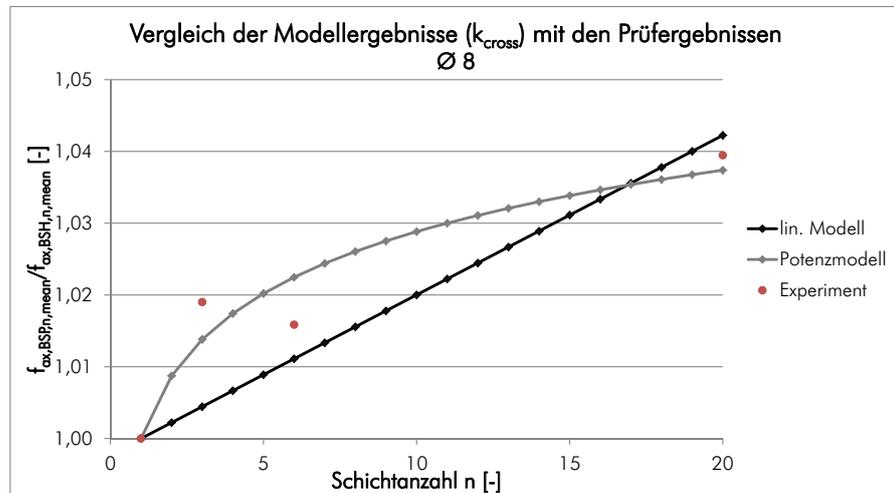


Abb. 5.23 Darstellung der Modellergebnisse (lin. und pot. Modell) und der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8, Rohdichtegruppe 1G und 2G

n	$f_{ax,exp,n,mean}$ [N/mm ²]	$f_{ax,pred,lin,n,mean}$ [N/mm ²]	$f_{ax,pred,pot,n,mean}$ [N/mm ²]	$\Delta_{exp-lin}$	$\Delta_{exp-pot}$
1	5,7	5,7	5,7	0,0 %	0,0 %
3	5,9	5,8	5,8	- 1,4 %	- 0,5 %
6	6,0	6,0	6,1	- 0,5 %	0,7 %
20	6,5	6,5	6,5	0,3 %	- 0,2 %

Tab. 5.19 Vergleich der Mittelwerte der Modellergebnisse (lin. und pot. Modell) und der Prüfergebnisse von BSP in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8, Rohdichtegruppe 1G und 2G

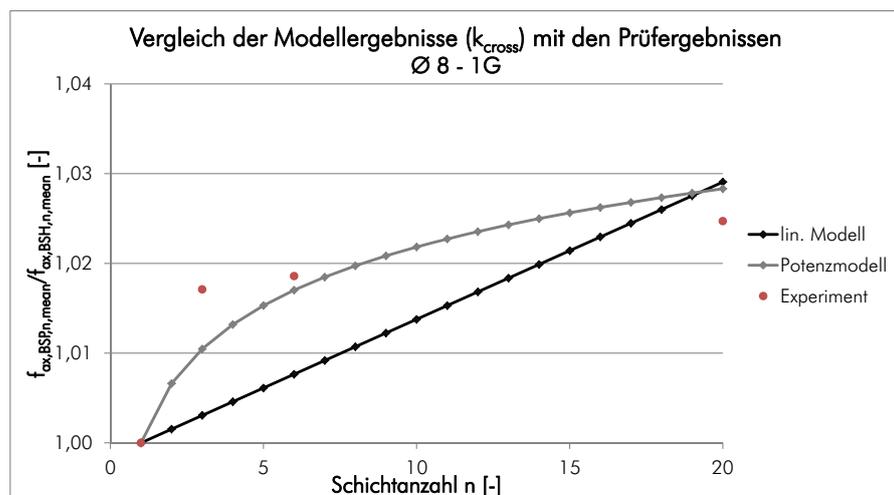


Abb. 5.24 Darstellung der Modellergebnisse (lin. und pot. Modell) und der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8, Rohdichtegruppe 1G

n	$f_{ax,exp,n,mean}$ [N/mm ²]	$f_{ax,pred,lin,n,mean}$ [N/mm ²]	$f_{ax,pred,pot,n,mean}$ [N/mm ²]	$\Delta_{exp-lin}$	$\Delta_{exp-pot}$
1	5,3	5,3	5,3	0,0 %	0,0 %
3	5,5	5,4	5,4	- 1,4 %	- 0,7 %
6	5,6	5,6	5,6	- 1,1 %	- 0,2 %
20	6,1	6,1	6,1	0,4 %	0,3 %

Tab. 5.20 Vergleich der Mittelwerte der Modellergebnisse (lin. und pot. Modell) und der Prüfergebnisse von BSP in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; \varnothing 8, Rohdichtegruppe 1G

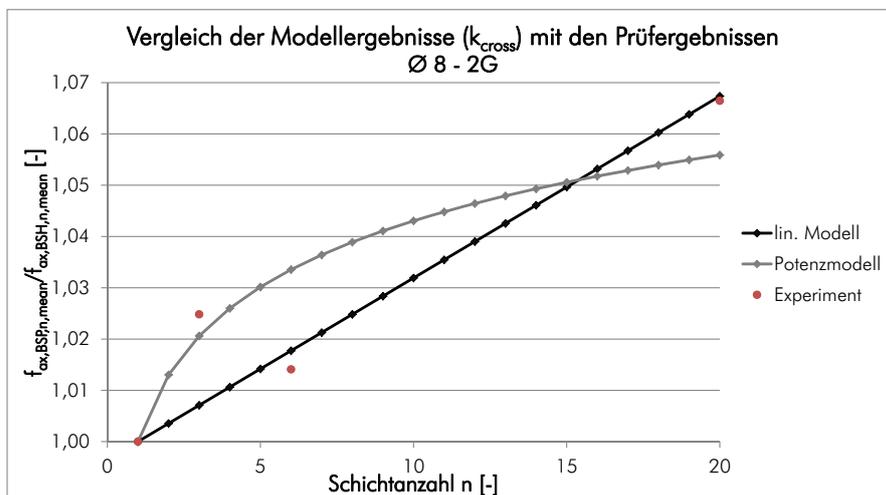


Abb. 5.25 Darstellung der Modellergebnisse (lin. und pot. Modell) und der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; \varnothing 8, Rohdichtegruppe 2G

n	$f_{ax,exp,n,mean}$ [N/mm ²]	$f_{ax,pred,lin,n,mean}$ [N/mm ²]	$f_{ax,pred,pot,n,mean}$ [N/mm ²]	$\Delta_{exp-lin}$	$\Delta_{exp-pot}$
1	6,3	6,3	6,3	0,0 %	0,0 %
3	6,4	6,3	6,4	- 1,7 %	- 0,4 %
6	6,5	6,6	6,7	- 0,4 %	1,9 %
20	7,2	7,2	7,1	0,1 %	- 1,0 %

Tab. 5.21 Vergleich der Mittelwerte der Modellergebnisse (lin. und pot. Modell) und der Prüfergebnisse von BSP in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; \varnothing 8, Rohdichtegruppe 2G

Wie schon zuvor angemerkt, beschreibt das Potenzmodell die Veränderung der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl qualitativ besser. Dies begründet sich darin, dass bei konstanter Gesamthöhe die Einzelschichtstärke variiert und die Prüfkörper aus maximal 20 Einzellamellen aufgebaut wurden. Für den Einsatz in der Wirtschaft

ist das lineare Modell zutreffender, da hier von einer konstanten Lamellenstärke und einer variablen Gesamthöhe ausgegangen wird. Es ist festzuhalten, dass beide Modelle die Entwicklung der Ausziehfestigkeiten in Abhängigkeit von der Schichtanzahl gut wiedergeben. Die Differenzen zwischen den Modellergebnissen und den Prüfergebnissen sind gering, was aus der Anpassung der Faktoren auf die Prüfdaten begründet ist.

Da die Zunahme der Ausziehfestigkeit aufgrund des „Sperreffektes“ bei der maximalen Schichtanzahl rund 4 % beträgt und bei einer baupraktisch relevanten Schichtanzahl (von rund drei bis fünf Einzellamellen) sehr gering ist, wird $k_{\text{cross}} = 1,0$ empfohlen.

5 Vergleich

Die Ergebnisse der Prüfungen - $F_{ax,exp}$ bzw. $f_{ax,exp}$ - werden in diesem Abschnitt mit den Ergebnissen gemäß der ÖNORM EN 1995-1-1 [2], der Zulassungen der beiden verwendeten Schraubentypen Z-9.1-435 [34] (Schmid Hainfeld GmbH) bzw. Z-9.1-519 [38] (Spax International GmbH & Co. KG) und verschiedener Modelle verglichen. Dabei handelt es sich um die Modelle von Blaß [16], Pirnbacher [20] und Frese [21].

5.1 Vergleich der Prüfergebnisse mit Norm und Zulassung

Hier werden die Ergebnisse der Prüfungen des charakteristischen Wertes des Auszieh-
widerstandes, den theoretischen Werten gemäß ÖNORM EN 1995-1-1 und der Zulassungen Z-9.1-435 (Schraube „Star Drive“ der Schmid Schrauben Hainfeld GmbH) bzw. Z-9.1-519 (Schraube „Spax-S“ der Spax International GmbH & Co. KG) gegenübergestellt.

Analog zu den Angaben der Europäischen technischen Zulassungen für Schrauben - siehe Tab. 3.8 - wird zur Berechnung des charakteristischen Wertes des Auszieh-
widerstandes ein charakteristischer Wert der Rohdichte von 350 kg/m^3 angenommen. Dies gilt für die Berechnung gemäß Norm und Zulassung. Die Rohdichte der Prüfungen wird korrigiert, um einen Vergleich der Werte zu ermöglichen.

Es wird ausschließlich das Herausziehen der Schraube unter axialer Belastung betrachtet. Das Durchziehen des Schraubenkopfes wird nicht berücksichtigt.

5.1.1 Prüfergebnisse

Korrektur der Rohdichte

Die vorhandene Rohdichte des Holzes wird nach Glg. 5.13 auf einen Wert von 350 kg/m^3 korrigiert. Dabei entspricht der Wert $F_{ax,exp,k}$ dem charakteristischen Wert von F_{max} , der bei den Prüfungen von der Prüfsoftware aufgezeichnet wurde. Die Korrektur der Ergebnisse erfolgt nach CUAP 06.03/08 [59].

$$F_{ax,exp,k} = F_{max,k} \times k_p = F_{max,k} \times \left(\frac{\rho_{k,ref}}{\rho_k} \right)^{0,8} \quad \text{in [N]} \quad \text{Glg. 5.13}$$

Wobei	$F_{ax,exp,k}$	... der in Prüfungen aufgezeichnete charakteristische Wert des Auszieh- widerstandes [N],
	$F_{max,k}$	... der charakteristische Wert der in Prüfungen aufgezeichneten maximalen Ausziehlast [N],
	k_p	... der Beiwert zur Korrektur der Rohdichte [-],

$\rho_{k,ref}$... der charakteristische Wert der Referenzrohddichte
 $\rho_{k,ref} = 350 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ und

ρ_k ... der vorhandene charakteristische Wert der Rohddichte des
 Holzes $\text{[kg/m}^3\text{]}$ ist.

Darstellung der korrigierten Prüfergebnisse (Korrektur der Rohddichte)

In der Tab. 5.22 sind die korrigierten Ergebnisse für den Schraubendurchmesser 12 mm und in der Tab. 5.23 sind die korrigierten Ergebnisse für den Schraubendurchmesser 8 mm dargestellt. Der prüftechnisch bestimmte und auf einen charakteristischen Wert der Rohddichte von 350 kg/m^3 korrigierte charakteristische Auszieh Widerstand beträgt:

- $\varnothing 8$: $F_{ax,exp,k} = 14,5 \text{ kN}$
- $\varnothing 12$: $F_{ax,exp,k} = 21,1 \text{ kN}$

Hierbei ist anzumerken, dass es sich in beiden Fällen um Gesamtwerte handelt, d.h. Rohdichtegruppe 1G und 2G und wenn vorhanden vorgebohrt und nicht vorgebohrt.

		$F_{ax,exp,k}$	Diff. zu $F_{ax,exp,k}$ ges	$F_{ax,exp,mean}$	COV
Durchmesser 12 mm	ges	21,1	0,0 %	23,5	6,7 %
	1G	21,0	- 0,5 %	23,0	5,6 %
	2G	21,5	1,9 %	24,1	7,1 %

Tab. 5.22 Darstellung der korrigierten Ergebnisse der charakteristischen Ergebnisse des Auszieh Widerstandes (BSP, $\varnothing 12$) und Vergleich; alle Angaben, wenn nicht anders angegeben, in [kN]

		$F_{ax,exp,k}$	Diff. zu $F_{ax,exp,k}$		$F_{ax,exp,mean}$	COV	
			ges	ges v./n.v.			
Durchmesser 8 mm	ges	14,5	0,0 %	-	16,3	6,9 %	
	vorgebohrt	ges	14,2	- 2,1 %	0,0 %	16,1	7,3 %
		1G	14,2	- 2,1 %	- 0,2 %	15,7	6,3 %
		2G	14,6	0,7 %	2,8 %	16,7	7,1 %
	nicht vorgebohrt	ges	15,0	3,4 %	0,0 %	16,5	6,3 %
		1G	15,0	3,4 %	0,3 %	16,5	6,1 %
		2G	14,9	2,8 %	- 0,7 %	16,5	6,7 %

Tab. 5.23 Darstellung der korrigierten Ergebnisse der charakteristischen Ergebnisse des Auszieh Widerstandes (BSP, $\varnothing 8$) und Vergleich; alle Angaben, wenn nicht anders angegeben, in [kN]

5. 1. 2 Ergebnis der Berechnung laut ÖNORM EN 1995-1-1 [2]

Die Berechnung des charakteristischen Wertes des Ausziehwiderstandes selbstbohrender Holzschrauben erfolgt nach Glg. 2.1 bis Glg. 2.4 getrennt für eine Schraube mit einem Durchmesser von 8 mm bzw. 12 mm. Bei der Berechnung der charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeiten wird von einer charakteristischen Rohdichte des Holzes von 350 kg/m^3 ausgegangen. Wie schon bei 2. 1 (Kapitel 2) gezeigt, ist die Ermittlung des Ausziehwiderstandes einer Schraube in BSP ausschließlich mit den Angaben dieser Norm nicht möglich, da das Produkt BSP (im Gegensatz zu zum Beispiel Vollholz und Brett-schichtholz) nicht geregelt ist. Die Berechnung erfolgt entsprechend dem Schema der Abb. 3.1.

Schraube $\varnothing 8$

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- $6 \text{ mm} \leq d = 8 \text{ mm} \leq 12 \text{ mm}$ 1. Bedingung erfüllt
- $0,6 \leq \frac{d_1}{d} = \frac{5,3}{8} = 0,66 \leq 0,75$ 2. Bedingung erfüllt

Berechnung des charakteristischen Wertes des Ausziehwiderstandes:

$$F_{\alpha, EC5, k} = \frac{n_{ef} \times f_{\alpha, k} \times d \times l_{ef} \times k_d}{1,2 \times \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{1 \times 12,35 \times 8 \times 120 \times 1}{1,2 \times \cos^2(90) + \sin^2(90)} = 11859 \text{ N} = 11,86 \text{ kN}$$

$$f_{\alpha, k} = 0,52 \times d^{-0,5} \times l_{ef}^{-0,1} \times \rho_k^{0,8} = 0,52 \times 8^{-0,5} \times 120^{-0,1} \times 350^{0,8} = 12,35 \text{ N/mm}^2$$

$$k_d = \min\left\langle \frac{d}{8} = \frac{8}{8} = 1; 1 \right\rangle = 1$$

$$n_{ef} = n^{0,9} = 1^{0,9} = 1$$

Schraube $\varnothing 12$

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- $6 \text{ mm} \leq d = 12 \text{ mm} \leq 12 \text{ mm}$ 1. Bedingung erfüllt
- $0,6 \leq \frac{d_1}{d} = \frac{7,5}{12} = 0,63 \leq 0,75$ 2. Bedingung erfüllt

Berechnung des charakteristischen Wertes des Ausziehwiderstandes:

$$F_{\alpha, EC5, k} = \frac{n_{ef} \times f_{\alpha, k} \times d \times l_{ef} \times k_d}{1,2 \times \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{1 \times 10,09 \times 12 \times 120 \times 1}{1,2 \times \cos^2(90) + \sin^2(90)} = 14525 \text{ N} = 14,53 \text{ kN}$$

$$f_{\alpha, k} = 0,52 \times d^{-0,5} \times l_{ef}^{-0,1} \times \rho_k^{0,8} = 0,52 \times 12^{-0,5} \times 120^{-0,1} \times 350^{0,8} = 10,09 \text{ N/mm}^2$$

$$k_d = \min\left\langle \frac{d}{8} = \frac{12}{8} = 1,5; 1 \right\rangle = 1$$

$$n_{ef} = n^{0,9} = 1^{0,9} = 1$$

5. 1. 3 Ergebnis der Berechnung laut Zulassung

Der Auszieh Widerstand laut Zulassung $R_{\alpha x, AbZ}$ wird ermittelt, wobei anzumerken ist, dass die bei den Prüfungen verwendeten Schrauben „Star Drive“ (Z-9.1-435 [34], Schmid Schrauben Hainfeld GmbH) und „Spax-S“ (Z-9.1-519 [38], Spax International GmbH & Co. KG) nicht für die Verwendung in Brettsperrholz zugelassen sind. Die Berechnung des charakteristischen Auszieh Widerstandes erfolgt unter Annahme einer charakteristischen Rohdichte des Holzes von 350 kg/m^3 .

„Star Drive“ Ø 8 (Z-9.1-435 [34], Schmid Schrauben Hainfeld GmbH)

Die Berechnung des charakteristischen Auszieh Widerstandes erfolgt gemäß DIN 1052:2008-12 – nach Glg. 2.5 – oder DIN V ENV 1995-1-1 mit NAD, wobei der Winkel zwischen der Kraft- und der Faserrichtung $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ betragen muss.

$$R_{\alpha x, AbZ, k} = \frac{f_{1, k} \times d \times l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \times \cos^2 \alpha} = \frac{(80 \times 10^{-6} \times 350^2) \times 8 \times 120}{\sin^2(90) + \frac{4}{3} \times \cos^2(90)} = 9408 \text{ N} = 9,41 \text{ kN}$$

„Spax-S“ Ø 12 (Z-9.1-519 [38], Spax International GmbH & Co. KG)

Diese Zulassung verweist bei der Bemessung der Schraube auf die DIN 1052 oder DIN V ENV 1995-1-1 mit NAD, wobei die Glg. 2.5 um einen Beiwert $k_{\alpha x}$ ergänzt wurde. Daher erfolgt die Berechnung nach der Glg. 5.14 bis Glg. 5.18. Der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung muss die folgende Bedingung erfüllen: $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$.

$$R_{\alpha x, AbZ, k} = k_{\alpha x} \times f_{1, k} \times l_{ef} \times d_1 \quad \text{in [N]} \quad \text{Glg. 5.14}$$

$$k_{\alpha x} = 0,3 + \frac{0,7 \times \alpha}{45^\circ} \quad \text{für } 15^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ \quad \text{Glg. 5.15}$$

$$k_{\alpha x} = 1,0 \quad \text{für } \alpha \geq 45^\circ \quad \text{Glg. 5.16}$$

$$k_{\alpha x} = 1,25 \quad \text{für } \alpha = 90^\circ \text{ und } d_1 \leq 8 \text{ mm} \quad \text{Glg. 5.17}$$

$$f_{1, k} = 80 \times 10^{-6} \times \rho_k^2 \quad \text{in [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Glg. 5.18}$$

Wobei $R_{\alpha x, AbZ, k}$... der charakteristische Wert des Auszieh Widerstandes nach Allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-519 [N],

$k_{\alpha x}$... der Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels α [-],

$f_{1, k}$... der charakteristische Wert des Ausziehparameters [N/mm²],

l_{ef} ... die Gewindelänge im Holz inklusive der Schraubenspitze [mm],

d_1 ... der Gewindeaußendurchmesser der Schraube [mm],

α ... der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung [°] und

ρ_k ... der charakteristische Wert der Rohdichte [kg/m³] ist.

$$R_{\alpha,AbZ,k} = k_{\alpha} \times f_{1,k} \times l_{ef} \times d_1 = 1 \times 9,8 \times 120 \times 12 = 14112 \text{ N} = 14,11 \text{ kN}$$

$$k_{\alpha} = 1,0$$

$$f_{1,k} = 80 \times 10^{-6} \times \rho_k^2 = 80 \times 10^{-6} \times 350^2 = 9,8 \text{ N/mm}^2$$

5. 1. 4 Vergleich der verschiedenen Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse des charakteristischen Ausziehwerstandes laut der durchgeführten Prüfungen $F_{\alpha,exp,k}$ der ÖNORM EN 1995-1-1 $F_{\alpha,EC5,k}$ und der Schraubenzulassungen $R_{\alpha,AbZ,k}$ getrennt für die Schraubendurchmesser 8 mm bzw. 12 mm verglichen – siehe Tab. 5.24 und Tab. 5.25. Zusätzlich erfolgt bei dem Schraubendurchmesser von 8 mm ein Vergleich der Prüfergebnisse des Vollholzes mit den Prüfergebnissen des Brettsperrholzes bzw. den Ergebnissen nach Norm und Zulassung. Dieser Vergleich wird durchgeführt, da die Prüfergebnisse des Brettsperrholzes höher sind, als jene des Vollholzes und diese Gruppe daher das Minimum der Prüfergebnisse darstellt.

Die Ergebnisse bei den Prüfungen mit Schraubendurchmesser 8 mm sind um mindestens achtzehn bis maximal fünfundreißig Prozent höher, als die berechneten Ergebnisse nach Norm und Schraubenzulassung. Die berechneten Werte nach EN 1995-1-1 sind um rund ein Fünftel höher als jene nach Z-9.1-435 (Schraube „Star Drive“ der Schmid Schrauben Hainfeld GmbH). Obwohl die Prüfergebnisse der Einzelschicht um 8 % geringer sind als jene des Brettsperrholzes, beträgt der Unterschied zu den Ergebnissen gemäß Norm und Zulassung 11 % bzw. 35 %.

Die Prüfergebnisse des zweiten Schraubendurchmessers von 12 mm sind um circa ein Drittel höher als die berechneten Ergebnisse, wobei anzumerken ist, dass die theoretischen charakteristischen Werte des Ausziehwerstandes – d.h. die Werte nach EN 1995-1-1 und Z-9.1-519 (Schraube „Spax-S“ der Spax International GmbH & Co. KG) – annähernd ident sind.

		$F_{\alpha,exp,k}$	$F_{\alpha,exp,n=1,k}$	$F_{\alpha,EC5,k}$	$F_{\alpha,AbZ,k}$
$F_{\alpha,k}$		14,5 kN	13,4 kN	11,9 kN	9,4 kN
Differenz zu	$F_{\alpha,exp,k}$	0,0 %	- 7,6 %	- 17,9 %	- 35,2 %
	$F_{\alpha,exp,n=1,k}$	8,2 %	0,0 %	- 11,2 %	- 29,9 %
	$F_{\alpha,EC5,k}$	21,8 %	12,6 %	0,0 %	- 21,0 %
	$F_{\alpha,AbZ,k}$	54,3 %	42,6 %	26,6 %	0,0 %

Tab. 5.24 Vergleich der Ergebnisse des charakteristischen Wertes des Ausziehwerstandes der Prüfungen mit den Berechnungsergebnissen der Norm und Zulassung; Ø 8

$F_{ax,k}$		$F_{ax,exp,k}$	$F_{ax,EC5,k}$	$F_{ax,AbZ,k}$
			21,1 kN	14,5 kN	14,1 kN
Differenz zu	$F_{ax,exp,k}$	0,0 %	- 31,3 %	- 33,2 %
	$F_{ax,EC5,k}$	45,5 %	0,0 %	- 2,8 %
	$F_{ax,AbZ,k}$	49,6 %	2,8 %	0,0 %

Tab. 5.25 Vergleich der Ergebnisse des charakteristischen Wertes des Ausziehwerstandes der Prüfungen mit den Berechnungsergebnissen der Norm und Zulassung; \varnothing 12

5.2 Vergleich der Prüfergebnisse mit Modellergebnissen

Die im Rahmen dieser Masterarbeit gewonnen Prüfergebnisse des Ausziehwerstandes $F_{ax,exp}$ und der Ausziehfestigkeit $f_{ax,exp}$ werden mit den vorhergesagten Ergebnissen, entsprechend der Modelle nach Blaß [16], Pirnbacher [20] und Frese [21], des Ausziehwerstandes $F_{ax,pred}$ bzw. der Ausziehfestigkeit $f_{ax,pred}$ verglichen.

5.2.1 Allgemein

In der Abb. 5.26 und Abb. 5.27 werden die Werte der Ausziehfestigkeit $f_{ax,exp}$ den Modellergebnissen gegenübergestellt. Dies erfolgt für die Materialien Brettsperrholz und wenn vorhanden Vollholz, getrennt für die Schraubendurchmesser 8 mm und 12 mm.

Die Ergebnisse aller Modelle sind konservativer als die prüftechnisch ermittelten Ergebnisse, jedoch sieht man, dass die Übereinstimmung bei Vollholz größer ist als bei Brettsperrholz. Eine gute Übereinstimmung ist vor allem bei den Resultaten des Vollholzes der ersten Rohdichtegruppe \varnothing 8 zu erkennen.

Die tatsächlichen Werte des Brettsperrholzes sind immer höher, als die prognostizierten Werte. Dies kann dadurch begründet werden, dass die Modelle auf der einen Seite für das Material Vollholz vorgesehen sind – dies gilt für die Modelle nach Pirnbacher [20] und Frese [21] – bzw. zusätzlich andere Parameter wie zum Beispiel das Vorhandensein von Fugen und eine „Spitzenkorrektur“ im Modell implizit berücksichtigt werden – dies gilt für die Modelle nach Blaß [16]. Dies ist nachfolgend näher bei den einzelnen Modellen erläutert.

Hierbei wird angemerkt, dass alle folgenden Vergleiche der Modellergebnisse mit den Prüfergebnissen wenn nicht explizit angemerkt, auf dem Mittelwertniveau erfolgen.

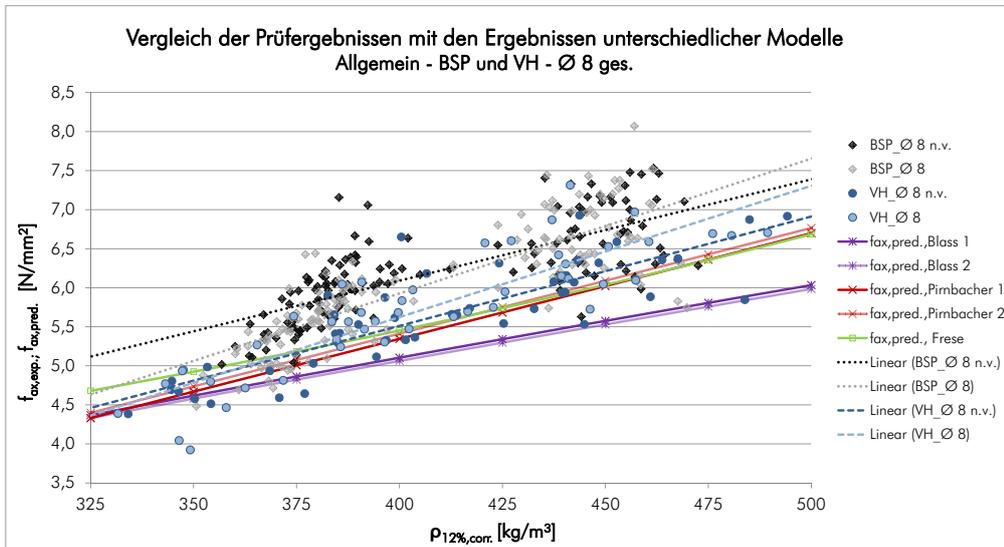


Abb. 5.26 Vergleich der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit der Materialien Brettsperrholz und Vollholz mit den prognostizierten Ergebnissen der unterschiedlichen Modelle; Ø 8 ges.

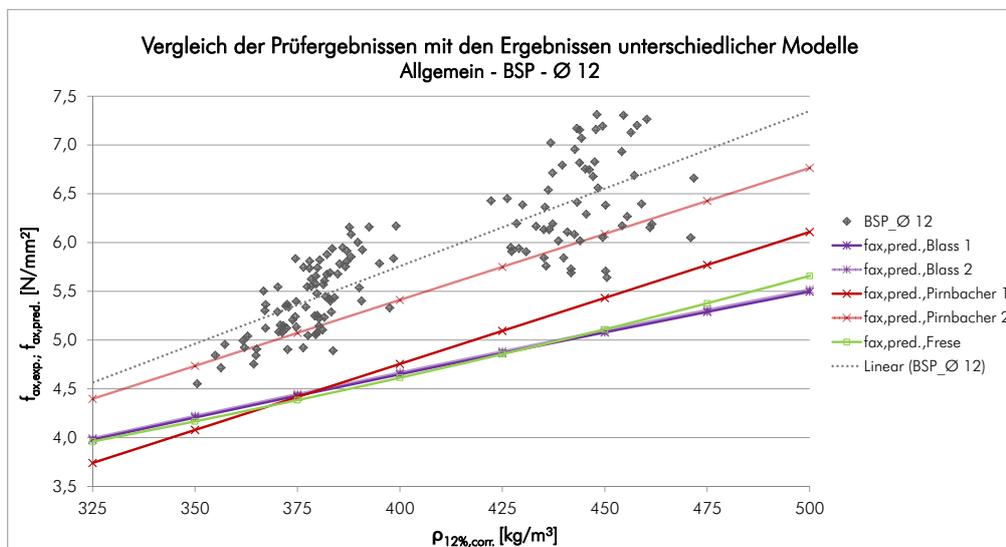


Abb. 5.27 Vergleich der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit des Materials Brettsperrholz mit den prognostizierten Ergebnissen der unterschiedlichen Modelle; Ø 12

5. 2. 2 Modelle nach Blaß [16]

Diese Modelle begründen sich auf prüftechnisch ermittelten Daten. Sie sind explizit für das Material Brettsperrholz konzipiert. Der Auszieh Widerstand der Holzschraube $R_{ax,s,pred.}$ wird gemäß der Glg. 5.19 bzw. der Glg. 5.20 berechnet. In weiterer Folge werden die Prüfergebnisse $F_{ax,exp.}$ mit den Ergebnissen der Formel (Glg. 5.19) und der vereinfachten Formel (Glg. 5.20) verglichen.

$$R_{ax,s,pred,1} = 0,445 \times d^{0,77} \times l_{ef}^{0,91} \times \rho^{0,75} \quad \text{in [N]} \quad \text{Glg. 5.19}$$

$$R_{ax,s,pred,2} = 0,435 \times d^{0,8} \times l_{ef}^{0,9} \times \rho^{0,75} \quad \text{in [N]} \quad \text{Glg. 5.20}$$

Wobei	$R_{ax,s,pred}$	... der prognostizierte Auszieh- widerstand der Holzschraube [N],
	d	... der Durchmesser der Holzschraube [mm],
	l_{ef}	... die wirksame Einschraubtiefe [mm] und
	ρ	... der Wert der Rohdichte [kg/m ³] ist.

Der charakteristische Wert der Bezugsroh-dichte, der diesem Modell zugrunde liegt, beträgt 400 kg/m³. Die Korrektur der Rohdichte des durch Prüfungen ermittelten Auszieh-widerstands erfolgt mittels Glg. 5.21.

$$R_{ax,exp,corr.} = R_{ax,exp.} \times \left(\frac{\rho}{\rho_{test}} \right)^{0,75} \quad \text{in [N]} \quad \text{Glg. 5.21}$$

Wobei	$R_{ax,exp,corr.}$	... das korrigierte Ergebnis des durch Prüfungen ermittelten Wertes des Auszieh-widerstandes [N],
	$R_{ax,exp.}$	... das Prüfergebnis des Auszieh-widerstandes [N],
	ρ	... der Wert der Bezugsroh-dichte [kg/m ³] und
	ρ_{test}	... der Wert der Prüfrohdichte in [kg/m ³] ist.

Bei diesen Modellen wird die tatsächliche Ausziehtragfähigkeit unterschätzt. Die Folge des Vorhandenseins von Fugen und Nuten wird hier implizit berücksichtigt. Bei den Prüfungen wurde teilweise direkt in Fugen und Nuten geschraubt oder in den angrenzenden Bereich. Zusätzlich wurde die verminderte Kraftübertragung der Schraube im Bereich der Spitze berücksichtigt. Dies wurde in den Modellen damit berücksichtigt, dass wenn durchgeschraubt wurde – d.h. die Schraubenspitze befindet sich außerhalb der Platte – der Wert der wirksamen Einschraubtiefe l_{ef} (tatsächlichen Einschraublänge), um die Länge der Spitze vergrößert wurde. Bei Prüfungen, die diesem Modell zugrunde liegen, wurden Brettsperrholzaufbauten mit maximal fünf Einzelschichten geprüft, wobei die Schraube zumindest in der dritten Schicht einband oder durchgeschraubt wurde. Der Korrelationskoeffizient des Modells nach Glg. 5.19 beträgt entsprechend der Literatur 0,96.

Der Vergleich der Modellergebnisse mit den tatsächlichen Prüfergebnissen ist in der Abb. 5.28 dargestellt, wobei ausschließlich die Daten der Gruppen 20t (n = 6) und 40t (n = 3) dargestellt werden. Dieser Vergleich umfasst beide Modelle (genaue (1) und vereinfachte Berechnung (2)) und zusätzlich die auf die Referenzroh-dichte korrigierten Ergebnisse nach der genauen Berechnung (1,corr.).

Um die Modifikation der wirksamen Einschraubtiefe berücksichtigen zu können, wurde die wirksame Einschraubtiefe der im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten Prüfungen um den Wert von $1,5 \cdot d$ ($l_{ef} = 120 - 1,5 \cdot d = 108$ mm bzw. 102 mm) reduziert.

Bei dieser Art des Vergleiches ist grundsätzlich folgendes zu beachten: Bei einer exakten Übereinstimmung des Ergebnisses aus Modell und Prüfung liegen die Markierungen der einzelnen Prüfungen auf der roten Linie – diese verläuft mit der Steigung 1,0 von links unten nach rechts oben. Wenn das Modell konservativer als die tatsächlichen Ergebnisse ist, so befinden sich die Punkte hauptsächlich im rechten Bereich und bei einer Überschätzung sind die Punkte hauptsächlich im linken Bereich angesiedelt.

Die Mittelwerte der Ergebnisse beider Modelle sind geringer, als die tatsächlichen Mittelwerte der Prüfergebnisse des Auszieh Widerstandes. Jedoch muss hier beachtet werden, dass das gesamte im Rahmen dieser Masterarbeit geprüfte Material (dies gilt für Brettsperrholz und Brettschichtholz) fugenfrei ist. Somit ist zu erwarten, dass das Modell unter Berücksichtigung eines nicht korrigierbaren, negativ beeinflussenden Fugeneinflusses, die Prüfwerte tendenziell unterschätzt.

Ein Modell für die Berücksichtigung von Fugen beim Auszieh Widerstand wurde von Hübner [22] entwickelt. Dabei wird die Fugenbreite als Zufallsvariable mit einer bestimmten empirischen Verteilung behandelt. Zur Ermittlung der Fugenbreiten wurden diese bei 390 Platten eines Herstellers gemessen. Im betrachteten Maximalfall haben die Schrauben immer Fugenkontakt und es kommt zu einer modellierten Reduktion des Auszieh Widerstandes von rund 30 %. Dies zeigt zumindest, dass der Einfluss von Fugen auf den Auszieh Widerstand einer Schraube durchaus beachtlich werden kann.

Der Korrelationskoeffizient R hat hier einen Wert zwischen 0,80 ($\emptyset 8$; $\emptyset 8$ n.v.: 0,84) und 0,89 ($\emptyset 12$). In der Tab. 5.26 werden die tatsächlichen Ergebnisse und die vorhergesagten Ergebnisse auf charakteristischem Niveau und Mittelwertniveau verglichen.

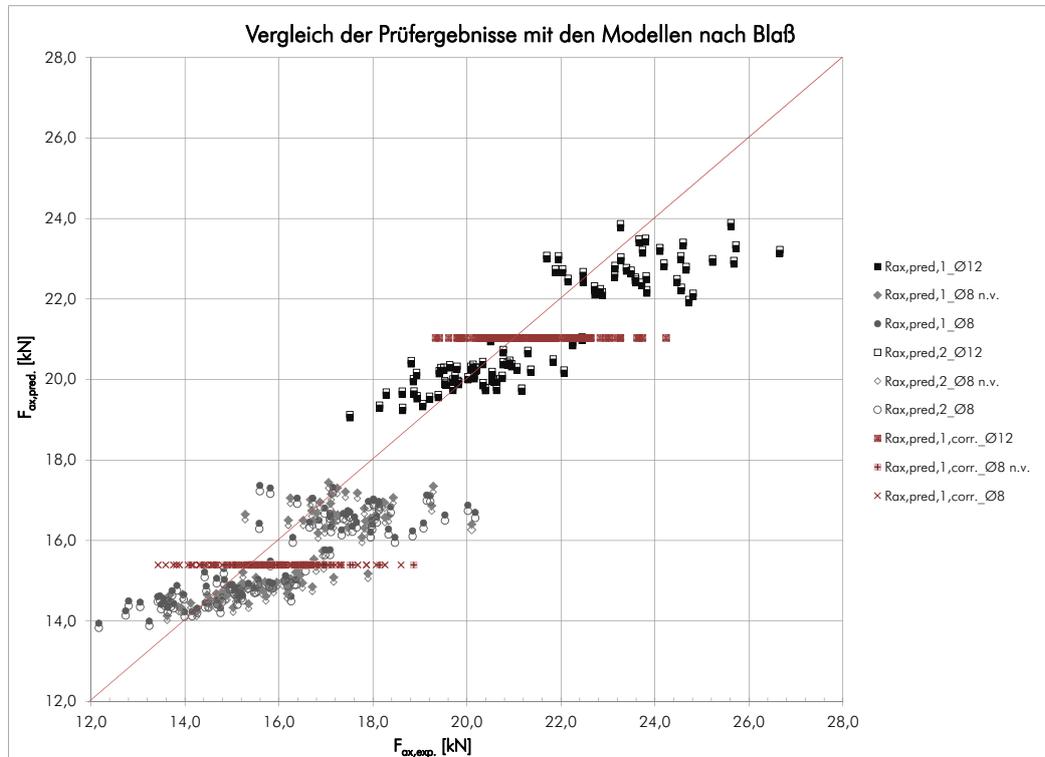


Abb. 5.28 Vergleich der Prüfergebnisse des Ausziehwerstandes $F_{ax,exp.}$ mit den Modellergebnissen; Brettsperrholz; alle Schraubendurchmesser, Gruppe 20t und 40t

		$F_{ax,exp.}$ [kN]	$F_{ax,pred,1}$ [kN]	$\Delta_{exp.-pred.}$	$F_{ax,pred,2}$ [kN]	$\Delta_{exp.-pred.}$
$F_{ax,mean}$, ρ 12% corr.	Ø 12	21,6	21,2	- 1,9 %	21,2	- 1,9 %
	Ø 8 n.v.	16,3	15,6	- 4,3 %	15,5	- 4,9 %
	Ø 8	16,0	15,6	- 2,5 %	15,4	- 3,8 %
$F_{ax,k}$, ρ 12% corr.	Ø 12	18,7	19,5	4,3 %	19,6	4,8 %
	Ø 8 n.v.	14,1	14,4	2,1 %	14,3	1,4 %
	Ø 8	13,4	14,3	6,7 %	14,2	6,0 %
$F_{ax,mean}$, $\rho=400$ kg/m ³	Ø 12	21,4	21,0	- 1,9 %	21,1	- 1,4 %
	Ø 8 n.v.	16,1	15,4	- 4,3 %	15,3	- 5,0 %
	Ø 8	15,8	15,4	- 2,5 %	15,3	- 3,2 %

Tab. 5.26 Vergleich der an die Rahmenbedingungen des Modelles angepassten Prüfergebnisse (Korr. von l_{ef}) mit den Modellergebnissen nach Blaß; Brettsperrholz, alle Schraubendurchmesser

5. 2. 3 Modelle von Pirnbacher [20]

Die Grundlage dieser beiden Modelle bilden prüftechnisch ermittelte Daten von Ausziehfestigkeiten in Vollholz und Brettschichtholz. Die Modelle sind auf die Anwendung bei Vollholz ausgelegt. Die Berechnung der Ausziehfestigkeit $f_{ax,pred.}$ erfolgt nach der Glg. 5.22 bzw. der Glg. 5.23. Nachfolgend werden die Prüfergebnisse $f_{ax,exp.}$ mit den Ergebnissen beider Modelle verglichen, wobei es sich beim zweiten Modell um eine Vereinfachung des ersten Modells handelt.

Bei dem Grundmodell wurden die „Längenkorrektur“ – Einfluss der Spitze wird bei der Ermittlung der effektiven Länge l_{ef} erfasst – und der „Durchmessereinfluss“ – Reduzierung des bezogenen Auszieh Widerstandes beim Vergleich der Ergebnisse der Schraubendurchmesser 8 mm und 12 mm – berücksichtigt, wobei angenommen wurde, dass die Ausziehfestigkeit f_{ax} eine lineare Funktion der Rohdichte ist. Der Durchmesser der Schraube wird in einem Summenterm berücksichtigt. Mittels der Regressionsanalyse wurde das Grundmodell an die Daten (d.h. die Prüfergebnisse) angepasst und die Werte der einzelnen Parameter festgelegt.

$$f_{ax,pred,1} = 0,01353 \times \rho_{test} - 0,28147 \times (2,44 \times d^{0,572}) + 2,18888 \quad \text{Glg. 5.22}$$

$$f_{ax,pred,2} = 0,01353 \times \rho_{test} \quad \text{in [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Glg. 5.23}$$

Wobei $f_{ax,pred}$... der prognostizierte Wert der Ausziehfestigkeit der Holzschraube [N/mm²],

ρ_{test} ... der Wert der Prüfrohdichte [kg/m³] und

d ... der Durchmesser der Holzschraube [mm] ist.

Schränkt man die Gültigkeit auf einen Schraubendurchmesser von 8 mm und 10 mm ein, so kann die Glg. 5.22, bei einem Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung von 90°, weiter vereinfacht werden zu:

$$f_{ax,pred} = 0,01 \times \rho_{test} \quad [20]$$

Der Vergleich der Modellergebnisse $f_{ax,pred}$ mit den prüftechnisch ermittelten Werten der Ausziehfestigkeit $f_{ax,exp}$ ist in der Abb. 5.29 für die Brettsperrholzergebnisse und in der Abb. 5.30 für die Vollholzergebnisse dargestellt. Diese Vergleiche umfassen jeweils beide Modelle, wobei die Ergebnisse der genauen Gleichung mit (1) und die der vereinfachten Berechnung mit (2) markiert sind.

Da das Modell für VH konzipiert wurde und die Ausziehfestigkeit bei BSP höher ist (siehe 3. 1), zeigt der Vergleich deutlich, dass die Ergebnisse beider Modelle deutlich geringer sind, als die tatsächlichen Ausziehfestigkeiten. Die Ergebnisse der vereinfachten Gleichung stimmen eher mit den Prüfergebnissen überein, als jene der genauen Gleichung.

Die tatsächlichen Werte der Ausziehfestigkeit werden mit den Ergebnissen der einzelnen Modelle auf charakteristischem Niveau und auf Mittelwertniveau in der Tab. 5.27 verglichen. Der Korrelationskoeffizient R hat hier einen Wert zwischen 0,75 (Ø 8 n.v.) und 0,83 (Ø 8 bzw. Ø 12).

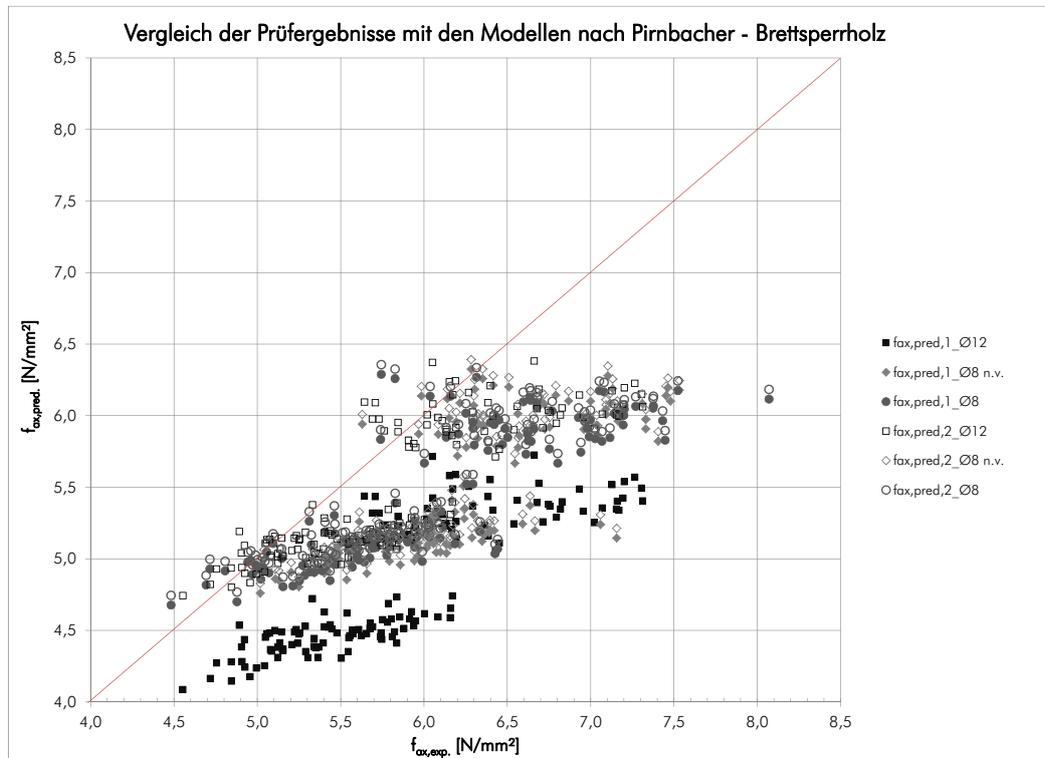


Abb. 5.29 Vergleich der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit $f_{ax,exp.}$ mit den Modellergebnissen nach Pirnbacher; Brettsperrholz

		$f_{ax,exp.}$ [N/mm ²]	$f_{ax,pred,1}$ [N/mm ²]	$\Delta_{exp.-pred.}$	$f_{ax,pred,2}$ [N/mm ²]	$\Delta_{exp.-pred.}$
$f_{ax,BSP,mean}$	Ø 12	5,8	4,8	- 17,2 %	5,5	- 5,2 %
	Ø 8 n.v.	6,2	5,5	- 11,3 %	5,5	- 11,3 %
	Ø 8	6,0	5,4	- 12,2 %	5,5	- 8,3 %
$f_{ax,BSP,k}$	Ø 12	4,9	4,3	- 13,0 %	4,9	0,4 %
	Ø 8 n.v.	5,3	4,9	- 7,5 %	5,0	- 5,7 %
	Ø 8	5,0	4,9	- 2,0 %	4,9	- 2,0 %

Tab. 5.27 Vergleich der Prüfergebnisse mit den Modellergebnissen nach Pirnbacher; Brettsperrholz

Die Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit bei Vollholz stimmen aufgrund der Gültigkeit der Modelle eher als bei Brettsperrholz mit den vorhergesagten Ergebnissen überein. Einen Vergleich der Ergebnisse sieht man in der Tab. 5.28. Beim Vergleich der Mittelwerte sind die Prüfergebnisse höher als die Modellergebnisse, auf charakteristischem Niveau trifft dies nicht zu. Der Korrelationskoeffizient R hat hier einen Wert von 0,85 (Ø 8 n.v.) bzw. 0,89 (Ø 8) und ist damit höher als beim Vergleich mit den Prüfdaten von BSP.

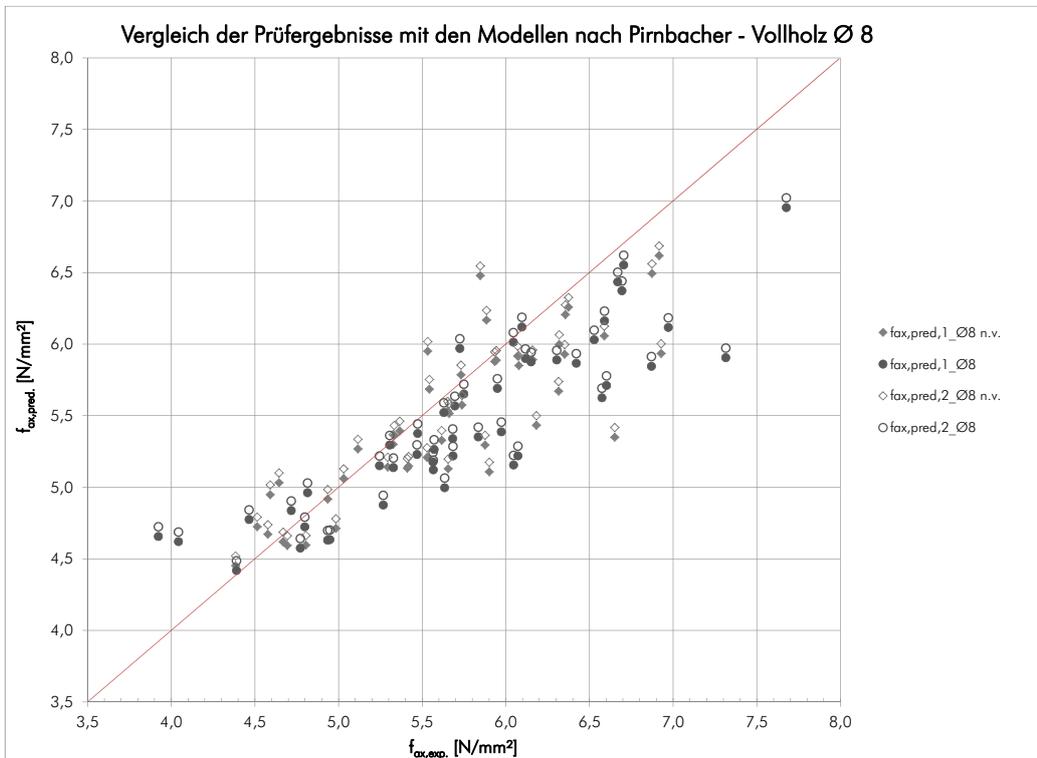


Abb. 5.30 Vergleich der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit $f_{ax,exp.}$ mit den Modellergebnissen nach Pirnbacher; Vollholz, $\varnothing 8$ und $\varnothing 8$ n.v.

		$f_{ax,exp.}$ [N/mm ²]	$f_{ax,pred,1}$ [N/mm ²]	$\Delta_{exp.-pred.}$	$f_{ax,pred,2}$ [N/mm ²]	$\Delta_{exp.-pred.}$
$f_{ax,VH,mean}$	$\varnothing 8$ n.v.	5,6	5,5	- 1,8 %	5,5	- 1,8 %
	$\varnothing 8$	5,8	5,5	- 5,2 %	5,5	- 5,2 %
$f_{ax,VH,k}$	$\varnothing 8$ n.v.	4,6	4,6	0,5 %	4,7	2,2 %
	$\varnothing 8$	4,4	4,6	4,5 %	4,7	6,8 %

Tab. 5.28 Vergleich der Prüfergebnisse mit den Modellergebnissen nach Pirnbacher; Vollholz, $\varnothing 8$ und $\varnothing 8$ n.v.

5. 2. 4 Modell von Frese [21]

Dieses Modell ist auf das Material Vollholz und nicht auf Brettsperrholz ausgelegt und begründet sich auf prüftechnisch ermittelten Daten. In weiterer Folge werden die Prüfergebnisse $f_{ax,exp}$ des Brettsperrholzes mit den Ergebnissen dieses Modells nach Glg. 5.24 verglichen, wobei es sich hier um einen Vergleich der charakteristischen Werte handelt. In der Abb. 5.26 sind die Ergebnisse des Modells nach Frese $f_{ax,pred, Frese}$ mit dem Mittelwertmodell nach Glg. 5.25 berechnet. Für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden beide Gleichungen bei der Auswertung um den Faktor $\left(\frac{1}{\pi}\right)$ ergänzt.

Bei der Modellentwicklung standen 1847 Datensätze zur Verfügung, wobei Schraubendurchmesser von 4 mm bis 12 mm untersucht wurden. Die Gleichungen sind gültig für einen Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung von $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$.

$$f_{\alpha, \text{pred}, k} = 0,0872 \times \rho_k \times d^{-(0,4119)} \times \left(\frac{1}{\pi}\right) \quad \text{in [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Glg. 5.24}$$

$$\ln(f_{\alpha, \text{pred}}) = 2,359 - (0,04172 \times d + 2,039 \times 10^{-3}) \times \rho \times \left(\frac{1}{\pi}\right) \quad \text{in [N/mm}^2\text{]} \quad \text{Glg. 5.25}$$

Wobei	$f_{\alpha, \text{pred}, k}$	... der prognostizierte charakteristische Wert der Ausziehfestigkeit der Holzschraube [N/mm ²],
	$f_{\alpha, \text{pred}}$	... der prognostizierte Wert der Ausziehfestigkeit der Holzschraube [N/mm ²],
	ρ_k	... der charakteristische Wert der Rohdichte [kg/m ³],
	ρ	... der Wert der Rohdichte [kg/m ³] und
	d	... der Durchmesser der Holzschraube [mm] ist.

Der Vergleich der Modellergebnisse mit den Prüfergebnissen ist in der Abb. 5.31 dargestellt. Es wurden die Rohdichteklasse 1 bis 5 eingeführt, wobei jede dieser Klassen einen Rohdichtebereich von 30 kg/m³ umfasst. Hierbei sind die Grenzklassen folgend definiert: Rohdichteklasse 1 $\rho_{12\%, \text{corr}} \geq 330 \text{ kg/m}^3$ und Rohdichteklasse 5 $\rho_{12\%, \text{corr}} \leq 450 \text{ kg/m}^3$. Bei der Berechnung der prognostizierten Ausziehfestigkeiten werden die Werte der charakteristischen Rohdichte der einzelnen Rohdichteklassen eingesetzt.

Die Prüfergebnisse und die dazugehörigen Modellergebnisse sind mit demselben Markierungstyp dargestellt, wobei die Markierungen der einzelnen Prüfergebnisse keine Füllung aufweisen. Bei allen Gruppen sind die Modellergebnisse geringer als die Prüfergebnisse der einzelnen Rohdichteklassen. Die Ergebnisse werden in Tab. 5.29 bis Tab. 5.31 verglichen. Die Differenzen können unter anderem damit begründet werden, dass diese Modelle wie bereits angemerkt auf das Material Vollholz ausgelegt sind und daher die Prüfergebnisse des Brettsperrholzes deutlich unterschätzen.

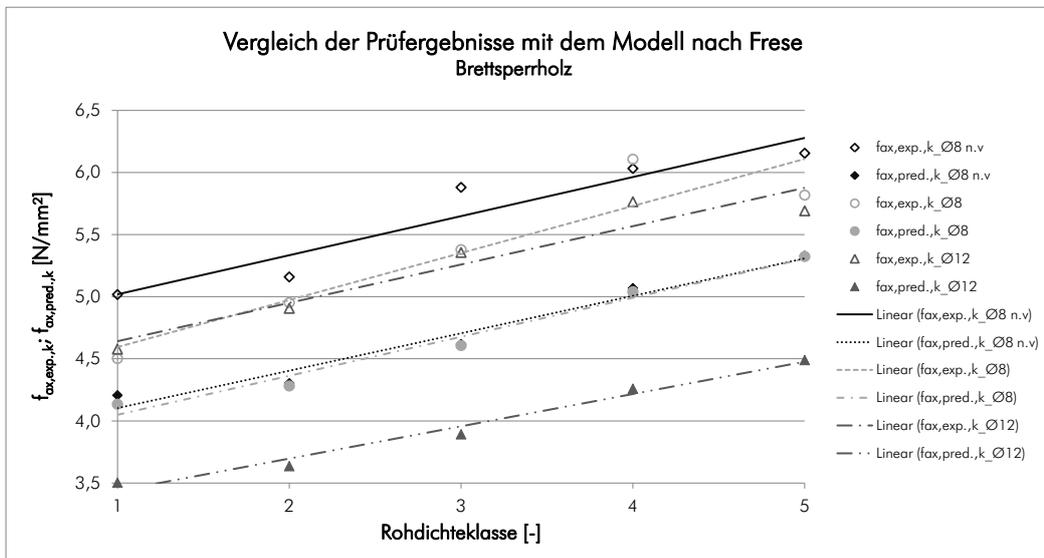


Abb. 5.31 Vergleich der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit $f_{ax,exp,k}$ mit den Modellergebnissen nach Frese; Brettsperrholz

	ρ -Klasse	ρ_k [kg/m ³]	$f_{ax,exp,k}$ [N/mm ²]	$f_{ax,pred,k}$ [N/mm ²]	Δ
Ø 12	1	351	4,6	3,5	-23,9 %
	2	365	4,9	3,6	- 26,5 %
	3	390	5,4	3,9	- 27,8 %
	4	427	5,8	4,3	- 25,9 %
	5	450	5,7	4,5	- 21,1 %

Tab. 5.29 Vergleich der Prüfergebnisse mit den Modellergebnissen nach Frese; Brettsperrholz, Ø 12

	ρ -Klasse	ρ_k [kg/m ³]	$f_{ax,exp,k}$ [N/mm ²]	$f_{ax,pred,k}$ [N/mm ²]	Δ
Ø 8 n.v.	1	357	5,0	4,2	- 16,0 %
	2	365	5,2	4,3	- 17,3 %
	3	392	5,9	4,6	- 22,0 %
	4	430	6,0	5,1	- 15,0 %
	5	452	6,2	5,3	- 14,5 %

Tab. 5.30 Vergleich der Prüfergebnisse mit den Modellergebnissen nach Frese; Brettsperrholz, Ø 8 n.v.

	ρ -Klasse	ρ_k [kg/m ³]	$f_{ax,exp,k}$ [N/mm ²]	$f_{ax,pred,k}$ [N/mm ²]	Δ
∞ \varnothing	1	351	4,5	4,1	- 8,9 %
	2	363	5,0	4,3	- 14,0 %
	3	391	5,4	4,6	- 14,8 %
	4	428	6,1	5,0	- 18,0 %
	5	452	5,8	5,3	- 8,6 %

 Tab. 5.31 Vergleich der Prüfergebnisse mit den Modellergebnissen nach Frese; Brettsperrholz, \varnothing 8

Ausblick

Wie in dieser Arbeit gezeigt wird, hat der Aufbau eines BSP- bzw. BSH-Elementes einen relevanten Einfluss auf den Auszieh Widerstand einer Schraube, wobei der Aufbau mit dem sogenannten „Aufbaufaktor“ $k_{\text{lay-up}}$ berücksichtigt werden kann. Für eine weitere Bearbeitung und vertiefende Modellierung sind weitere Untersuchungen notwendig.

Das derzeitige Modell des k_{sys} -Beiwertes – zur Berücksichtigung des „Vergütungseffektes“ – wurde unabhängig von den Prüfergebnissen gebildet und gibt den qualitativen Verlauf der Entwicklung sehr gut wieder, jedoch wird die Ausziehfestigkeit der Schraube überschätzt.

Es wurde die Annahme getroffen, dass die Spannung über die effektive Länge der Schraube konstant und zylindrisch verläuft. Dies entspricht nicht dem realistischen Spannungsverlauf, dessen genaue Entwicklung bis dato nicht bekannt ist. Der realistische Spannungsverlauf ist bei einer weiterführenden Anpassung des Modells zu berücksichtigen.

Die Auswahl der Lamellen für den Aufbau der Prüfkörper erfolgte im Rahmen dieser Masterarbeit zufällig. Es ist zu untersuchen, ob eine Anpassung des Modells möglich ist, wenn die genaue Lage der Lamellen mit höherer Rohdichte bekannt ist. Diesbezüglich sind noch weitere Untersuchungen mit gezielt aufgebauten BSH-Elementen von Interesse, wobei dies in einer gerade begonnenen Masterarbeit analysiert werden wird.

Die einzelnen Lamellen pro Gruppe wiesen eine konstante Höhe auf. Es werden eine Vielzahl von BSP-Elementen verschiedener Produzenten angeboten, die ein Verhältnis der Längs- zu den Querlagen von 3:1 aufweisen. Hier wäre zu untersuchen, ob dieser Umstand einen Einfluss auf den „Sperreffekt“ k_{cross} hat.

Entsprechend dem derzeitigen Stand der Technik wird Brettsperrholz bei der Ermittlung des Auszieh Widerstandes wie Vollholz behandelt. Wie in dieser Masterarbeit gezeigt wird, kann auch bei Brettsperrholz analog zu Brettschichtholz eine Erhöhung des charakteristischen Wertes der Rohdichte von 10 % bei der Berechnung der Ausziehfestigkeit von in die Seitenfläche applizierten Schrauben berücksichtigt werden.

Literaturverzeichnis

Normen

- [1] DIN 1052:2008, „Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau“
- [2] ÖNORM EN 1995-1-1:2009, „Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau“
- [3] SIA 265:2003, „Holzbau“
- [4] ÖNORM B 1995-1-1:2010, „Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Nationale Festlegungen, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN 1995-1-1“
- [5] ÖNORM EN 1995-1-1:2004, „Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau“
- [6] ÖNORM EN 1382:1999, „Holzbauwerke, Prüfverfahren, Ausziehtragfähigkeit von Verbindungsmitteln“
- [7] ÖNORM EN 14081-4:2009, „Holzbauwerke - Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt, Teil 4: Maschinelle Sortierung - Einstellungen von Sortiermaschinen für maschinenkontrollierte Systeme“
- [8] ÖNORM EN 13183-1:2004; „Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz, Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren“

- [9] ÖNORM ISO 3131:1996, „Holz, Bestimmung der Dichte für physikalische und mechanische Prüfungen“
- [10] ÖNORM EN 384:2010, „Bauholz für tragende Zwecke - Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte“
- [11] ÖNORM EN 408:2010, „Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften
- [12] ÖNORM EN 1194:1999, „Holzbauwerke - Brettschichtholz - Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte“

Bücher/Dissertationen/Abschlussarbeiten

- [13] Schickhofer et al., „BSPHandbuch, Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz, Nachweise auf Basis des neuen europäischen Normenkonzept“, Institut für Holzbau und Holztechnologie und holz.bau forschungs gmbh, Jahr 2010
- [14] Plieschounig St., „Ausziehverhalten axial beanspruchter Schraubengruppen“, Masterarbeit, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz, Jahr 2010
- [15] Brandner R., „Stochastic System Action and Effects in Engineered Timber Products and Structures“, Dissertation in Bearbeitung, voraussichtliche Fertigstellung 2012
- [16] Blaß H.J., Uibel T., „Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz“, Band 8 der Reihe „Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau“, Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Jahr 2007

Berichte/Skripten

- [17] Blaß H.J., Uibel T., „Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz“, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe (TH), Jahr 2007
- [18] Strassmann B., Die Zeit, „Die Kunst des Anziehens“, Ausgabe Nr. 14 vom 31.03.2005
- [19] Schickhofer, Skriptum „Holzbau, Nachweisführungen für Konstruktionen aus Holz“, Institut für Holzbau & Holztechnologie, Technische Universität Graz, Jahr 2006

- [20] Pirnbacher G., „Beanspruchungs- und Optimierungspotentiale selbstbohrender Holzschrauben“, Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz, 15. Internationale Holzbau-Forum 09
- [21] Frese M., Fellmoser P., Blaß H.J., „Modelle für die Berechnung der Ausziehtragfähigkeit von selbstbohrenden Holzschrauben“, Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Springer Verlag, Jahr 2009
- [22] Hübner U., „Auszieh widerstand von Holzbauschrauben in Brettsperrholz - Aktivitäten und Ergebnisse im Bereichszeitraum“, holz.bau forschungs gmbh

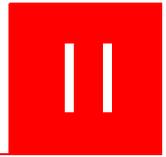
Zulassungen/Produktinformationen

- [23] Z-9.1-449, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, SPAX Schrauben als Holzverbindungsmittel, SPAX International GmbH & Co. KG, Jahr 2011, gültig bis 31.07.2012
- [24] ETA-09/0036, Europäische Technische Zulassung, Brettsperrholz (BSP) - Massive plattenförmige Holzbauelemente für tragende Bauteile in Bauwerken, Mayr-Melnhof Gaishorn GmbH, Jahr 2009, gültig bis 22.03.2014
- [25] Z-9.1-638, Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung, Brettsperrholz „M1 BSP crossplan“, Mayr-Melnhof Kaufmann Gaishorn GmbH, Jahr 2011, gültig bis 01.01.2016
- [26] ETA-06/0138, Europäische Technische Zulassung, Massive plattenförmige Holzbauelemente für tragende Bauteile in Bauwerken, KLH Masivholz GmbH, Jahr 2001, gültig bis 30.06.2016
- [27] Z-9.1-482, Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung, KLH - Kreuzlagenholz, KLH Massivholz GmbH, Jahr 2010, gültig bis 17.11.2015
- [28] ETA-08/0242, Europäische Technische Zulassung, Massive plattenförmige Holzbauelemente zur Verwendung als tragende Bauteile in Bauwerken, HMS Bausysteme GmbH, Jahr 2009, gültig bis 10.03.2014
- [29] Z-9.1-680, Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung, HMS Element, HMS Bausysteme GmbH, Jahr 2007, gültig bis 31.01.2012
- [30] ETA-11/0284, Europäische Technische Zulassung, HECO-FIX-plus und HECO-TOPIX Schrauben als Holzverbindungsmittel, HECO-Schrauben GmbH & Co. KG, Jahr 2011, gültig bis 05.09.2016

- [31] ETA-11/0452, Europäische Technische Zulassung, HECO-UNIX-plus und HECO-UNIX-top Schrauben als Holzverbindungsmittel, HECO-Schrauben GmbH & Co. KG, Jahr 2011, gültig bis 06.12.2016
- [32] Z-9.1-453, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, HECO-Fix-plus-Schrauben und HECO-TOPIX-Schrauben als Holzverbindungsmittel, HECO-Schrauben GmbH & Co. KG, Jahr 2009, gültig bis 31.08.2014
- [33] Z-9.1-665, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, HECO-TOPIX-CC CombiConnect Schrauben als Holzverbindungsmittel, HECO-Schrauben GmbH & Co. KG, Jahr 2007, gültig bis 30.06.2012
- [34] Z-9.1-435, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Holzbauschrauben Star Drive, Rapid, Rapid Perfekt und Schmid SP als Holzverbindungsmittel, Schmid Schrauben Hainfeld GmbH, Jahr 2009, gültig bis 31.12.2014
- [35] Z-9.1-564, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Holzbauschraube RAPID 2000 und RAPID KOMPRES als Holzverbindungsmittel, Schmid Schrauben Hainfeld GmbH, Jahr 2008, gültig bis 30.06.2013
- [36] Z-9.1-656, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Holzbauschrauben Star Drive Vollgewinde und Star Drive 2 Gewinde als Holzverbindungsmittel, Schmid Schrauben Hainfeld GmbH, Jahr 2007, gültig bis 30.06.2012
- [37] Z-9.1-235, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, SPAX Schrauben als Holzverbindungsmittel, SPAX International GmbH & Co. KG, Jahr 2011, gültig bis 31.07.2012
- [38] Z-9.1-519, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, SPAX-S Schrauben mit Vollgewinde als Holzverbindungsmittel, SPAX International GmbH & Co. KG, Jahr 2011, gültig bis 30.04.2012
- [39] ETA-11/0190, Europäische Technische Zulassung, Selbstbohrende Schrauben als Holzverbindungsmittel, Adolf Würth GmbH & Co. KG, Jahr 2011, gültig bis 05.09.2016
- [40] Z-9.1-361, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Würth ASSY-Holzschrauben und Würth ECOFAST-ASSY-Holzschrauben als Holzverbindungsmittel, Adolf Würth GmbH & Co. KG, Jahr 2008, gültig bis 30.06.2013
- [41] Z-9.1-426, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Würth ASSY plus-Holzschrauben als Holzverbindungsmittel, Adolf Würth GmbH & Co. KG, Jahr 2009, gültig bis 30.09.2014

- [42] Z-9.1-514, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Würth ASSY II-Holzschrauben und Würth ECOFAST-ASSY II-Holzschrauben als Holzverbindungsmittel, Adolf Würth GmbH & Co. KG, Jahr 2006, gültig bis 31.07.2011
- [43] Z-9.1-614, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Würth ASSY VG plus Vollgewindeschrauben als Holzverbindungsmittel, Adolf Würth GmbH & Co. KG, Jahr 2009, gültig bis 30.06.2014
- [44] Produktdatenblatt, M1 BSP crossplan, Mayr-Melnhof Kaufmann Gruppe, Version 1/2009
- [45] ETA-06/0009, Europäische Technische Zulassung, Binder Brettsperrholz BBS - Mehrschichtige Holzbauelemente für Wand-, Decken-, Dach- und Sonderbauteile, Binder Holzbausysteme GmbH, Jahr 2006, gültig bis 31.10.2011 (abgelaufen)
- [46] ETA-11/0189, Europäische Technische Zulassung, Derix Brettsperrholz - Massives plattenförmiges Holzbauelement zur Verwendung als tragendes Bauteil in Bauwerken, W. u. J. Derix GmbH & Co. KG, Jahr 2011, gültig bis 10.06.2016
- [47] ETA-10/0241, Europäische Technische Zulassung, LenoTec - Massive plattenförmige Holzbauelemente zur Verwendung als tragende Teile in Bauwerken, Finnforest Merk GmbH, Jahr 2010, gültig bis 12.08.2015
- [48] ETA-11/0500, Europäische Technische Zulassung, Haas BSP Brettsperrholz - Massives plattenförmiges Holzbauelement zur Verwendung als tragendes Bauteil in Bauwerken, Haas Holzprodukte GmbH, Jahr 2011, gültig bis 10.03.2014
- [49] ETA-05/0211, Europäische Technische Zulassung, Lignotrend - Brettsperrholzelemente - Holzbauelemente für Wände, Decken und Dächer, Jahr 2005, Lignotrend AG, gültig bis 29.11.2015
- [50] ETA-08/0271, Europäische Technische Zulassung, CLT - Cross Laminated Timber - Massive plattenförmige Holzbauelemente zur Verwendung als tragende Bauteile in Bauwerken, Stora Enso Wood Products GmbH, Jahr 2011, gültig bis 27.04.2014
- [51] Z-9.1-534, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Binderholz Brettsperrholz BBS, Binder Holzbausysteme GmbH, Jahr 2009, gültig bis 06.12.2014
- [52] Z-9.1-721, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, „ED-BSP“ (Brettsperrholz) aus Fichte, Kiefer oder Douglasie, EUGEN DECKER - Holzindustrie, Jahr 2008, gültig bis 25.09.2013

- [53] Z-9.1-501, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, MERK-Dickholz (MDH), Finnforest Merk GmbH, Jahr 2009, gültig bis 31.01.2014
- [54] Z-9.1-555, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, LIGNOTREND-Elemente, Lignotrend AG, Jahr 2008, gültig bis 25.06.2013
- [55] Z-9.1-793, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Brettsperrholzelemente „STEPHAN_FLEXcross“, Paul Stephan GmbH + Co. KG, Jahr 2011, gültig bis 14.06.2016
- [56] Z-9.1-559, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, CLT - Cross Laminated Timber, Stora Enso Wood Products GmbH, Jahr 2008, gültig bis 31.01.2012
- [57] Produktinformation PI 416 1.0107 - Blatt 1 und Blatt 2, Stand-Prüfmaschine Z050 bis Z250 der Allround-Line Zwick GmbH & Co. KG, Ulm (D)
- [58] Produktdatenblatt, Jowapur, Flüssiger Einkomponenten-Polyurethan-Klebstoff für den tragenden Holzleimbau, Jowat AG, 686.60, 07/10
- [59] CUAP 06.03/08, „Self-tapping screws for use in timber constructions“, Deutsches Institut für Bautechnik, Jahr 2010



Abbildungsverzeichnis

Einleitung und Zielsetzung	1
1 Motivation	2
2 Ziel der Arbeit	3
Stand des Wissens und der Technik	5
1 Allgemeines	6
Abb. 2.1 Aufbau eines BSP-Körpers (links) und eines BSH-Körpers (rechts)	7
Abb. 2.2 unterschiedliche Ausführung des Schraubenkopfes bei Schrauben [18] ...	8
2 Normative Festlegungen	9
Abb. 2.3 Definition der Verbindungsmittelabstände [2]	10
Abb. 2.4 Definition der Verbindungsmittelabstände [1]	13
Abb. 2.5 anrechenbare Einschraubtiefe l_{ef} und Einschraubtiefe l [3]	15
3 Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz	19
Abb. 2.6 Definition der Verbindungsmittelabstände in den Seitenflächen (links) bzw. in den Schmalflächen (rechts) [17]	21
4 Gegenüberstellung von Auszieh Widerständen	22

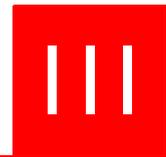
Vergleich vorliegender Zulassungsinhalte zum Thema	25
1 Allgemein	26
2 Zulassungen für Brettsperrholz	27
3 Zulassungen für Schrauben	36
4 Ermittlung des Ausziehwiderstandes selbstbohrender Holzschrauben ...	41
Abb. 3.1 Schritte zur Ermittlung des Ausziehwiderstandes von Holzschrauben laut Eurocode 5 (kurz EC5) mit Hilfe von Europäischen Technischen Zulassungen (kurz ETA)	42
Prüfplanung und Durchführung der Laboruntersuchungen ...	45
1 Prüfplanung	46
Abb. 4.1 Matrix für die untersuchten Parametervariationen (geplant)	47
Abb. 4.2 allgemeiner Aufbau der Prüfkörper (t ... Einzelschichtdicke, n ... Anzahl der Schichten)	47
Abb. 4.3 Universal-Prüfmaschine lignum_uni_275	48
Abb. 4.4 Skizze der Holzbauschraube „Star Drive“ [34]	49
Abb. 4.5 Skizze der Holzbauschraube „SPAX-S“ [38]	50
Abb. 4.6 geplante Abstände bei den Prüfkörpern (alle Angaben in Millimeter)	51
Abb. 4.7 geplantes „Schnittmuster“ zur Herstellung der Brettabschnitte oben: Brett 1, ρ_1 ; Mitte: Brett 2, ρ_2 ; unten: Brett 3, ρ_3	52
Abb. 4.8 geplanter Aufbau der Prüfkörper (n ... Anzahl der Lamellen; Ausgangsmaterial Brett i ... B _i)	53
2 Herstellung der Prüfkörper	54
Abb. 4.9 Verteilung der Rohdichte aller Brettabschnitte	54
Abb. 4.10 Rohdichteverteilung in den Gruppen 06t, 20t und 40t; Rohdichte- gruppe 1G	56
Abb. 4.11 Rohdichteverteilung in den Gruppen 06t, 20t und 40t; Rohdichte- gruppe 2G	57
Abb. 4.12 Fertigen der Prüfkörper – Vorbereiten der Einzellamellen für den Klebstoffauftrag (links) und automatisches Auftragen des Klebstoffes durch die Klebstoffauftragsmaschine (rechts)	59
Abb. 4.13 Fertigen der Prüfkörper – Ausrichten und Übereinanderstapeln der Ein- zellamellen (links) und Pressen eines Brettsperrholzprüfkörpers (rechts) ..	59

Abb. 4.14	Aufbau der BSP- und BSH-Prüfkörper am Beispiel der Gruppe 20t	60
Abb. 4.15	Ausgeführte Abstände bei den Prüfkörpern (alle Angaben in Millimetern) v. ... vorgebohrt; n.v. ... nicht vorgebohrt	62
Abb. 4.16	Modifikation der BSH-Prüfkörper (40t) zu „Vollholz“-Prüfkörpern (alle Angaben in Millimeter)	63
Abb. 4.17	ausgeführte Abstände bei den „Vollholz“-Prüfkörpern (alle Angaben in Millimeter) v. ... vorgebohrt; n.v. ... nicht vorgebohrt	63
Abb. 4.18	„Vollholz“-Prüfkörper der Serie C_40t	64
Abb. 4.19	Nummerierung der Prüfkörper	64
3	Durchführung der Prüfungen	66
Abb. 4.20	Prüfaufbau	67
Abb. 4.21	Eindreihen der Schrauben (links) und die Bauteile Lagerplatte und Ein- hängerling (rechts)	67
4	Prüfdaten	70
Abb. 4.22	Darstellung der Bereiche zur Ermittlung der Verschiebungsmoduln K_{ser} und K_U am Beispiel einer tatsächlich aufgezeichneten Last-Verschie- bungskurve	74
Abb. 4.23	Verläufe der einzelnen Last-Verschiebungskurven der Gruppe BSP_1G_06t (\varnothing 8 mm)	74
Abb. 4.24	Einfluss der Schichtanzahl auf den Auszieh Widerstand f_{ax} bei Brett- sperrholz und Brettschichtholz am Beispiel vom \varnothing 8 n.v. der Roh- dichtegruppe 1G	75
Abb. 4.25	Einfluss der Schichtanzahl und der Vorbohrung auf den Auszieh Wider- stand f_{ax} am Beispiel von Brettsperrholz der Rohdichtegruppe 1G	76
Abb. 4.26	Histogramme der Normalrohndichteverteilung der Rohdichtegruppe 1G	79
Abb. 4.27	Histogramme der Normalrohndichteverteilung der Rohdichtegruppe 2G	80
Abb. 4.28	Histogramme der Normalrohndichteverteilung und die empirische Häufigkeitsverteilung der Rohdichte der „Vollholz“-Prüfkörper der Rohdichtegruppe 1G	81
Abb. 4.29	Histogramme der Normalrohndichteverteilung und die empirische Häufigkeitsverteilung der Rohdichte der „Vollholz“-Prüfkörper der Rohdichtegruppe 2G	82
Abb. 4.30	Einfluss der Schichtanzahl und der Vorbohrung auf die Verläufe der Verschiebungsmoduln K_{ser} und K_U bei Brettsperrholz der Rohdichte- gruppe 1G und 2G	84

Modellbildung und Vergleich	87
1 Allgemeine Betrachtungen	88
Abb. 5.1 Darstellung der Ausziehfestigkeit (Prüfergebnisse) gegen die Rohdichte $\rho_{12\%}$ (Rohdichte bei einer Referenzholzfeuchte von 12 %) der Materialien Brettsperrholz, Brettschichtholz und Vollholz; alle Durchmesser und Rohdichtegruppen	88
2 Veränderung der Rohdichte über die Schichtanzahl	89
Abb. 5.2 Darstellung der charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz und Brettschichtholz; alle Durchmesser, beide Rohdichtegruppen	90
Abb. 5.3 Darstellung der Mittelwerte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz und Brettschichtholz; alle Durchmesser, beide Rohdichtegruppen	90
Abb. 5.4 Darstellung der klebstoffkorrigierten Mittelwerte und charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz der Rohdichtegruppen 1G und 2G; alle Durchmesser	95
Abb. 5.5 Darstellung der charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl vor und nach der Klebstoffkorrektur bei Brettsperrholz und Brettschichtholz; alle Durchmesser und beide Rohdichtegruppen	96
Abb. 5.6 Darstellung der Mittelwerte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl vor und nach der Klebstoffkorrektur bei BSP und BSH; alle Durchmesser und beide Rohdichtegruppen	97
Abb. 5.7 Darstellung der charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz und Brettschichtholz	99
Abb. 5.8 Vergleich des Verlaufs des Variationskoeffizienten in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz der Rohdichtegruppe 1G	101
Abb. 5.9 Vergleich des Verlaufs des Variationskoeffizienten in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz der Rohdichtegruppe 2G	101
Abb. 5.10 Darstellung des Einflusses der vorgenommenen Korrekturen der Rohdichte auf den Variationskoeffizienten am Beispiel von Brettsperrholz der Rohdichtegruppe 1G	102
3 Veränderung der Ausziehfestigkeit f_{ax} über die Schichtanzahl	104
Abb. 5.11 Darstellung der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei den Materialien Brettsperrholz, Brettschichtholz und Vollholz; $\varnothing 8$ und $\varnothing 8$ n.v.	104
Abb. 5.12 Darstellung der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei den Materialien Brettsperrholz und Brettschichtholz; $\varnothing 12$	105

Abb. 5.13	Darstellung der Mittelwerte und charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeit bezogen auf das jeweilige Ergebnis der Einzelschicht in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz und Brettschichtholz der Gruppe Ø 8 n.v.; beide Rohdichtegruppen	106
Abb. 5.14	Darstellung der Mittelwerte und charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeit bezogen auf das jeweilige Ergebnis der Einzelschicht in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz und Brettschichtholz der Gruppe Ø 8; beide Rohdichtegruppen	108
Abb. 5.15	Darstellung der Mittelwerte und charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz und Brettschichtholz der Gruppe Ø 12; beide Rohdichtegruppen	109
Abb. 5.16	Darstellung der Mittelwerte und charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brettsperrholz der Gruppen Ø 8 n.v. und Ø 8; beide Rohdichtegruppen	111
Abb. 5.17	Darstellung der Ausziehfestigkeit (Prüfergebnisse) und der Trendlinien der verschiedenen Schichtungen der Materialien Brettsperrholz, Brettschichtholz und Vollholz; alle Rohdichtegruppen, Ø 8 ges.	112
Abb. 5.18	Darstellung des „Aufbaufaktors“ k_{lay-up} und dessen Bestandteile am Beispiel der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8 n.v., alle Materialien und Rohdichtegruppen	114
Abb. 5.19	Rissbildung in Faserrichtung zwischen den einzelnen Schraubenreihen (Quelle: Mahlkecht)	115
4	Modellbildung	116
Abb. 5.20	Abbildung der Spannungsverteilung über die Prüfkörperhöhe: links: angenommener Verlauf der Spannungsverteilung rechts: vereinfacht angenommener konstanter Verlauf der Spannungsverteilung (ingenieurmäßige Vereinfachung)	116
Abb. 5.21	Darstellung der Mittelwerte der Modellergebnisse und der Mittelwerte \pm Standardabweichung der Prüfergebnisse in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8, Rohdichtegruppe 1G und 2G (oben), Rohdichtegruppe 1G (mittig) und Rohdichtegruppe 2G (unten)	120
Abb. 5.22	Darstellung der Volumen der Randbereiche bei: links: Fall 1; konstante Schichtstärke und Zunahme der Schichtanzahl (lineares Modell) rechts: Fall 2; konstante Gesamthöhe und Zunahme der Schichtanzahl (Potenzmodell)	121
Abb. 5.23	Darstellung der Modellergebnisse (lin. und pot. Modell) und der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8, Rohdichtegruppe 1G und 2G	123
Abb. 5.24	Darstellung der Modellergebnisse (lin. und pot. Modell) und der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8, Rohdichtegruppe 1G	123

Abb. 5.25	Darstellung der Modellergebnisse (lin. und pot. Modell) und der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8, Rohdichtegruppe 2G	124
5	Vergleich	126
Abb. 5.26	Vergleich der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit der Materialien Brettsperrholz und Vollholz mit den prognostizierten Ergebnissen der unterschiedlichen Modelle; Ø 8 ges.	132
Abb. 5.27	Vergleich der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit des Materials Brettsperrholz mit den prognostizierten Ergebnissen der unterschiedlichen Modelle; Ø 12	132
Abb. 5.28	Vergleich der Prüfergebnisse des Ausziehwiderstandes $F_{ax,exp}$ mit den Modellergebnissen; Brettsperrholz; alle Schraubendurchmesser, Gruppe 20t und 40t	135
Abb. 5.29	Vergleich der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit $f_{ax,exp}$ mit den Modellergebnissen nach Pirnbacher; Brettsperrholz	137
Abb. 5.30	Vergleich der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit $f_{ax,exp}$ mit den Modellergebnissen nach Pirnbacher; Vollholz, Ø 8 und Ø 8 n.v.	138
Abb. 5.31	Vergleich der Prüfergebnisse der Ausziehfestigkeit $f_{ax,exp,k}$ mit den Modellergebnissen nach Frese; Brettsperrholz	140
Ausblick	.....	143



Tabellenverzeichnis

Einleitung und Zielsetzung	1
1 Motivation	2
2 Ziel der Arbeit	3
Stand des Wissens und der Technik	5
1 Allgemeines	6
2 Normative Festlegungen	9
Tab. 2.1 Mindestabstände von axial beanspruchten Schrauben [2]	9
Tab. 2.2 charakteristische Werte für den Ausziehparameter $f_{1,k}$ und den Kopfdurchziehparameter $f_{2,k}$ in $[N/mm^2]$ für Holzschrauben [1]	12
Tab. 2.3 Mindestabstände von Nägeln [1]	13
Tab. 2.4 minimale Abstände für in Schafrichtung belastete Schrauben [3]	14
Tab. 2.5 Vergleich der Bemessungswerte des Ausziehwiderstandes	17
Tab. 2.6 Vergleich der Mindestabstände bei axialer Belastung gemäß der beiden Normen	18
3 Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in Brettsperrholz	19
Tab. 2.7 Mindestverbindungsmittelabstände selbstbohrender Holzschrauben in BSP [17]	21
Tab. 2.8 Mindestbrettlagendicken, Mindestdicken und Mindesteinbindetiefen für Verbindungen in den Schmalflächen [17]	21
4 Gegenüberstellung von Ausziehwiderständen	22

Vergleich vorliegender Zulassungsinhalte zum Thema	25
1 Allgemein	26
Tab. 3.1 Europäische Technische Zulassungen und Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassungen für Brettsperrholz	26
Tab. 3.2 Europäische Technische Zulassungen und Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassungen für Schrauben	26
2 Zulassungen für Brettsperrholz	27
Tab. 3.3 Vergleich der Zulassungsinhalte der Europäischen Technischen Zulassungen einzelner BSP-Hersteller (k.A. ... keine Angabe)	30
Tab. 3.4 Vergleich der Zulassungsinhalte der Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen einzelner BSP-Hersteller (k.A. ... keine Angaben)	32
Tab. 3.5 Überblick und Vergleich der Zulassungsinhalte der Europäischen Technischen Zulassungen anderer europäischer BSP-Hersteller (k.A. ... keine Angaben)	34
Tab. 3.6 Überblick und Vergleich der Zulassungsinhalte der Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen anderer europäischer BSP-Hersteller (k.A. ... keine Angaben)	35
3 Zulassungen für Schrauben	36
Tab. 3.7 Mindestabstände von axial beanspruchten Schrauben [5]	37
Tab. 3.8 Vergleich der Zulassungsinhalte der Europäischen Technischen Zulassungen der einzelnen Schraubenhersteller (k.A. ... keine Angaben)	39
Tab. 3.9 Vergleich der Mindestabstände der EN-1995-1-1:2004 [5] und von Blauf [17]	40
4 Ermittlung des Ausziehwiderstandes selbstbohrender Holzschrauben ...	41
Prüfplanung und Durchführung der Laboruntersuchungen ...	45
1 Prüfplanung	46
Tab. 4.1 Charakteristische Werte der Sortierklasse L25 [7]	49
Tab. 4.2 Schraubengeometrien der Schraube Star Drive Ø12 (alle Angaben in Millimeter) [34]	50
Tab. 4.3 Schraubengeometrien der Schraube SPAX-S Ø12 (alle Angaben in Millimeter) [38]	50
Tab. 4.4 Vergleich der Schraubengeometrien der Schrauben Star Drive [34] und SPAX-S [38]	51

Tab. 4.5	Gegenüberstellung der Mindestabstände (BSP) mit den gewählten Abständen	52
Tab. 4.6	Gegenüberstellung der Mindestabstände (BSH) mit den gewählten Abständen	52
2	Herstellung der Prüfkörper	54
Tab. 4.7	Rohdichtegruppen 1G und 2G	55
Tab. 4.8	Anzahl der Brettabschnitte pro Gruppe und max. Anzahl der herstellbaren Prüfkörper	55
Tab. 4.9	Mittelwert \pm Standardabweichung sowie Variationskoeffizient der Rohdichte der Brettabschnittsgruppen	58
Tab. 4.10	Anzahl der hergestellten Prüfkörper je Gruppe	60
Tab. 4.11	Auswertung der Prüfkörperhöhen (alle Angaben in Millimeter)	61
Tab. 4.12	Auswertung der Feuchtemessungen (alle Angaben in Prozent)	61
Tab. 4.13	Gegenüberstellung der ausgeführten Abstände mit den Mindestabständen (alle Angaben in Millimetern)	62
Tab. 4.14	Gegenüberstellung der ausgeführten Abstände mit den Mindestabständen (alle Angaben in Millimetern)	64
Tab. 4.15	System zur Nummerierung der Prüfkörper	65
3	Durchführung der Prüfungen	66
4	Prüfdaten	70
Tab. 4.16	Auswertung des Feuchtegehalts zum Zeitpunkt der Prüfungen (alle Angaben in %)	76
Tab. 4.17	Auswertung der Rohdichte der Rohdichtegruppe 1G und Gegenüberstellung mit dem Ausgangsmaterial (alle Angaben in $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben)	77
Tab. 4.18	Auswertung der Rohdichte der Rohdichtegruppe 2G und Gegenüberstellung mit dem Ausgangsmaterial (alle Angaben in $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben)	78
Tab. 4.19	Auswertung der Rohdichte der Vollholzproben und Gegenüberstellung mit dem Ausgangsmaterial (alle Angaben in $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben)	78
Tab. 4.20	Auswertung der Rohdichte bei einer Referenzholzfeuchte von 12 % $\rho_{12,1G}$ und Gegenüberstellung mit der Normalrohddichte $\rho_{u,1G}$	83
Tab. 4.21	Auswertung der Rohdichte bei einer Referenzholzfeuchte von 12 % $\rho_{12,2G}$ und Gegenüberstellung mit der Normalrohddichte $\rho_{u,2G}$	83
Tab. 4.22	Auswertung der Rohdichte bei einer Referenzholzfeuchte von 12 % $\rho_{12,VH}$ und Gegenüberstellung mit der Normalrohddichte $\rho_{u,VH}$	83

Tab. 4.23 Vergleich der Verschiebungsmoduln von Brettsperrholz und Brett-
schichtholz; beide Rohdichtegruppen, \varnothing 8 ges 85

Tab. 4.24 Vergleich der Verschiebungsmoduln von Brettsperrholz und Brett-
schichtholz; beide Rohdichtegruppen, \varnothing 12 85

Tab. 4.25 Vergleich der Verschiebungsmoduln bei vorhandener bzw. ohne Vor-
bohrung; Brettsperrholz, beide Rohdichtegruppen 86

Modellbildung und Vergleich 87

1 Allgemeine Betrachtungen 88

2 Veränderung der Rohdichte über die Schichtanzahl 89

Tab. 5.1 Vergleich der Mittelwerte und der charakteristischen Werte der Roh-
dichte und der Variationskoeffizienten getrennt für alle Durchmesser
bei BSP und BSH; Rohdichtegruppe 1G 91

Tab. 5.2 Vergleich der Mittelwerte und der charakteristischen Werte der Roh-
dichte und der Variationskoeffizienten getrennt für alle Durchmesser
bei BSP und BSH; Rohdichtegruppe 2G 92

Tab. 5.3 Masse des Klebers bei den Proben und Verhältnis der Klebermasse
zur Gesamtmasse der Probe in Abhängigkeit von der Anzahl der Kle-
befugen und der Rohdichtegruppen 94

Tab. 5.4 Vergleich der charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit
von der Schichtanzahl vor und nach der Klebstoffkorrektur bei Brett-
sperrholz und Brettschichtholz der Rohdichtegruppe 1G; alle Angaben
in $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben 96

Tab. 5.5 Vergleich der charakteristischen Werte der Rohdichte in Abhängigkeit
von der Schichtanzahl vor und nach der Klebstoffkorrektur bei Brett-
sperrholz und Brettschichtholz der Rohdichtegruppe 2G; alle Angaben
in $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben 96

Tab. 5.6 Vergleich der Mittelwerte der Rohdichte in Abhängigkeit von der
Schichtanzahl vor und nach der Klebstoffkorrektur bei Brettsperrholz
und Brettschichtholz der Rohdichtegruppe 1G; alle Angaben in
 $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben 97

Tab. 5.7 Vergleich der Mittelwerte der Rohdichte in Abhängigkeit von der
Schichtanzahl vor und nach der Klebstoffkorrektur bei Brettsperrholz
und Brettschichtholz der Rohdichtegruppe 2G; alle Angaben in
 $[\text{kg}/\text{m}^3]$, wenn nicht anders angegeben 98

Tab. 5.8 theoretischer Anstieg der charakteristischen Werte in Abhängigkeit
von der Schichtanzahl auf Grundlage unterschiedlicher Variations-
koeffizienten 99

Tab. 5.9 Gegenüberstellung des ermittelten Variationskoeffizienten mit den
Werten laut Modell in Abhängigkeit von der Schichtanzahl bei Brett-
sperrholz; beide Rohdichtegruppen 102

3	Veränderung der Ausziehfestigkeit f_{ax} über die Schichtanzahl	104
Tab. 5.10	Gegenüberstellung und Vergleich der Ergebnisse der Ausziehfestigkeit der Materialien Brettsperrholz, Brettschichtholz und Vollholz der Gruppe Ø 8 n.v.	107
Tab. 5.11	Gegenüberstellung und Vergleich der Ergebnisse der Ausziehfestigkeit der Materialien Brettsperrholz, Brettschichtholz und Vollholz der Gruppe Ø 8	108
Tab. 5.12	Gegenüberstellung und Vergleich der Ergebnisse der Ausziehfestigkeit der Materialien Brettsperrholz und Brettschichtholz der Gruppe Ø 12	109
Tab. 5.13	Vergleich der Mittelwerte der Ausziehfestigkeit $f_{ax,mean}$ mit und ohne Vorbohrung; Brettsperrholz, Ø 8 (alle Angaben in $[N/mm^2]$, wenn nicht anders angegeben)	110
Tab. 5.14	Vergleich der charakteristischen Werte der Ausziehfestigkeit $f_{ax,k}$ mit und ohne Vorbohrung; Brettsperrholz, Ø 8 (alle Angaben in $[N/mm^2]$, wenn nicht anders angegeben)	110
Tab. 5.15	Gegenüberstellung und Vergleich der Ergebnisse der Ausziehfestigkeit der Gruppen Ø 8 n.v. und Ø 8 der Materialien Brettsperrholz und Brettschichtholz; alle Angaben wenn nicht anders angegeben in $[N/mm^2]$	111
4	Modellbildung	116
Tab. 5.16	beste Schätzer der konstanten Faktoren α und β in Abhängigkeit des Variationskoeffizienten der Rohdichte von Vollholz	118
Tab. 5.17	Vergleich der Mittelwerte der Modellergebnisse und der Prüfergebnisse in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8	119
Tab. 5.18	beste Schätzer der konstanten Faktoren α , β und ζ in Abhängigkeit der Rohdichtegruppe	122
Tab. 5.19	Vergleich der Mittelwerte der Modellergebnisse (lin. und pot. Modell) und der Prüfergebnisse von BSP in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8, Rohdichtegruppe 1G und 2G	123
Tab. 5.20	Vergleich der Mittelwerte der Modellergebnisse (lin. und pot. Modell) und der Prüfergebnisse von BSP in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8, Rohdichtegruppe 1G	124
Tab. 5.21	Vergleich der Mittelwerte der Modellergebnisse (lin. und pot. Modell) und der Prüfergebnisse von BSP in Abhängigkeit von der Schichtanzahl; Ø 8, Rohdichtegruppe 2G	124
5	Vergleich	126
Tab. 5.22	Darstellung der korrigierten Ergebnisse der charakteristischen Ergebnisse des Ausziehwiderstandes (BSP, Ø 12) und Vergleich; alle Angaben, wenn nicht anders angegeben, in $[kN]$	127

Tab. 5.23	Darstellung der korrigierten Ergebnisse der charakteristischen Ergebnisse des Auszieh Widerstandes (BSP, \varnothing 8) und Vergleich; alle Angaben, wenn nicht anders angegeben, in [kN]	127
Tab. 5.24	Vergleich der Ergebnisse des charakteristischen Wertes des Auszieh Widerstandes der Prüfungen mit den Berechnungsergebnissen der Norm und Zulassung; \varnothing 8	130
Tab. 5.25	Vergleich der Ergebnisse des charakteristischen Wertes des Auszieh Widerstandes der Prüfungen mit den Berechnungsergebnissen der Norm und Zulassung; \varnothing 12	131
Tab. 5.26	Vergleich der an die Rahmenbedingungen des Modelles angepassten Prüfergebnisse (Korr. von l_{ef}) mit den Modellergebnissen nach Blaß; Brettsperrholz, alle Schraubendurchmesser	135
Tab. 5.27	Vergleich der Prüfergebnisse mit den Modellergebnissen nach Pirnbacher; Brettsperrholz	137
Tab. 5.28	Vergleich der Prüfergebnisse mit den Modellergebnissen nach Pirnbacher; Vollholz, \varnothing 8 und \varnothing 8 n.v.	138
Tab. 5.29	Vergleich der Prüfergebnisse mit den Modellergebnissen nach Frese; Brettsperrholz, \varnothing 12	140
Tab. 5.30	Vergleich der Prüfergebnisse mit den Modellergebnissen nach Frese; Brettsperrholz, \varnothing 8 n.v.	140
Tab. 5.31	Vergleich der Prüfergebnisse mit den Modellergebnissen nach Frese; Brettsperrholz, \varnothing 8	141
Ausblick		143

Dies ist eine Veröffentlichung des

FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“. Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe

S - Skripten, Vorlesungsunterlagen | F - Forschungsberichte
V - Vorträge, Tagungen | D - Diplomarbeiten | 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