

# **QUALITÄTSKONTROLLE VON BRETTSCHICHTHOLZ: VERGLEICH DER PRÜFVERFAHREN „BLOCKSCHERTEST“ UND „DELAMINIERUNGSTEST“**

**Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung  
Projekt 2009.16**

**Empa  
Projekt 207760**

**Steiger René  
Risi Walter**

**Empa, Abt. Holz  
Empa, Abt. Holz**



# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>2 Einleitung</b>	<b>7</b>
2.1 Problembeschreibung	7
2.2 Ziele des Projekts	8
2.3 Stand des Wissens auf dem Gebiet	9
2.3.1 Internationaler Stand des Wissens	9
2.3.2 Forschungsarbeiten und Wissen an der Empa	10
2.4 Bedeutung des Projekts für Praxis und Forschung	10
2.4.1 Bedeutung für die Praxis	10
2.4.2 Bedeutung für Forschung und Normung	11
2.5 Literatur zur Kapitel 2	12
<b>3 Kontrolle der Klebfugenfestigkeit mittels Delaminierungsprüfung</b>	<b>15</b>
3.1 Unterschiedliche Verfahren der Delaminierungsprüfung	15
3.2 Anforderungen gemäss EN 386:2001	16
3.3 Anforderungen gemäss SFH-Richtlinie	16
3.4 Anforderungen gemäss prEN 14080:2011	17
3.5 Literatur zu Kapitel 3	17
<b>4 Kontrolle der Klebfugenfestigkeit mittels Scherprüfung</b>	<b>19</b>
4.1 Scherprüfung nach EN 392:1995	19
4.2 Anforderungen gemäss EN 386:2001	19
4.3 Anforderungen gemäss SFH-Richtlinie	20
4.4 Anforderungen gemäss prEN 14080:2011	20
4.5 Literatur zu Kapitel 4	20
<b>5 Versuche: Material und Methode</b>	<b>21</b>
5.1 Umfrage zu den produzierten Brettschichtholz-Sortimenten	21
5.2 Material	21
5.3 Probenzuschnitt	22
5.4 Delaminierungsprüfung	22
5.5 Blockscherprüfung	24
5.6 Literatur zu Kapitel 5	25
<b>6 Versuche: Resultate und Auswertung</b>	<b>27</b>
6.1 Prüfmethoenerhebung in den Betrieben	27
6.2 Delaminierungsprüfung nach EN 391:2001	27
6.2.1 Verfahren B	27
6.2.2 Verfahren A	27
6.2.3 Verfahren C	28
6.2.4 Zusammenstellung nach Ergebnis und Prüfverfahren	29
6.2.5 Übereinstimmung der Ergebnisse der verschiedenen Verfahren	29

6.3	Scherprüfung nach EN 392:1995	30
6.3.1	Versuchsergebnisse Serie 1	30
6.3.2	Versuchsergebnisse Serie 2	32
6.3.3	Versuchsergebnisse Serie 3	35
6.3.4	Versuchsergebnisse Serie 4	37
6.3.5	Versuchsergebnisse Serie 5	39
6.3.6	Versuchsergebnisse Serie 6	41
6.3.7	Versuchsergebnisse Serie 7	43
6.3.8	Versuchsergebnisse Serie 8	45
6.3.9	Versuchsergebnisse Serie 9	47
6.3.10	Versuchsergebnisse Serie 10	49
6.3.11	Versuchsergebnisse Serie 11	51
6.3.12	Versuchsergebnisse Serie 12	53
6.3.13	Versuchsergebnisse Serie 13	55
6.3.14	Versuchsergebnisse Serie 14	57
6.3.15	Versuchsergebnisse Serie 15	59
6.3.16	Versuchsergebnisse Serie 16	61
6.3.17	Versuchsergebnisse Serie 17	63
6.3.18	Versuchsergebnisse Serie 18	65
6.3.19	Versuchsergebnisse Serie 19	67
6.3.20	Scherfestigkeit mit und ohne Klemmung der Proben auf der geriffelten Auflage	69
6.3.21	Scherfestigkeit mit und ohne Klemmung der Proben bei glatter und geriffelter Auflage	70
6.3.22	Scherfestigkeit nach unterschiedlicher Lagerung der Proben	70
6.3.23	Holzfeuchte der Scherproben bei der Festigkeitsprüfung	73
6.4	Vergleich der Versuchsergebnisse der Delaminierungsprüfung und der Scherprüfung	77
6.4.1	Versuchsergebnisse der einzelnen Klebfugen	77
6.4.2	Versuchsergebnisse der Prüfkörper (alle Klebfugen betrachtet)	84
6.4.3	Zusammenfassende Betrachtung	84
6.5	Literatur zu Kapitel 6	85
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>87</b>
7.1	Umfrage unter den Brettschichtholzherstellern	87
7.2	Delaminierungsprüfung gemäss EN 391:2001	87
7.3	Blockscherprüfungen gemäss EN 392:1995	87
7.4	Vergleich der Versuchsergebnisse der Delaminierungsprüfungen und der Scherprüfungen	88
7.5	Normen	88
7.6	Gesamtfazit	89
7.7	Literatur zu Kapitel 7	90
<b>Anhang 1</b>	<b>Bilder Delaminierungsversuche</b>	<b>91</b>
<b>Anhang 2</b>	<b>Fragebogen Betriebserhebung</b>	<b>103</b>

# 1 Zusammenfassung

Zur Herstellung von Brettschichtholz (BSH) ist eine Qualitätskontrolle erforderlich. Neben der Kontrolle der Keilzinkenfestigkeit ist insbesondere die ausreichende Qualität der Flächenverklebung der Lamellen zu prüfen. Gemäss EN 386:2001 kann die Qualitätskontrolle der Flächenverklebung entweder durch eine Blockscherprüfung gemäss EN 392:1995 oder durch eine Delaminierungsprüfung gemäss EN 391:2001 geprüft werden. In der Schweiz sind für die Qualitätssicherung die „Richtlinien für die Herstellung von Brettschichtholz“ der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH massgebend. In dieser Richtlinie wird betreffend Kontrolle der Flächenverklebung auf die Scherprüfung gemäss EN 392:1995 verwiesen. Die Delaminierungsprüfung nach EN 391:2001 wird nur bei der Fremdkontrolle erwähnt. Zukünftig wird auch in der Schweiz die zurzeit nur in einem Entwurf vorliegende neue Europäische BSH-Norm prEN 14080:2011 an Bedeutung gewinnen. Sie wird als Alternative zu den SFH-Richtlinien auch in der anfangs 2012 erscheinenden teilrevidierten Norm SIA 265 erwähnt sein. Bezüglich Qualitätskontrolle von Klebfugen stellt die prEN 14080:2011 weiterhin auf die oben erwähnten Anforderungs- und Prüfnormen ab, wobei die Inhalte der Prüfnormen als Anhänge in die prEN 14080:2011 eingebaut sind.

Im Rahmen des vorliegenden, vom Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung finanzierten Forschungsprojekts „Qualitätskontrolle von Brettschichtholz: Vergleich der Prüfverfahren Blockscher-test und Delaminierungstest“ wurden vergleichende Versuche nach den beiden Prüfarten durchgeführt. Fünf Betriebe der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH stellten Prüfkörper aus 8 Holzarten (Nadel- und Laubholzarten), verklebt mit insgesamt 5 unterschiedlichen Klebstoffen her und lieferten die Prüfkörper an die Empa-Abteilung Holz zur Prüfung. An der Empa wurden Blockscherversuche gemäss EN 392:1995 nach verschiedenen Klima-Vorlagerungen der Prüfkörper sowie Delaminierungsversuche nach EN 391:2001 Verfahren A, B und C durchgeführt. Ausserdem wurde vor der Untersuchung bei den SFH-Mitgliederfirmen eine Umfrage betreffend produzierter BSH-Produkte und der Form der Qualitätsprüfung der Klebfugen gemacht. Daraus konnte das Fazit gezogen werden, dass 90% bis 100% der hergestellten BSH-Träger aus Fichten- und Tannenholz produziert werden und für den Einsatz in den Nutzungsklassen 1 oder 2 vorgesehen sind. Die Verklebung der Lamellen erfolgt grösstenteils mit Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz, aber auch mit Polyurethanklebstoff, Resorcin-Formaldehydharz und Harnstoff-Formaldehydharz. Nur 2 der SFH-Betriebe kontrollieren die Qualität der Flächenverklebung mittels Delaminierungsprüfungen.

Bei den Delaminierungsversuchen ergaben die Verfahren B und A praktisch (11 Übereinstimmungen, 1 Widerspruch), die Verfahren C und B durchwegs identische Prüfergebnisse (7 Übereinstimmungen, 0 Widersprüche). Jedoch hätte dieses Ergebnis bei anderen Klebstofftypen durchaus anders ausfallen können. Das Prüfverfahren B erzeugt aufgrund des schärferen Trocknungsklimas grössere Delaminierungen als das Verfahren C. Die Versuche haben gezeigt dass es mit BSH aus Eschenholz und einer Verklebung mit Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz möglich ist, die Anforderung der Prüfung nach dem Verfahren B zu erfüllen. Allerdings musste dazu die Verklebung optimiert werden. Innerhalb eines bestimmten Expositionszyklus sind bei Laubholz längere Trocknungszeiten bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte nötig als bei Nadelholz. Die in der Norm vorgegebenen Trocknungszeiten genügen daher strenggenommen als Kriterium, mit der Trocknung aufzuhören, nicht. Man müsste eigentlich auch hier die Massenänderung als Abbruchkriterium verwenden. Dies ist allerdings aus Sicht der Betriebe aufwändiger, da mit längeren Trocknungszeiten zu rechnen wäre.

Die Blockscher-tests gemäss EN 392:1995 zeigten, dass bei Verwendung der Empa-Prüfeinrichtung mit geriffelter Prüfkörperauflage zwischen den Scherfestigkeitswerten mit und ohne Klemmung der Prüfkörper kein signifikanter Unterschied bestand. Die Klima-Lagerungen der Blockscherproben vor der Festigkeitsprüfung beeinflussten zwar z. T. die Festigkeitswerte, führten jedoch zu keiner anderen Selektion. Die Proben aus dem Klima 20°C / 85% rel. Luftfeuchte ergaben tiefere Festigkeitswerte als die Vergleichsproben aus dem Klima 20°C / 65% rel. Luftfeuchte. Hingegen führte eine Stresslagerung bestehend aus Wässerung entsprechend dem Vorgehen bei der Delaminierungsprüfung und anschliessender Trocknung bei 20°C / 35% rel. Luftfeuchte zu gleichen oder teilweise sogar leicht höheren Scherfestigkeitswerten als nach Lagerung der Prüfkörper bei 20°C / 65% rel. Luftfeuchte. Die Scherfestigkeitswerte der Klebfugen von Laubhölzern waren wesentlich höher als die Scherfestigkeitswerte der Klebfugen von Nadelhölzern. Von den geprüften BSH-Trägern erfüllten nach Lagerung

bei 20°C / 65% rel. Luftfeuchte nur je 1 Prüfkörper die Anforderungen an den Mittelwert und an den Einzelwert einer Fuge nicht.

Wenn man die beiden Prüfverfahren (Delaminierung und Scherung) vergleicht, so zeigen die Prüfkörper entnommen aus den Nadelholz-BSH-Trägern eine relativ gute Übereinstimmung. So wurde beim Delaminierungsverfahren B bei 11 von 12 Proben und beim Verfahren A bei 10 von 12 Proben eine Übereinstimmung festgestellt. Die Versuche an Proben entnommen aus Laubholz-BSH-Trägern hingegen führten zu einem anderen Ergebnis: Bei den Verfahren B und C wurde bei nur 2 von 7 Proben eine Übereinstimmung festgestellt. Die Delaminierungsprüfungen haben sich im Vergleich zu den Blockscherprüfungen als aussagekräftiger erwiesen. So wurde bei der Blockscherprüfung die Anforderung an den Mittelwert bzw. an den Einzelwert je Klebfuge nur in je einem Fall nicht erfüllt. Bei der Delaminierungsprüfung dagegen erfüllten von 38 Prüfkörpern 17 die Anforderungen nicht. Insbesondere bei BSH aus Laubholz kann aus der Erfüllung der Anforderungen an die Blockscherfestigkeit nicht zuverlässig auf eine ausreichende Güte der Verklebung geschlossen werden.

Betreffend die verwendeten normativen Dokumente wurde festgestellt, dass bei den Delaminierungsverfahren der Abbruch der Trocknung gemäss EN 391:2001 nur beim Verfahren B in Abhängigkeit des Probengewichtes erfolgt, bei den Verfahren A und C hingegen nach einer bestimmten Dauer der Trocknung. Weil der Feuchtegehalt der Proben jedoch einen wesentlichen Einfluss auf die Delaminierung der Klebfugen hat, sollte das Ende der Trocknung bei allen Verfahren nach identischen Kriterien erfolgen. Das Delaminierungsverfahren C stellt mit seinem Sollklima von  $(27.5 \pm 2.5)^{\circ}\text{C}$  /  $(30 \pm 5)\%$  rel. Luftfeuchte grosse Anforderungen an die Kammersteuerung und dauert lange (Trocknungszeit 90 h). Die in der Norm EN 391:2001 angegebenen Trocknungszeiten gelten für Fichtenholzproben. Bei anderen Holzarten muss teilweise mit längeren Trocknungszeiten gerechnet werden, bis das Ausgangsgewicht (100% bis 110%) wieder erreicht ist. Gemäss EN 386:2001 kann die Eigenkontrolle von Bauteilen der Nutzungsklasse 1 und 2 mit Delaminierungsprüfungen nach Verfahren B oder anhand von Blockscherprüfungen erfolgen. Letztere wiederum können auch durch das Delaminierungsverfahren C ersetzt werden, was widersprüchlich erscheint. Auf Grund fehlender präziser Angaben in der Prüfnorm führt die Prüfung der Blockscherfestigkeit gemäss EN 392:1995 je nach Ausbildung der Auflagerplatte und Lagerung des Prüfkörpers zu unterschiedlichen Versuchsergebnissen. In der SFH-Richtlinie zur Qualitätskontrolle von BSH finden sich nur sehr spärliche und unpräzise Angaben zur Delaminierungsprüfung. Auf Grund der Wichtigkeit dieser Art der Qualitätskontrolle von Klebfugen, sollten umfangreichere und präzisere Angaben gemacht werden bzw. auf die einschlägigen Europäischen Normen verwiesen werden. Dabei sollte auch die Qualitätskontrolle der Verklebung von Laubholz und von hybriden Querschnitten geregelt werden. Gemäss EN 386:2001 muss die Qualitätskontrolle bei BSH, das in der Nutzungsklasse 3 eingesetzt wird, durch Delaminierungsprüfungen erfolgen. Entsprechende Anforderungen fehlen in der SFH-Richtlinie. Allerdings wird von den SFH-Mitgliederfirmen BSH für die Nutzungsklasse 3 nur sehr selten hergestellt.

Als Gesamtfazit aus dem Projekt resultiert, dass die Angaben in der EN 392:1995 zur Scherprüfung von Klebfugen mit Angaben zur Oberflächenbeschaffenheit der Auflagerplatte und zur Art der Prüfkörperlagerung (Abheben durch Klemmen des Prüfkörpers verhindert, Abheben möglich) ergänzt werden sollten. Bei der Delaminierungsprüfung gemäss EN 391:2001 bzw. prEN 14080:2011, Anhang C sollte bei sämtlichen 3 Prüfverfahren als Abbruchkriterium für die Trocknung der Proben nicht die Dauer der Trocknung sondern die gemessene Masse in Bezug zur Ausgangsmasse vor der Trocknung verwendet werden. Delaminierungsversuche gemäss Verfahren C sind nur bedingt geeignet zur Prüfung von Klebfugen, welche mit Klebstoffen des Typs I gemäss EN 301:2006 hergestellt wurden, da die Prüftemperatur von  $27.5 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$  im Delaminierungsversuch den Einsatzbereich des Klebstoffs bis 50 oder gar 60°C nicht abdeckt. Hierzu ist eine Präzisierung der Norm nötig. Die Angaben zur Delaminierungsprüfung in der SFH-Richtlinie zur Qualitätskontrolle von BSH sind auszubauen und zu präzisieren. Bei BSH aus Fichten- / Tannenholz sind zur Qualitätskontrolle der Klebfugen sowohl Scher- als auch Delaminierungsprüfungen möglich. Bei BSH aus anderen Nadelhölzern oder aus Laubholz und bei Hybridverklebungen bietet die Delaminierungsprüfung eine schärfere und aussagekräftigere Qualitätskontrolle. Falls die Qualitätskontrolle mittels Delaminierungsprüfungen erfolgt, so sind für BSH aus Nadelholz die Verfahren B oder A anzuwenden. Für BSH aus Laubholz mit Einsatz in der Nutzungsklasse 1 reicht das Verfahren C aus. In der Nutzungsklasse 2 ist auch für BSH aus Laubholz entweder das Verfahren B oder das Verfahren A zu verwenden. Im Falle von Hybridverklebung ist das Laubholz massgebend und es sind daher die Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Laubholzverklebungen zu befolgen.

## 2 Einleitung

### 2.1 Problembeschreibung

Brettschichtholz (BSH) ist ein mittlerweile bewährter Baustoff mit hervorragenden Eigenschaften, auf Grund derer Holztragwerke mit grösseren Spannweiten und besserer Masshaltigkeit realisierbar sind. BSH stärkt so die Konkurrenzfähigkeit von Holz im Hochbau allgemein und im Ingenieurbau im Besonderen.

Die Herstellung von BSH erfolgt qualitätsgesichert nach bestimmten Normen. Neben der Kontrolle der Keilzinkenfestigkeit ist insbesondere die ausreichende Qualität der Klebfugen der Flächenverleimung der Lamellen zu prüfen. Die Klebfugenfestigkeit von BSH hat je nach Einsatz des BSH in den verschiedenen Nutzungsklassen (bzw. Feuchteklassen gemäss Norm SIA 265:2003) unterschiedlichen Anforderungen zu genügen. Die Nutzungsklasse 1 ist durch einen Feuchtegehalt in den Baustoffen gekennzeichnet, der einer Temperatur von 20°C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, welcher nur für einige Wochen je Jahr einen Wert von 65% übersteigt. In den meisten Nadelhölzern wird bei diesen Verhältnissen die mittlere Ausgleichsfeuchte von 12% nicht überschritten. Die Nutzungsklasse 2 entspricht Klimabedingungen, welche durch einen Feuchtegehalt in den Baustoffen gekennzeichnet sind, der einer Temperatur von 20°C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen je Jahr einen Wert von 85% übersteigt. In Nutzungsklasse 2 wird die mittlere Ausgleichsfeuchte von 20% in den meisten Nadelhölzern nicht überschritten. Die Nutzungsklasse 3 schliesslich ist gekennzeichnet durch Klimabedingungen, welche zu höheren Feuchtegehalten als in Nutzungsklasse 2 führen.

In der Schweiz sind die "Richtlinien für die Herstellung von Brettschichtholz" [1] der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH massgebend für die qualitätsgesicherte Produktion von BSH. Die für die statische Berechnung anzusetzenden Bemessungswerte für BSH setzen laut Norm SIA 265:2003 [2], Ziffer 3.4.1.3 ein BSH voraus, welches unter fremdkontrollierter Eigenüberwachung gemäss der erwähnten SFH-Richtlinien hergestellt wird. Während für den Absatz von BSH in der Schweiz die Einhaltung der SFH-Richtlinie bei der Produktion genügt, sind bei Export von BSH die europäischen Produktnormen (EN) massgebend. Daher wird die EN 14080 zukünftig auch in der Norm SIA 265 als weitere Möglichkeit der Produktionskontrolle von BSH erwähnt werden.

In den EN sind Anforderungen an die Qualitätskontrolle von BSH expliziter formuliert als in der SFH-Richtlinie. Gemäss der derzeit für die Produktion von BSH massgebenden EN 14080:2005 [3] „muss das BSH die Leistungsanforderungen nach EN 386:2001 [4], Abschnitt 5 erfüllen“ und „die Klebfestigkeit der Klebfugen ist mittels eines der in EN 386:2001, Ziffer 5.5 definierten Klebfugengüteversuche zu prüfen“, wobei „die in EN 386:2001, Ziffer 5.5 festgelegten Übereinstimmungskriterien zu erfüllen sind“. Die im Rahmen der Fremd- und Eigenüberwachung durchzuführenden Klebfugenprüfungen sind in der Tabelle 2.1 zusammengestellt. Gemäss EN 386:2001 dürfen Klebstoffe des Typs II nach EN 301:2006 [5] nur in den Nutzungsklassen 1 und 2 verwendet werden, und die Temperatur des Bauteils im Bauwerk muss stets weniger als 50°C betragen. Klebstoffe des Typs I dürfen in allen 3 Nutzungsklassen eingesetzt werden.

*Tabelle 2.1: Übersicht über die Klebfugenprüfung im Rahmen von Fremd- und Eigenüberwachung gemäss EN 386:2001*

Nutzungsklasse	Qualitätskontrolle (Fremdüberwachung)	Qualitätslenkung (Eigenüberwachung)
3	Delaminierungsprüfung nach Verfahren A der EN 391:2001	Delaminierungsprüfung nach Verfahren A <sup>1)</sup> der EN 391:2001
1 und 2	Delaminierungsprüfung nach Verfahren A der EN 391:2001 oder Blockscherprüfungen nach EN 392:1995	Delaminierungsprüfung nach Verfahren A <sup>1)</sup> der EN 391:2001 oder Blockscherprüfungen nach EN 392:1995

<sup>1)</sup> Bei der Qualitätslenkung kann das Delaminierungsverfahren A durch das Delaminierungsverfahren B ersetzt werden.

Im aktuellen Entwurf der prEN 14080:2011 [6] sind die oben erwähnten Anforderungs- und Prüfnormen direkt enthalten, was das Handling zukünftig vereinfachen wird. An den für das vorliegende Forschungsgesuch massgebenden Vorschriften im Normentwurf prEN 14080 wurden bis dato keine relevanten Änderungen vorgenommen. Bei den Delaminierungsprüfungen ist das Prüfverfahren C jetzt wieder enthalten, nachdem es im Entwurf prEN 14080:2009 einmal gestrichen war. Der Geltungsbereich der Norm ist auf die namentlich erwähnten Nadelholzarten und Pappel begrenzt. Neu wurde der maximal zulässige Prozentsatz der Delaminierung je Fuge auf 30% begrenzt (vorher 40%). Die Norm spricht jetzt von Klebfestigkeitsklassen BST. Für die Nutzungsklassen 1 oder 2 ist BSH zu verwenden, das entweder der Klebfestigkeitsklasse BST 1 oder BST 2 zugeordnet wurde. Für die Nutzungsklasse 3 ist BSH zu verwenden, das der Klebfestigkeitsklasse BST 1 zugeordnet wurde. Wird die Klebfestigkeit im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle entweder mit der Scherprüfung oder mit der Delaminierungsprüfung, Verfahren C geprüft, sind die geklebten Schichtholzprodukte der Klebfestigkeitsklasse BST 2 zuzuordnen (Tabelle 2.2). Wird die Klebfestigkeit mit der Delaminierungsprüfung Verfahren A oder B geprüft, sind die geklebten Produkte der Klebfestigkeitsklasse BST 1 zuzuordnen.

*Tabelle 2.2: Übersicht über die Klebfugenprüfung gemäss prEN 14080:2011*

<b>Prüfverfahren im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle</b>	<b>Klebfestigkeitsklasse</b>	<b>Für BSH in Nutzungs-klasse</b>
Scherprüfung gemäss Anhang D oder Delaminierungsprüfung, Verfahren C gemäss Anhang C der prEN 14080:2011	BST 2	1 oder 2
Delaminierungsprüfung, Verfahren A oder B gemäss Anhang C der prEN 14080:2011	BST 1	1 – 3

Aus Sicht der BSH-produzierenden Betriebe sollen die Aufwendungen für die Qualitätskontrolle auf möglichst niedrigem Niveau gehalten werden, ohne dass es jedoch zu Qualitätsmängeln beim fertigen Produkt kommt. Bei der durch die Normen angegebenen Vielfalt an Varianten der Klebfugenprüfung stellt sich grundsätzlich die Frage, ob die Prüfungen gleichwertig sind, bzw. welche Prüfung schärfer ist. Da die Festigkeit der Klebfugen sich letztlich auf den Schubwiderstand eines BSH-Trägers auswirken, ist auf den ersten Blick nicht verständlich, weshalb Delaminierungsprüfungen Blockscherprüfungen ersetzen können. Dies ist wohl letztlich nur statthaft, wenn die Delaminierungsprüfung grundsätzlich die schärfere Prüfung darstellt, als die Blockscherprüfung.

**Im Gegensatz zur EN 386:2006 erlaubt die prEN 14080:2011 (Ziffer 5.2 der Norm) den Einsatz von Klebstoffen des Typs II nur noch in der Nutzungs-klasse 1.**

## 2.2 Ziele des Projekts

Aus beiden Blickwinkeln, einerseits der Qualitätslenkung (Eigenüberwachung) im BSH-Herstellerwerk und andererseits der Qualitätskontrolle (Fremdüberwachung), befasste sich das anvisierte Forschungsprojekt mit folgenden Fragen:

- Welches sind die für die SFH-Betriebe relevanten und durch das Forschungsprojekt zu behandelnden Klebstoff-Holzarten-Kombinationen?
- Nach welchen Verfahren erfolgt die Eigen- und die Fremdüberwachung in den Betrieben? Welche Erfahrungen wurden dabei gemacht?
- Was verlangen die relevanten Prüfnormen und Richtlinien in der Schweiz und in Europa? Sind die Anforderungen klar und widerspruchsfrei? Gibt es Lücken?
- Ist die im Rahmen der Eigenüberwachung für Bauteile mit Einsatz in der Nutzungs-klasse 3 erlaubte Delaminierungsprüfung nach Verfahren B der EN 391:2001 ein aussagekräftiger Ersatz für die Delaminierungsprüfung nach Verfahren A der EN 391:2001, wie sie bei der Fremdüberwachung durchgeführt wird?
- Führen die bei der Fremdüberwachung von Bauteilen mit Einsatz in den Nutzungs-klassen 1 und 2 alternativ durchführbaren Prüfungen (Delaminierungsprüfung nach Verfahren A der EN 391:2001 oder Blockscherprüfung nach EN 392:1995) zu identischen oder zu unterschiedlichen Aussagen, was die Qualität der Flächenverklebung betrifft?

In die Untersuchungen wurden ausgewählte der für die mitwirkenden BSH-Herstellerbetriebe relevanten Klebstoff-Holzarten-Kombinationen einbezogen.

## 2.3 Stand des Wissens auf dem Gebiet

### 2.3.1 Internationaler Stand des Wissens

Obwohl in wissenschaftlichen Arbeiten zur Überprüfung von Verklebungen und Weiterentwicklung von Klebstoffen meist sowohl Delaminierungs- als auch Scherversuche durchgeführt werden (siehe z.B. [7-10]), liegen Untersuchungen mit direkten Vergleichen zwischen den beiden Prüfarten mit Ausnahme von [11] bisher keine vor. Das Ziel der Untersuchung [11] bestand darin, die Anwendbarkeit der heute bei Nadelholzverklebungen eingesetzten und bewährten Nachweisverfahren für die Klebfugenbeständigkeit mittels Delaminierungsprüfungen bezüglich ihrer Übertragbarkeit auf die Verklebung von Buchenholzlamellen mit unterschiedlichem Rotkernanteil zu verifizieren. Dabei wurde auch die Korrelation zwischen Ergebnissen der Kurzzeit-Scherfestigkeitsprüfung und der Delaminierungsprüfung untersucht.

In der Fachliteratur [7, 9, 11] werden die beiden Arten der Klebfugenprüfung und deren Zusammenhang wie folgt bewertet:

- *Delaminierungsprüfungen* dienen dem *Nachweis der Klebfugenbeständigkeit*. Sie werden zum einen bei der Prüfung und Bewertung der grundsätzlichen Eignung von Klebstoffen für tragende (*Nadelholz*-)Verklebungen im Holzbau eingesetzt. Zum anderen repräsentieren sie eine der wichtigsten Prüfmethoden in der Überwachung der Verklebungsqualität im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle bei der Herstellung von Brettschichtholz, von Duo-, Trio- und Quattro-Balken sowie bei einer Reihe von weiteren verklebten Holzbauteilen. Die Delaminierungsprüfverfahren und Leistungsanforderungen (EN 301:2008 [5] und EN 302-2:2006 [12]) haben sich für die Bewertung der prinzipiellen Eignung von Klebstoffen und der Klebfugenbeständigkeit von verklebten Bauteilen aus Nadelhölzern sehr gut bewährt. Die Rechtfertigung dieser Prüfungen, respektive die Schlussfolgerungen darüber hinaus, liegen weniger in einer wissenschaftlich begründeten Abbildung der langfristigen Einwirkungen, denen ein Klebstoff im Rahmen der Bauteillebensdauer ausgesetzt ist, als vielmehr in einer jahrzehntelangen unwiderlegten praktischen Bestätigung einer langfristigen Fugenbeständigkeit im Falle der Erfüllung der Delaminierungsanforderungen [11]. Die pauschale Übertragbarkeit der Verfahren und der Anforderungen auf Laubholzverklebungen oder auf die Verklebung zwischen Nadel- und Laubholz erscheint allerdings problematisch [13, 14]. Die im Rahmen der Qualitätskontrolle von BSH massgebenden Normen und Anforderungen zur Delaminierungsprüfung (EN 386:2001 und EN 391:2001) wurden z. T. aus den Klebstoff-Anforderungs- und -Prüfnormen (EN 301:2008 und EN 302-2:2006) entwickelt. Diese wiederum fassen jedoch auf der Verklebung von Nadelholz mit Phenoplasten und Aminoplasten und sind daher nicht notwendigerweise auch für andere Klebstofftypen ohne Einschränkung bzw. Anpassung anwendbar [7].
- Im *Blockscherversuch* werden die *Scherfestigkeit* und der *Holzfaserverbruch- bzw. Klebstoffbruchanteil* bestimmt. Letzteres beantwortet die Frage, ob der Klebstoff höhere Festigkeit aufweist als das Holz. Die ermittelte Scherfestigkeit ist ein Mass für die Widerstandsfähigkeit des geprüften Bereichs. Dieser ist abhängig von der Festigkeit der Baustoffe (Holz und Klebstoff), von den inneren Spannungen in der Klebfuge und von der Kapazität des Klebstoffs, die äussere Beanspruchung in die Fuge einzuleiten und dort zu verteilen. Bisher unerkannt bzw. nicht untersucht blieb die Problematik der Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass je nach Art des verwendeten Scherprüfgeräts und dessen konstruktiver Ausbildung sich unterschiedliche Resultate in der Scherfestigkeit und im Holzfaserverbruchanteil ergeben können [15-17]. Dabei spielt auch eine wesentliche Rolle, wie die Auflagerung der Prüfkörper ausgebildet ist und ob der Prüfkörper während des Versuchs gegen Abheben gesichert ist oder nicht.
- Bei nachweislichem Bestehen der Delaminierungsanforderungen in den Klebstoffprüfungen wird in der EN 386:2001 für den Bereich der Nutzungsklassen 1 und 2 im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle der Klebfugenfestigkeit von BSH eine positive Korrelation zwischen Delaminierungsprüfungen und Kurzzeit-Scherfestigkeitsergebnissen unterstellt [11]. Der Nachweis der Klebfugenfestigkeit und -beständigkeit kann demgemäss sowohl durch positive Resultate aus der Delaminierungsprüfung wie durch positive Scherfestigkeitsprüfungen erbracht werden. Zumindest die in [11] beschriebenen Versuche an BSH aus rotkerniger Buche haben allerdings gezeigt, dass hohe Kurzzeit-Fugenscherfestigkeiten als primärer Nach-

weis für eine langfristige Fugenbeständigkeit nicht ausreichend sind. Ob umgekehrt positive Resultate aus Delaminierungsversuchen ausreichen, um auf eine ausreichende Scherfestigkeit der Klebfuge zu schliessen, wurde gemäss Kenntnisstand der Gesuchsteller bisher noch nicht systematisch untersucht.

### 2.3.2 Forschungsarbeiten und Wissen an der EMPA

Die Abteilung Holz der Empa hat sich im Rahmen von Festigkeitsprüfungen an Holz schon in früherer Zeit mit der Prüfung von Klebfugen und dabei insbesondere mit Scherprüfungen befasst. Erwähnt seien hier die Arbeiten von Roß [18-20], Staudacher [21], Kühne [22] und Meierhofer [23]. Die Empa hat auch Richtlinien für die Prüfung von Holz erarbeitet [24, 25], welche nach wie vor Gültigkeit haben und auf welchen modernere Prüfnormen aufgebaut sind. Neuere Forschungsarbeiten der Abteilung Holz der Empa mit Relevanz zum Thema widmeten sich:

- der automatischen Bestimmung des Holzausrisses bei der industriellen Klebfestigkeitsprüfung (FFWH-Projekt-Nr. 2006.05) [26, 27]
- der Optimierung der Blockscherprüfung von Klebfugen (FFWH-Projekt-Nr. 2007.04) [15-17]
- dem Einfluss von Arabinogalactan bei der Verklebung von Lärche [28]
- der Verklebbarkeit von rotkernigem Buchenholz [29] und von thermisch modifizierter Buche [30] sowie der Herstellung und den Festigkeitseigenschaften von BSH aus Buche im allgemeinen [31, 32].

Aus diesen Arbeiten konnten die folgenden für das vorliegende Projekt relevanten Erkenntnisse abgeleitet werden:

- Im Rahmen der Qualitätskontrolle von BSH besteht nach wie vor erhöhter Forschungs- und Optimierungsbedarf insbesondere was die angewandten Methoden als auch was die Prüfnormen betrifft. Existierende Prüfnormen sind z. T. unpräzise ja gar widersprüchlich formuliert.
- Insbesondere bei Verklebungen von Laubholz ergeben die Blockscherprüfungen und die Delaminierungstests teilweise unterschiedliche Resultate.
- Die zuweilen rein visuell schwierige Bestimmung eines korrekten Wertes des Holzfaserbruchanteils kann apparativ unterstützt auf Basis der Ergebnisse des FFWH-Projekts 2006.05 [26, 27] genauer bzw. objektiver erfolgen.
- Obwohl die Anforderungsnormen davon ausgehen, ist der Zusammenhang zwischen Holzfaserbruch- bzw. Klebstoffbruchanteil und der Scherfestigkeit im Blockscherversuch unklar.
- Die Art und Weise wie man Blockscherversuche durchführt (Ausbildung der Prüfeinrichtung, Lagerung der Prüfkörper, Belastungsgeschwindigkeit) beeinflusst die Prüfergebnisse markant.

## 2.4 Bedeutung des Projekts für Praxis und Forschung

### 2.4.1 Bedeutung für die Praxis

Die durch das vorliegende Forschungsprojekt bearbeitete Problematik wurde durch die Schweizerische Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH aufgeworfen und die Lancierung eines entsprechenden Forschungsprojekts durch die Empa wurde durch den Vorstand der SFH angeregt.

Aus Sicht der Praxis beinhaltet die Thematik des Forschungsgesuchs zwei Aspekte: Zum einen sollen die materiellen und zeitlichen Aufwendungen für die Eigenüberwachung möglichst gering gehalten werden; zum andern müssen die bei der Qualitätslenkung und -kontrolle durchgeführten Prüfungen aussagekräftig bezüglich der zu deklarierenden Produkteigenschaften sein.

Die Fragestellung ist insofern vielschichtig, als dass durch die Betriebe eine beträchtliche Anzahl an Klebstoff-Holzarten-Kombinationen verwendet wird. Neben der mengenmässig überwiegenden Herstellung von BSH aus Fichtenholz werden auch andere Nadelholzarten (Lärche, Douglasie) verwendet. In Einzelfällen wird BSH auch aus Laubholz hergestellt. Nicht selten kommen Kombinationen von Nadelholz und Laubholz (z. B. Fichte und Esche) zum Einsatz, wenn es um die Einleitung von Aufla-

gerkräften an der Trägerunterseite über Kontaktpressung senkrecht zur Faser geht. Diese Tendenz deckt sich mit einer kürzlich verfassten Studie zur Bedeutung von Laubholz bei der BSH-Herstellung gemäss Angaben von BSH-Herstellern in Deutschland, Österreich und der Schweiz [33]. Aus Sicht der BSH-Produzenten war also eine möglichst umfassende Untersuchung der Problematik ausgehend auf sämtliche Nutzungsklassen von Interesse.

Obwohl sich die Untersuchung auf BSH beschränkte, sind die Erkenntnisse auch für die Herstellung und Qualitätskontrolle anderer verklebter Holzprodukte (Balkenschichtholz, Duo- und Triobalken, etc.) von Interesse.

### 2.4.2 Bedeutung für Forschung und Normung

Damit in der Baupraxis zuverlässige (tragsichere, gebrauchstaugliche und dauerhafte) Tragwerke entstehen, muss sich der projektierende Ingenieur bei der Bemessung solcher Tragwerke auf vom Hersteller deklarierte charakteristische Baustoffeigenschaften (Festigkeit, Steifigkeit, etc.) abstützen können. Die Einhaltung dieser charakteristischen Eigenschaften obliegt dem Produzenten. Er stellt sein Produkt in der Regel gemäss bestimmten Anforderungsnormen oder Produktionsrichtlinien her. Anhand von stichprobenweisen Kontrollen wird laufend (Eigenüberwachung) bzw. periodisch (Fremdüberwachung) geprüft, ob die hergestellten Produkte die gewünschten Eigenschaften aufweisen. Auch diese Qualitätskontrollen durch die Betriebe und die Fremdüberwacher erfolgen nach vorgegebenen Prüfnormen und Richtlinien.

Aufgabe der Forschung und der Normenschaffenden ist es, den Produzenten praxistaugliche und bezüglich Prüfergebnis aussagekräftige Normen zur Verfügung zu stellen, damit die Qualitätskontrolle in den Betrieben wirtschaftlich und zuverlässig durchgeführt werden kann. In diesem Rahmen stellt die stetige Überprüfung und Weiterentwicklung der Normen eine wichtige Aufgabe dar. Sowohl die nationalen als auch die europäischen Normen (EN) werden daher in regelmässigen Abständen (Intervalle von 3, 5 und 10 Jahren) einer Revision unterzogen, um sie auf den aktuellen Stand der Technik zu bringen. Anregungen zu Änderungen an den Normen werden durch die zuständigen Komitees jedoch erfahrungsgemäss nur entgegengenommen, wenn sie durch eine ausreichende Anzahl an Versuchen begründet sind.

Da Prüfungen von Verklebungen auf Grund der zahlreichen Einflussgrössen und möglichen Klebstoff-Holzarten-Kombination rasch sehr umfangreich und damit aufwendig werden, ist es auch für die Forschung (z. B. für die Weiterentwicklung von Klebstoffen) ein wichtiges Anliegen, über aussagekräftige möglichst einfache Prüfverfahren zu verfügen. Im konkreten Fall der Klebfugenprüfung ist beispielsweise der Aufwand für die Delaminierungsprüfungen nach den drei derzeit möglichen Verfahren A, B und C deutlich unterschiedlich und eine Vereinfachung der Situation wäre wünschenswert. Noch pointierter stellt sich die Situation dar, wenn man die von den Herstellern der Klebstoffe für die Delaminierungsprüfung angewandte Prüfnorm EN 302-2 [12] in die Betrachtung mit einbezieht.

Mit einer aussagekräftigen Qualitätskontrolle muss sichergestellt werden, dass die Klebfugenfestigkeit (hier der Flächenverklebung der Lamellen) ausreichend ist, um die in der Praxis am Brettschichtholztträger auftretenden Schubspannungen (z. T. auch kombiniert mit Querkraft) aufnehmen zu können. Ob eine reine Delaminierungsprüfung ausreicht, um die gemäss EN 386:2001 einzuhaltenden Scherfestigkeitswerte unter Berücksichtigung des zugehörigen Faserbruchanteils zu garantieren, soll u. a. in diesem Projekt untersucht werden.

Zielsetzung muss es letztlich sein, die ausreichende Festigkeit und langfristige Beständigkeit einer Klebfuge (Verklebung Nadelholz-Nadelholz, Laubholz-Laubholz und Laubholz-Nadelholz) bei einem baupraktisch realistischen Einwirkungsszenario nachzuweisen und dafür geeignete Prüfverfahren und Anforderungen anzugeben bzw. zu entwickeln.

## 2.5 Literatur zu Kapitel 2

1. Schweizerische Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH 2006: Richtlinien für die Herstellung von Brettschichtholz.
2. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein 2003: Norm SIA 265 – Holzbau. SIA, Zürich.
3. Comité Européen de Normalisation CEN 2005: EN 14080: Holzbauwerke - Brettschichtholz – Anforderungen.
4. Comité Européen de Normalisation CEN 2001: EN 386: Brettschichtholz – Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung.
5. Comité Européen de Normalisation CEN 2006: EN 301: Klebstoffe für tragende Holzbauteile – Phenoplaste und Aminoplaste– Klassifizierung und Leistungsanforderungen.
6. Comité Européen de Normalisation CEN 2011: Entwurf prEN 14080: Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen.
7. Cost Action E13 2002: Wood adhesion and glued products: State-of-the-art report on glued wood products. Edited by Johansson C.-J., Pizzi T. and Van Leemput M.
8. Rajakaruna M.P. 2001: Strength and durability of Radiata Pine bonded with polyurethane adhesives. In: Proceedings of RILEM Symposium on Joints in Timber Structures. University of Stuttgart, Germany.
9. Raknes E. 1983: Durability of structural wood adhesives after 15 years aging. Industrial and Engineering Chemistry Product Research and Development 22(4): 662-664.
10. Raknes, E. 1997: Durability of structural wood adhesives after 30 years aging. Holz als Roh- und Werkstoff 55(2): 83-90.
11. Aicher S., Reinhardt H.-W. 2007: Delaminierungseigenschaften und Scherfestigkeiten von verlebten rotkernigen Buchenholzlamellen. Holz als Roh- und Werkstoff 65(2): 125-136.
12. Comité Européen de Normalisation CEN 2006: EN 302-2: Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Prüfverfahren - Teil 2: Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit.
13. Pitzner B., Bernasconi A., Frühwald A. 2001: Verklebung einheimischer dauerhafter Holzarten zur Sicherung von Marktanteilen im Aussenbau. Arbeitsbericht der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg.
14. Steiner M., Kableka M., Kirchmayr H., Schnabel R. 2003: Konstruktive Verwendung von Eichenholz. Forschungsbericht Holzforschung Austria, Wien, Austria.
15. Steiger, R., Gehri, E. 2007: Quality control of glulam: Shear tests of glue lines. In: Proceedings of CIB-W18 Meeting Fourty. Bled, Slovenia. Paper 40-12-7.
16. Steiger R., Gehri E., Richter K. 2010: Quality control of glulam: shear testing of bondlines. European Journal of Wood and Wood Products 68(3): 243-256.
17. Steiger R., Risi W. 2008: Qualitätskontrolle von Brettschichtholz: Scherpüfung von Klebfugen. Holzforschung Schweiz 16(1): 20-22.
18. Eidgenössische Materialprüfungsanstalt an der E.T.H. in Zürich 1924/25: S.I.A-Normen für Holzbauten – Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen an der E.M.P.A. mit Bauhölzern.
19. Roš M. 1936: Das Holz als Baustoff. I. Schweizerischer Kongress zur Förderung der Holzverwertung, Bern.
20. Roš M. 1945: Die Melocol-Leime der CIBA Aktiengesellschaft Basel: Ergebnisse der an der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe in den Jahren 1943-1945 durchgeführten Untersuchungen.
21. Staudacher E., 1942: Schweizerische Bau- und Werkhölzer: Ergebnisse der an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Zürich, in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Zürich, in den Jahren 1936 bis 1941 durchgeführten systematischen Untersuchungen über waldfisches Holz der Fichte, Tanne, Lärche, Buche und Eiche.
22. Empa 1955: Über den Einfluss von Wassergehalt, Raumgewicht, Faserstellung und Jahrringstellung auf die Festigkeit und Verformbarkeit schweizerischen Fichten-, Tannen-, Lärchen-, Rotbuchen- und Eichenholzes. Empa-Bericht Nr. 183.

23. Meierhofer U.A. 1977: Zur Beanspruchung von Holz schräg zur Faser. Schweizerische Bauzeitung 95(38): 671-676.
24. Empa 1959: Richtlinien zur Untersuchung von Holz – 1. Teil: Allgemeine Bezeichnungen und Begriffe. Oktober 1948 mit Änderungen und Ergänzungen März 1952 und Juni 1959. Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie Bauwesen und Gewerbe, Zürich.
25. Empa 1952: Richtlinien zur Untersuchung von Holz – 2. Teil: Untersuchungen zur materialtechnischen Charakterisierung von Rundholz und Schnittware. Januar 1949 mit Änderungen und Ergänzungen Oktober 1949, Februar 1950 und März 1952. Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie Bauwesen und Gewerbe, Zürich.
26. Künniger T. 2008: A semi-automatic method to determine the wood failure percentage on shear test specimens. Holz als Roh- und Werkstoff 66(3): 229-232.
27. Künniger T. 2009: Methode zur Quantifizierung des prozentualen Faserbruchanteils an Scherproben. Holztechnologie 50(2): 26-31.
28. Künniger T., Fischer A., Bordeanu N.C., Richter K. 2006: Chemical and technological effects of arabinogalactan in larch bonding. Forschungsbericht zu Cost E34-Projekt SBF Nr. C05.0046.
29. Pöhler E., Klingner R., Künniger T. 2006: Beech (*Fagus sylvatica* L.) – Technological properties, adhesion behaviour and colour stability with and without coatings of the red heartwood. Annals of Forest Science 63(2): 129-137.
30. Widmann R. 2009: Performance of finger jointed boards and structural glued laminated timber beams made of thermally modified beech. In Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Conference on Wood Modification ECWM4. Stockholm, Sweden.
31. Ohnesorge D., Richter K., Becker G. 2010: Influence of wood properties and bonding parameters on bond durability of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) glulams. Annals of Forest Science 67(6).
32. Ohnesorge D., Richter K., Becker G., Aicher S. 2008: Adhesion behaviour of glued laminated timber from European Beech. In: Proceedings of the Final Conference of COST Action E34 "Bonding of Timber": Enhancing Bondline Performance. Sopron, Hungary.
33. Ohnesorge D., Henning M., Becker G. 2009: Bedeutung von Laubholz bei der Brettschichtholzerstellung – Befragung unter Brettschichtholzproduzenten in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Holztechnologie 50(6): 47-49.



### 3 Kontrolle der Klebfugenfestigkeit mittels Delaminierungsprüfung

#### 3.1 Unterschiedliche Verfahren der Delaminierungsprüfung

Die Delaminierungsprüfungen von Klebfugen sind in der EN 391:2001 [1] bzw. im Anhang C der prEN 14080:2011 [2] beschrieben. Bei der Prüfung werden die Prüfkörper zuerst in Wasser gelagert und anschliessend in einem Trocknungssofen getrocknet. Die Wässerung erfolgt unter bestimmten Vakuum- und Druckzyklen. Das erzeugte Feuchtegefälle im Holz bewirkt Zugspannungen rechtwinklig zu den Klebfugen, so dass eine ungenügende Güte der Verklebung zu einer Delaminierung der Klebfugen führt. Die gemäss Norm vorgesehenen Prüfverfahren A, B und C weisen unterschiedliche Wässerungs- und Trocknungszyklen auf (Tabelle 3.1). Die beiden Delaminierungsverfahren A und B sind für Klebstoffe des Typs I nach EN 301:2006 [3] bzw. der Klebfestigkeitsklasse BST 1 nach prEN 14080:2011 und das Verfahren C für Klebstoffe des Typs II nach EN 301:2006 bzw. der Klebfestigkeitsklasse BST 2 prEN 14080:2011 geeignet.

Tabelle 3.1: Verfahren A, B und C nach EN 391:2001 bzw. prEN 14080, Anhang C

			A	B	C
Wässerung: Va- kuum-Druck- Zyklus	Wassertemp. [°C]		10 bis 20		
	Vakuum	absoluter Druck [kPa]	15 bis 30		
		Dauer [min]	5	30	30
	Druck	absoluter Druck [kPa]	600 bis 700		
		Dauer [min]	60	120	120
	Wässerungszyklen		2	1	2
	Dauer gesamt [min]		130	150	300
Trocknungszyklus	Temperatur [°C]		65 ± 5	70 ± 5	27.5 ± 2.5
	Luftfeuchtigkeit [%]		< 15	9 ± 1	30 ± 5
	Luftgeschwindigkeit [m/s]		2.5 ± 0.5	2.5 ± 0.5	2.5 ± 0.5
	Trocknungsdauer [h]		21 bis 22	10 bis 15	90
	Abbruchkriterium		Trocknungsdauer <sup>2</sup>	m <sub>e</sub> = 100% bis 110 % m <sub>a</sub>	Trocknungsdauer
Anzahl Prüfreihe			2	1	1
Zusätzliche Wiederholungen <sup>1</sup>			1	1	0
Dauer gesamt [h]			48 (72)	ca. 12.5 bis 17.5	95

<sup>1</sup> Zusätzliche Wiederholungen werden durchgeführt, wenn der Gesamtprozentsatz der Delaminierung grösser ist als der maximal zulässige Wert.

<sup>2</sup> Abbruchkriterium gemäss prEN 14080, Anhang C: wie bei Verfahren B

m<sub>a</sub> Masse vor Beginn der Prüfung  
m<sub>e</sub> Masse am Ende der Trocknung

### 3.2 Anforderungen gemäss EN 386:2001

Zum Zeitpunkt der Abfassung des vorliegenden Versuchsberichts ist bezüglich Anforderungen an das Produkte BSH nach wie vor die EN 386:2001 [4] massgebend. Die Norm gilt für BSH-Produkte mit einer maximalen Lamellendicke von höchstens 45 mm. Sie gilt für Brettschichtholz aus Nadelholz und auch aus Laubholz, sofern genügend Angaben über eine zufriedenstellende Verklebung vorliegen. Die Auswahl des Prüfverfahrens erfolgt in Abhängigkeit der Nutzungsklasse und der Überwachungsart. Es sind die folgenden Prüfungen durchzuführen:

- **Nutzungsklasse 1 und 2:**

- Bei der Fremdüberwachung sind Delaminierungsprüfungen nach dem Verfahren A der EN 391:2001 [1] oder Blockscherprüfungen nach EN 392:1995 [5] durchzuführen.
- Bei der Eigenüberwachung sind Delaminierungsprüfungen nach dem Verfahren A oder B der EN 391:2001 oder Blockscherprüfungen nach EN 392:1995 durchzuführen. Ausserdem können bei der Eigenüberwachung Blockscherprüfungen durch das Delaminierungsverfahren C nach EN 391:2001 ersetzt werden.

- **Nutzungsklasse 3**

- Bei der Fremdüberwachung sind Delaminierungsprüfungen nach dem Verfahren A der EN 391:2001 durchzuführen.
- Bei der Eigenüberwachung sind Delaminierungsprüfungen nach dem Verfahren A oder B der EN 391:2001 durchzuführen.

Die Nutzungsklasse 3 erfordert gemäss EN 301:2006 die Anwendung von Klebstofftyp I. Für die Nutzungsklassen 1 und 2 kann ein Klebstoff des Typs I oder, falls die Temperatur des Bauteils im Bauwerk stets weniger als 50 °C beträgt, des Typs II eingesetzt werden.

Die Anforderungen an die Blockscherfestigkeit und den Gesamtprozentsatz der maximal zulässigen Delaminierung sind in den Nutzungsklassen 1 und 2 identisch (Tabelle 3.1).

*Tabelle 3.2: Maximal zulässige Delaminierung eines Prüfkörpers*

		A	B	C
Maximal zulässige Delaminierung [%] gemäss EN 386	Fuge	<b>40</b>		
	nach Prüfreihe 1	-	<b>4</b>	10
	nach Prüfreihe 2	5	<b>8<sup>1</sup></b>	-
	nach Prüfreihe 3	10 <sup>1</sup>	-	-

<sup>1</sup> Anforderungswert für Prüfkörper, welche den ersten Anforderungswert nicht erfüllten.

Bei allen Delaminierungsverfahren muss der Höchstprozentsatz der Delaminierung einer einzelnen Klebstoffuge  $\leq 40\%$  sein.

### 3.3 Anforderungen gemäss SFH-Richtlinien

In der SFH-Richtlinie zur Herstellung von BSH [6] erfolgt einzig der Hinweis, dass zur Bestätigung und Kontrolle der Lamellenverleimung durch den Leimhersteller Delaminierungsprüfungen gemäss EN 391 durchgeführt werden können. Spezifische Anforderung und weiterführende Angaben zur Prüfung der Qualität der Flächenverklebung fehlen.

In den Betrieben erfolgt die Überwachung der Flächenverklebung von Brettschichtholz üblicherweise durch eine Blockscherprüfung gemäss EN 392:1995 (siehe Kapitel 4 dieses Berichts).

### 3.4 Anforderungen gemäss prEN 14080:2011

Im aktuellen Entwurf der prEN 14080:2011 [2] sind die relevanten Inhalte der unter 3.2 erwähnten Anforderungs- und Prüfnormen direkt enthalten, was das Handling zukünftig vereinfachen wird. An den für das vorliegende Forschungsgesuch massgebenden Vorschriften im Normentwurf prEN 14080 wurden keine relevanten Änderungen vorgenommen. Bei den Delaminierungsprüfungen ist das Prüfverfahren C jetzt wieder enthalten, nachdem es im Entwurf prEN 14080:2009 einmal gestrichen war. Der Geltungsbereich der Norm ist auf die namentlich erwähnten Nadelholzarten und Pappel begrenzt. Die Norm spricht jetzt von Klebfestigkeitsklassen BST. Für die Nutzungsklassen 1 oder 2 ist BSH zu verwenden, das entweder der Klebfestigkeitsklasse BST 1 oder BST 2 zugeordnet wurde. Für die Nutzungsklasse 3 ist BSH zu verwenden, das der Klebfestigkeitsklasse BST 1 zugeordnet wurde. Wird die Klebfestigkeit im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle entweder mit der Scherprüfung oder mit der Delaminierungsprüfung, Verfahren C geprüft, sind die geklebten Schichtholzprodukte der Klebfestigkeitsklasse BST 2 zuzuordnen (Tabelle 3.3). Wird die Klebfestigkeit mit der Delaminierungsprüfung Verfahren A oder B geprüft, sind die geklebten Produkte der Klebfestigkeitsklasse BST 1 zuzuordnen.

Tabelle 3.3: Übersicht über die Klebfugenprüfung gemäss prEN 14080:2011

Prüfverfahren im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle	Klebfestigkeitsklasse	Für BSH in Nutzungs-klasse
Scherprüfung gemäss Anhang D oder Delaminierungsprüfung, Verfahren C gemäss Anhang C der prEN 14080:2011	BST 2	1 oder 2
Delaminierungsprüfung, Verfahren A oder B gemäss Anhang C der prEN 14080:2011	BST 1	1 – 3

Neu wurde der maximal zulässige Prozentsatz der Delaminierung je Fuge auf 30% begrenzt (vorher gemäss EN 386:2001: 40%). Die Versuche innerhalb des vorliegenden Projekts wurden noch am Grenzwert von 40% gemessen, da der Normentwurf der prEN 14080:2011 erst nach Abschluss der Versuche erschien. Die gemessenen Delaminierungen hätten allerdings alle auch den Grenzwert von 30% eingehalten.

**Im Gegensatz zur EN 386:2006 erlaubt die prEN 14080:2011 (Ziffer 5.2 der Norm) den Einsatz von Klebstoffen des Typs II nur noch in der Nutzungs-klasse 1.**

### 3.5 Literatur zu Kapitel 3

1. Comité Européen de Normalisation CEN 2001: EN 391: Brettschichtholz – Delaminierungsprüfung von Leimfugen.
2. Comité Européen de Normalisation CEN 2011: Entwurf prEN 14080: Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen.
3. Comité Européen de Normalisation CEN 2006: EN 301: Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Phenoplaste und Aminoplaste – Klassifizierung und Leistungsanforderungen.
4. Comité Européen de Normalisation CEN 2001: EN 386: Brettschichtholz – Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung.
5. Comité Européen de Normalisation CEN 1995: EN 392: Brettschichtholz – Scherprüfung der Leimfugen.
6. Schweizerische Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH 2006: Richtlinien für die Herstellung von Brettschichtholz.



## 4 Kontrolle der Klebfugenfestigkeit mittels Scherprüfung

### 4.1 Scherprüfung nach EN 392:1995

Massgebend für die Scherprüfung von Klebfugen ist derzeit immer noch die EN 392:1995 [1]. Zur Bestimmung der Klebfestigkeit mittels einer Scherprüfung werden die Prüfkörper in eine Prüfvorrichtung eingelegt und in Faserrichtung unter monotoner Scherbeanspruchung bis zum Bruch belastet. Die Prüfgeschwindigkeit ist so zu wählen, dass es bis zum Bruch mindestens 20 Sekunden dauert. Nach der Festigkeitsprüfung ist der prozentuale Faserbruchanteil der Scherfläche auf die nächste, durch 5 teilbare Zahl gerundet, anzugeben.

Die Prüfkörper sind vor der Prüfung im Normalklima ( $20 \pm 2$ )° C / ( $65 \pm 5$ )% rel. Luftfeuchte so lange zu klimatisieren, bis sich die Gleichgewichtsfeuchte eingestellt hat. Für die Eigenüberwachung muss die Holzfeuchte gleichmässig über den Prüfkörper verteilt sein und innerhalb des Bereichs zwischen 8% und 13% liegen.

Die Scherfestigkeit  $f_v$  von Prüfkörpern, bei denen die Dicke der Scherfläche in Faserrichtung kleiner als 50 mm ist, wird mit nachfolgender Formel auf die Scherfestigkeit von 50 mm Faserlänge korrigiert.

$$f_v = k \frac{F_u}{A}$$

Dabei bedeuten:

- $A$  die Scherfläche (in mm<sup>2</sup>)  $A = b \cdot t$
- $k$  ein Korrekturfaktor in Funktion der Prüfkörperdicke:  $k = 0.78 + 0.0044 \cdot t$
- $b$  Prüfkörperbreite (in mm)
- $t$  Prüfkörperdicke in Faserrichtung (in mm)
- $F_u$  Bruchlast (in N)

### 4.2 Anforderungen gemäss EN 386:2001

Alle Prüfergebnisse der Blockscherprüfung müssen den in der Tabelle 4.1 dargestellten Anforderungen hinsichtlich Scherfestigkeit und Mindestfaserbruchanteil entsprechen [2].

Die Scherfestigkeit jeder Klebstofffuge muss mindestens 6 N/mm<sup>2</sup> betragen. Bei Nadelhölzern und Pappel ist eine Scherfestigkeit von 4.0 N/mm<sup>2</sup> (siehe Tabelle 4.1) als annehmbar anzusehen, wenn der Faserbruchanteil 100% beträgt.

Tabelle 4.1: Mindestfaserbruchanteile bezogen auf die Scherfestigkeit gemäss EN 386:2001 [2]

	Durchschnittswerte			Einzelwerte		
Scherfestigkeit $f_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]	6	8	$f_v \geq 11$	$4 \leq f_v < 6$	6	$f_v \geq 10$
Mindestfaserbruchanteil [%] <sup>1</sup>	90	72	45	100	74	20

<sup>1</sup> Bei Durchschnittswerten ist der Mindestbruchanteil in Prozent:  $144 - (9 f_v)$ . Bei der Scherfestigkeit  $f_v \geq 6.0$  N/mm<sup>2</sup> betragen die Einzelwerte der Mindestfaserbruchanteile in Prozent:  $153.3 - (13.3 f_v)$ .

Die Anforderungen gemäss Tabelle 4.1 sind in der Abbildung 4.1 graphisch dargestellt.

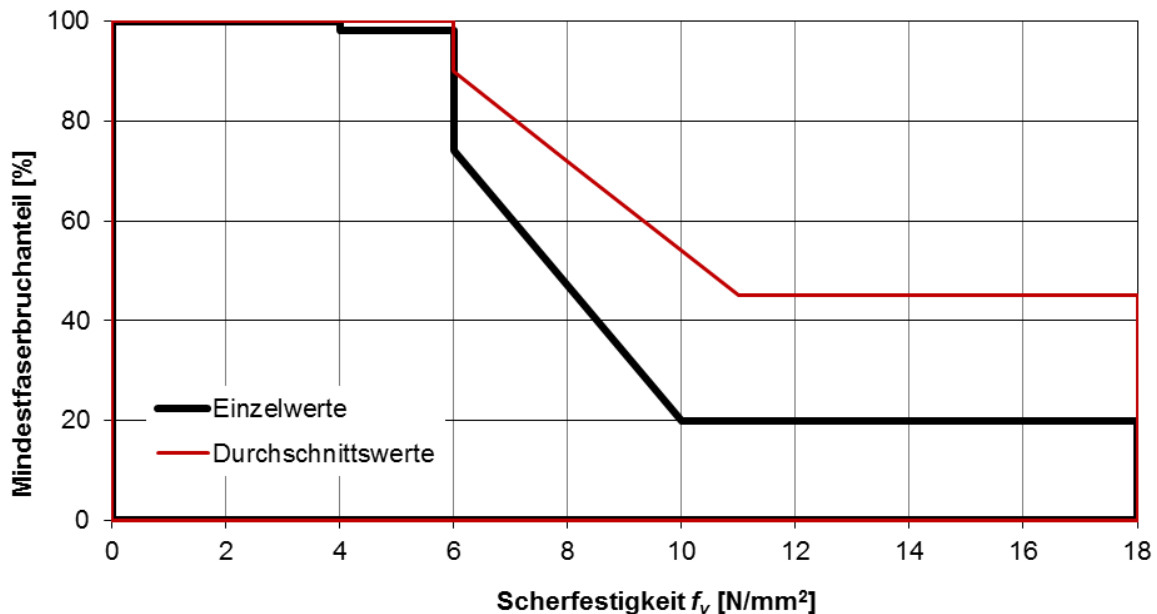


Abbildung 4.1: Anforderung an die Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Mindestfaserbruchanteils

### 4.3 Anforderungen gemäss SFH-Richtlinien

In den SFH-Richtlinien wurden für die Anforderungen an die Blockscherfestigkeit die Werte aus der EN 386:2001 übernommen.

### 4.4 Anforderungen gemäss prEN 14080:2011

In der prEN 14080:2011 [3] wurden die Anforderungen an die Mindestwerte der Scherfestigkeit und des Faserbruchanteils aus der EN 386:2011 übernommen. Allerdings wurde die Fussnote 1 in Tabelle 4.1 wie folgt präzisiert:

„Für Mittelwerte muss der Mindestwert des prozentualen Faserbruchanteils  $144 - (9 f_v)$  betragen. Für Einzelwerte muss der Mindestwert des prozentualen Faserbruchanteils, bezogen auf die Schubfestigkeit  $f_v \geq 6.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $153.3 - (13.3 f_v)$  betragen.“

Des Weiteren wurde mittels einer zusätzlichen Fussnote die Errechnung von Zwischenwerten der Scherfestigkeits-Faserbruchanteils-Wertepaaren mittels linearer Interpolation erlaubt. Für das vorliegende Forschungsprojekt sind diese Änderungen an den Prüfnormen nicht von Bedeutung.

### 4.5 Literatur zu Kapitel 4

1. Comité Européen de Normalisation CEN 1995: EN 392: Brettschichtholz – Scherprüfung der Leimfugen.
2. Comité Européen de Normalisation CEN 2001: EN 386: Brettschichtholz – Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung.
3. Comité Européen de Normalisation CEN 2011: Entwurf prEN 14080: Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen.

## 5 Versuche: Material und Methode

### 5.1 Umfrage zu den produzierten Brettschichtholz-Sortimenten

Als Grundlage für das definitive Prüfprogramm wurde vor der Inangriffnahme der Untersuchung bei den Mitgliedern der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau eine Umfrage bezüglich der hergestellten Brettschichtholzsortimente durchgeführt. Mit einem Fragebogen (siehe Anhang 2) wurde abgeklärt, welche Holzarten-Kombinationen und Klebstofftypen verarbeitet, welcher Feuchtekategorie die Bauteile ausgesetzt werden, und wie die interne Qualitätskontrolle durchgeführt wird.

### 5.2 Material

Für die Untersuchung wurden von 5 Mitgliedern der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau ([www.glulam.ch](http://www.glulam.ch)) Prüfkörper zur Verfügung gestellt. Das Untersuchungsmaterial ist mit 5 verschiedenen Klebstoffen verklebt und umfasst neben der üblicherweise verarbeiteten Holzarten Fichte (*Picea abies* Karst.) und Tanne (*Abies alba* Mill.) die Holzarten Buche (*Fagus silvatica* L.), Lärche (*Larix decidua* Mill.), Esche (*Fraxinus excelsior*), Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* Franco.) und Seekiefer (*Pinus pinaster*). Der Grossteil des Probenmaterials umfasste Prüfkörpern aus einer einheitlichen Holzart. Die einzige hybride Kombination, welche untersucht wurde, war Esche – Fichte. Die Tabelle 5.1 enthält eine Zusammenstellung des geprüften Materials.

Tabelle 5.1: Zusammenstellung des geprüften Materials

Serie	Hersteller	Holzart	Klebstoff	Breite [mm]	Höhe [mm]	Lamellendicke [mm]	Besonderes
1	B	Fichte	MUF	160	440	41	
2	B	Buche	MUF	100	590	30	
3	B	Lärche	MUF	100	320	30	
4	B	Esche	MUF	140	360	41	
5	B	Esche-Fichte	MUF	160	400	41	
6	D	Douglasie	MUF	160	250	43	
7	D	Lärche	MUF	160	250	32	
8	D	Seekiefer	MUF	160	250	25	
9	E	Fichte	PUR	180	480	41	
10	D	Esche	MUF	200	345	35	
11	D	Esche	MUF	200	345	35	
12	D	Esche	MUF	200	340	34	spezielle Verklebung <sup>1</sup>
13	D	Esche	MUF	200	340	34	spezielle Verklebung <sup>1</sup>
14	A	Fichte	EPI	75	400	40	
15	A	Lärche	EPI	75	420	38	
16	A	Douglasie	EPI	75	331	30	
17	C	Fichte	UF	140	365	34	
18	C	Fichte	RF	140	365	34	
19	C	Fichte	MUF	140	365	34	

<sup>1</sup> geschliffen, Klebstoffauftrag beidseitig

Abkürzungen Klebstoff:

MUF Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz  
 PUR Polyurethan  
 EPI Emulsion-Polymer-Isocyanat  
 UF Harnstoff-Formaldehydharz  
 RF Resorcin-Formaldehydharz

### 5.3 Probenzuschnitt

Von jeder Serie wurden von den Produktionsbetrieben zwei Querschnittscheiben für die Delaminierungsprüfungen und vier Querschnittscheiben für die Blockscherprüfungen an die Empa geliefert (Abbildung 5.1). Die Prüfkörper für die Delaminierungsprüfungen wurden in ganzer Grösse geprüft. Für die Blockscherprüfungen wurden an der Empa 50 mm dicke Streifen aus den Querschnittscheiben geschnitten. Die Streifen wurden in Abhängigkeit der Ausgangsdicke der Querschnittscheiben wie folgt geschnitten:

- Querschnittscheiben <100 mm Breite: 1 Streifen, Streifenentnahme vom Rand ausgehend;
- Querschnittscheiben  $\geq 100$  mm Breite: 2 Streifen, Streifenentnahme jeweils vom Rand ausgehend.

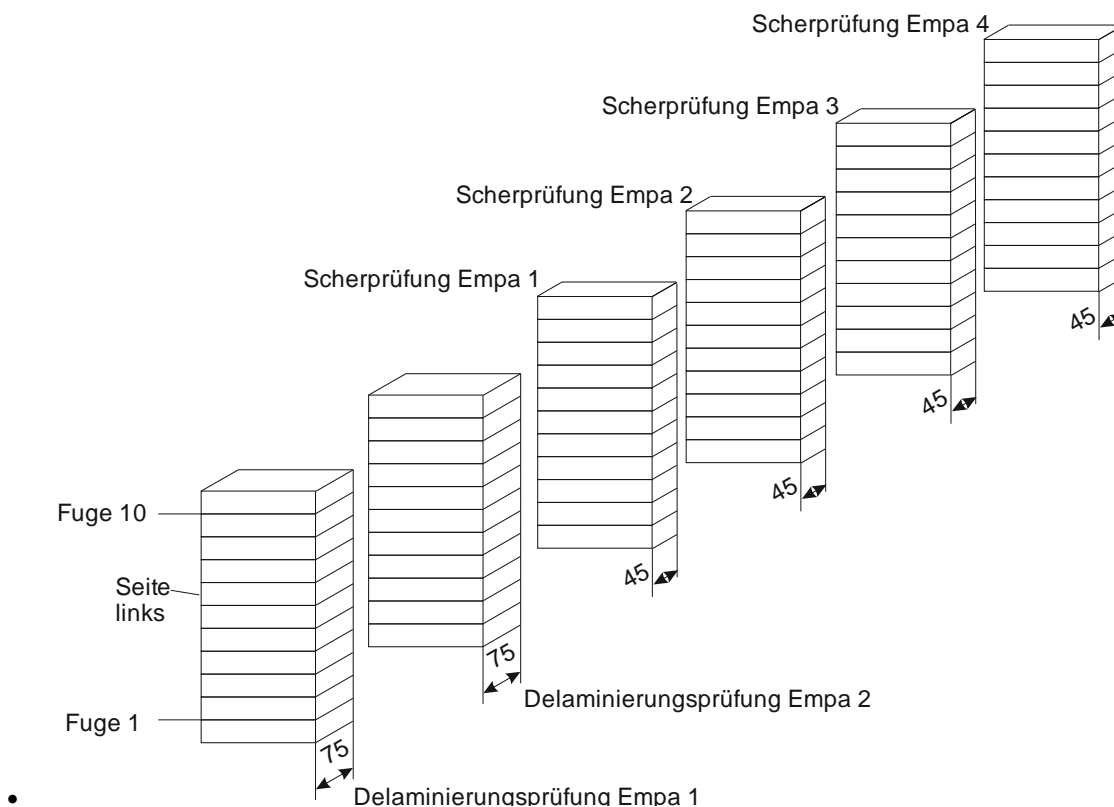


Abbildung 5.1: Prüfkörperentnahme aus einem Brettschichtholz-Träger (Proben einer Serie)

### 5.4 Delaminierungsprüfung

Von jeder Serie standen zwei Prüfkörper für die Delaminierungsprüfungen zur Verfügung. Eine der Querschnittscheiben wurde gemäss EN 391:2001 Verfahren B [1] geprüft. Die zweite Querschnittscheibe wurde je nach Holzart gemäss EN 391:2001 Verfahren A (Nadelholz) oder Verfahren C (Laubholz) geprüft. Die Tabelle 5.2 enthält eine Zusammenstellung der durchgeführten Versuche.

Bei den eingesetzten Geräten (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3) handelte es sich um eine Standardtrocknungsanlage für Delaminierungsprüfungen von der Firma Ulrich Lübbert Warenhandel GmbH & Co. KG und einen Druck- und Vakuumbelüfter für die Wässerung der Prüfkörper (Eigenkonstruktion der Empa). Die Prüfmaschinen- und Prüfanlagensparte der Firma Lübbert ist inzwischen durch die Firma Heider-Holztechnik übernommen worden ([www.heider-holztechnik.de](http://www.heider-holztechnik.de)).

Tabelle 5.2: Zusammenstellung der Delaminierungsprüfungen

Serie	Holzart	Hersteller	Klebstoff	Prüfung nach Verfahren	Besonderes
1.1 1.2	Fichte	B	MUF	B A	
2.1 2.2	Buche	B	MUF	B C	
3.1 3.2	Lärche	B	MUF	B A	
4.1 4.2	Esche	B	MUF	B C	
5.1 5.2	Esche-Fichte	B	MUF	B C	
6.1 6.2	Douglasie	D	MUF	B A	
7.1 7.2	Lärche	D	MUF	B A	
8.1 8.2	Seekiefer	D	MUF	B A	
9.1 9.2	Fichte	E	PUR	B A	
10.1 10.2	Esche	D	MUF	B C	
11.1 11.2	Esche	D	MUF	B C	
12.1 12.2	Esche	D	MUF	B C	Oberfläche geschliffen, Klebstoffauftrag beidseitig
13.1 13.2	Esche	D	MUF	B C	Oberfläche geschliffen, Klebstoffauftrag beidseitig
14.1 14.2	Fichte	A	EPI	B A	
15.1 15.2	Lärche	A	EPI	B A	
16.1 16.2	Douglasie	A	EPI	B A	
17.1 17.2	Fichte	C	UF	B A	
18.1 18.2	Fichte	C	RF	B A	
19.1 19.2	Fichte	C	MUF	B A	

Abkürzungen für die Klebstoffe: siehe Tabelle 5.1

Beschreibung der Verfahren A – C: siehe Kapitel 3

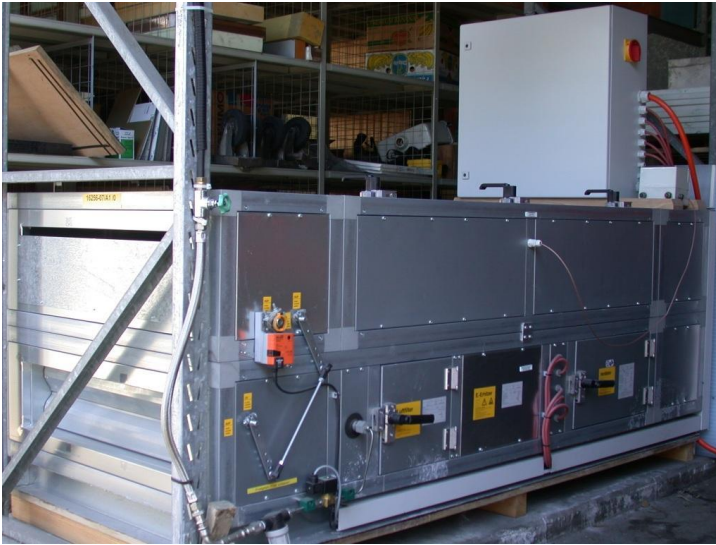


Abbildung 5.2: Standardtrocknungsanlage für Delaminierungsprüfungen von der Firma Ulrich Lübbert Warenhandel GmbH & Co. KG ([www.heider-holztechnik.de](http://www.heider-holztechnik.de))



Abbildung 5.3: Probenkorb und Vakuum-Druckkessel für die Wässerung der Delaminierungs-Proben

Die Prüfbedingungen sind in Abschnitt 3.1 beschrieben und die Anforderungen an die Prüfergebnisse in Abschnitt 3.2. Die Auswertung der Delaminierung eines Prüfkörpers gemäß Norm erfolgte durch Ausmessen der offenen Fugen auf den Querschnittflächen unmittelbar nach der Trocknung und durch anschließende rechnerische Ermittlung der folgenden Kennwerte [2]:

Gesamtprozentsatz der Delaminierung eines Prüfkörpers:

$$100 \frac{l_{\text{tot, delam}}}{l_{\text{tot, glueline}}}$$

Höchstprozentsatz der Delaminierung einer einzelnen Klebfuge:

$$100 \frac{l_{\text{max, delam}}}{2l_{\text{glueline}}}$$

Mit (alle Masse in mm):

$l_{\text{tot, delam}}$	Gesamtlänge der Delaminierung
$l_{\text{tot, glueline}}$	Gesamtlänge aller Klebfugen an beiden Hirnholzflächen jedes Prüfkörpers
$l_{\text{max, delam}}$	Grösste delaminierte Länge einer Klebfuge
$2l_{\text{glueline}}$	Doppelte Länge der Klebfuge (beide Querschnittseiten)

## 5.5 Blockscherprüfung

Die Blockscherprüfung erfolgte mit der Standardprüfvorrichtung der Empa auf einer elektromechanischen Zwick-Universal-Prüfmaschine des Typs 1474. Die Versuche wurden kraft geregelt mit einer konstanten Kraftzunahme so durchgeführt, so dass es bis zum Bruch mindestens 20 Sekunden dauerte. Da Ausbildung der Auflagerfläche und die Art der Prüfkörperlagerung (frei, bzw. Abheben verhindert) die Prüfergebnisse beeinflusst [3], wurde die Art der Lagerung variiert. Es wurden folgende Serien geprüft (Tabelle 5.3):

- Serie x.1<sup>1</sup>: Lagerung der Proben im Klima 20°C / 65% rel. Luftfeuchte und Prüfung auf herkömmlicher geriffelter Auflage ohne Klemmung der Prüfkörper (Abbildung 5.4)

- Serie x.2<sup>1</sup>: Lagerung der Proben im Klima 20°C / 65% rel. Luftfeuchte und Prüfung auf herkömmlicher geriffelter Auflage mit Klemmung der Prüfkörper (*Abbildung 5.5*).
- Serie x.3<sup>1</sup>: Lagerung im Klima 20°C / 85% rel. Luftfeuchte und Prüfung auf der herkömmlichen geriffelten Auflage ohne Klemmung der Prüfkörper. Die Prüfung erfolgte in feuchtem Zustand. Weil Brettschichtholzträger aus Buchen- und Eschenholz üblicherweise nur in der Feuchteklasse 1 eingesetzt werden, wurde diese Variante nur mit den Nadelholzprüfkörpern durchgeführt.

Die nicht benutzten Prüfkörper aus Buchen- und Eschenholz wurden zur Ergänzung der Serie x.2 eingesetzt. Die Proben wurden im Klima bei 20°C / 65% rel. Luftfeuchte gelagert und anschließend mit glatter Auflage und Klemmung geprüft.

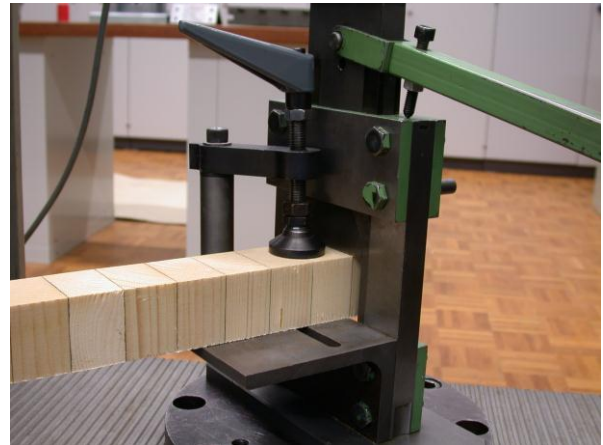
- Serie x.4<sup>1</sup>: Wässerung der Probenstangen im Vakuum-Druckkessel gemäss Verfahren B nach EN 391 und Trocknung im Klima 20°C / 35% rel. Luftfeuchte. Die Prüfung erfolgte auf der herkömmlichen geriffelten Auflage ohne Klemmung.

<sup>1</sup> x: Code für Holzart, Hersteller und Klebstoff – Proben aus dem gleichen BSH-Träger haben den gleichen Code.

Nach der Prüfung der Blockscherfestigkeit wurde an den Prüfkörpern stichprobenhaft durch Darren der Feuchtegehalt gemäss EN 13183-1:2002 [4] bestimmt.



*Abbildung 5.4: Empa-Blockscher-Prüfvorrichtung mit geriffelter Auflage, Prüfung ohne Klemmung des Prüfkörpers (Abheben möglich)*



*Abbildung 5.5: Empa-Blockscher-Prüfvorrichtung mit geriffelter Auflage, Prüfung mit geklemmtem Prüfkörper (Abheben verhindert)*

## 5.6 Literatur zu Kapitel 4

1. Comité Européen de Normalisation CEN 2001: EN 391: Brettschichtholz – Delaminierungsprüfung von Leimfugen.
2. Comité Européen de Normalisation CEN 2011: Entwurf prEN 14080: Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen.
3. Steiger R., Gehri E., Richter K. 2010: Quality control of glulam: shear testing of bondlines. European Journal of Wood and Wood Products 68(3): 243-256.
4. Comité Européen de Normalisation CEN 2002: EN 13183-1: Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren.

Tabelle 5.3: Zusammenstellung der Probenanzahl und der Prüfvarianten

Serie	Scherfugen n	Holzart	Hersteller	Klebstoff	Abheben	Lagerung °C / % LF	Auflage	Besonderes
1.1	20	Fichte	B	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	
1.2	20				verhindert			
1.3	20				möglich	20 / 85		
1.4	20					Stress		
2.1	38	Buche	B	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	
2.2	38				verhindert	20 / 65		
2.3 G	38				möglich	20 / 65	glatt	
2.4	38					Stress	geriffelt	
3.1	20	Lärche	B	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	
3.2	20				verhindert	20 / 65		
3.3	20				möglich	20 / 85		
3.4	19					20 / 85		
4.1	16	Esche	B	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	
4.2	16				verhindert	20 / 65		
4.3 G	16				möglich	20 / 65	glatt	
4.4	16					Stress	geriffelt	
5.1	17	Esche-Fichte	B	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	
5.2	18				verhindert	20 / 65		
5.3 G	18				möglich	20 / 65	glatt	
5.4	18					Stress	geriffelt	
6.1	10	Douglasie	D	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	
6.2	10				verhindert	20 / 65		
6.3	10				möglich	20 / 85		
6.4	10					Stress		
7.1	13	Lärche	D	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	
7.2	14				verhindert	20 / 65		
7.3	14				möglich	20 / 85		
7.4	14					Stress		
8.1	18	Seekiefer	D	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	
8.2	18				verhindert	20 / 65		
8.3	18				möglich	20 / 85		
8.4	18					Stress		
9.1	22	Fichte	E	PUR	möglich	20 / 65	geriffelt	
9.2	22				verhindert	20 / 65		
9.3	22				möglich	20 / 85		
9.4	22					Stress		
10.1	17	Esche	D	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	
10.2	18				verhindert	20 / 65		
10.4	18					Stress		
11.1	18	Esche	D	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	
11.2	18				verhindert	20 / 65		
11.4	18				möglich	Stress		
12.1	18	Esche	D	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	Oberfläche geschliffen, Klebstoffauftrag beidseitig
12.2	18				verhindert	20 / 65		
12.4	18				möglich	Stress		
13.1	18	Esche	D	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	Oberfläche geschliffen, Klebstoffauftrag beidseitig
13.2	18				verhindert	20 / 65		
13.4	18				möglich	Stress		
14.1	9	Fichte	A	EPI	möglich	20 / 65	geriffelt	
14.3	9					20 / 85		
14.4	9					Stress		
15.1	10	Lärche	A	EPI	möglich	20 / 65	geriffelt	
15.3	10					20 / 85		
15.4	10					Stress		
16.1	10	Douglasie	A	EPI	möglich	20 / 65	geriffelt	
16.3	10					20 / 85		
16.4	10					Stress		
17.1	20	Fichte	C	UF	möglich	20 / 65	geriffelt	
17.3	20					20 / 85		
17.4	20					Stress		
18.1	20	Fichte	C	RF	möglich	20 / 65	geriffelt	
18.3	20					20 / 85		
18.4	20					Stress		
19.1	20	Fichte	C	MUF	möglich	20 / 65	geriffelt	
19.3	20					20 / 85		
19.4	20					Stress		

## 6 Versuche: Resultate und Auswertung

### 6.1 Prüfmethodenerhebung in den Betrieben

Von 9 den Betrieben zugestellten Fragebogen (siehe Anhang 2) wurden 5 beantwortet der Empa zurückgesandt. Nachfolgend eine Zusammenfassung der erhaltenen Antworten:

- Verklebt wird zu 90% bis 100% Brettschichtholz aus Fichten- und Tannenholz. Von 4 Herstellern wurde auch die Verarbeitung von Lärchenholz (10% / 3% / 2% / 2%) und Douglasienholz (2%, 1%, 1%, selten) angegeben. Daneben verkleben einzelne Hersteller Eschenholz (5%), Buchenholz, Eichenholz, Kastanienholz und Exotenholz. Nur selten werden Hybridträger in den Holzartenkombinationen Fichte – Lärche, Fichte – Esche und Fichte – Eiche verklebt.
- Die Verklebung erfolgt bei 4 Herstellern grösstenteils oder vollständig mit einem Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz. 1 Hersteller verklebt mit einem Polyurethankleber. Ausserdem wurden genannt: Resorzin-Formaldehydharzkleber (5 bis 10% / 2% / 1%) und Harnstoff-Formaldehydharzkleber.
- Die verklebten Brettschichtholzträger werden vorwiegend in Klimaklassen der Nutzungsklassen (Feuchteklassen) 1 und 2 eingebaut. 2 Hersteller gaben an, dass sie auch Brettschichtholz herstellen, welches in der Nutzungsklasse 3 (3% / 1%) verbaut wird.
- 2 Hersteller kontrollieren ihre Produktion durch Delaminierungsprüfungen, vor allem gemäss dem Verfahren B nach EN 391:2001. Bei den anderen 3 Betrieben erfolgt die Eigenkontrolle durch Blockscherprüfungen nach EN 392:1995. Dabei werden die Proben bei der Prüfung von zwei Betrieben auf die Unterlage aufgespannt und von einem Betrieb nur lose aufgelegt. 1 Betrieb führt Delaminierungsprüfungen und gezielte Blockscherprüfungen durch.

### 6.2 Delaminierungsprüfung nach EN 391:2001 [1]

In diesem Abschnitt wird die Gesamtheit der Delaminierungen an den Prüfkörpern ausgewertet und verglichen. Angaben zu den Delaminierungen einzelner Fugen sind im Abschnitt 6.4 in Tabelle 6.28 bis Tabelle 6.46 zu finden. Bilder der Querschnittsflächen vor und nach der Delaminierungsprüfung sind im Anhang 1 zusammengestellt.

#### 6.2.1 Verfahren B

Die Versuchsergebnisse der Prüfreihe „Verfahren B“ sind in der Tabelle 6.1 zusammengestellt. Gemäss EN 386:2001 [2] ist nach einer Prüfreihe maximal 4% und nach zwei Prüfreiheiten maximal 8% an Delaminierung zulässig. 9 Prüfkörper erfüllen die Anforderungen nach einer Prüfreihe nicht, 7 deutlich. Mit 2 Proben wurde eine zusätzliche Prüfreihe ausgeführt. Der Anforderungswert nach zwei Prüfreiheiten wurde von Probe 14.1 überschritten und von Probe 16.1 erfüllt. Allerdings mussten bei der Auswertung von Probe 16.1 teilweise delaminierte Bereiche infolge von Asteinflüssen von der Auswertung ausgeschlossen werden. Auffallend sind die sehr geringen Delaminierungen der Proben 12.1 und 13.1, welche gegenüber den Proben 10.1 und 11.1 speziell verklebt wurden (geschliffen, Klebstoffauftrag beidseitig).

#### 6.2.2 Verfahren A

Die Versuchsergebnisse der Prüfreihe „Verfahren A“ sind in der Tabelle 6.2 aufgelistet. Gemäss EN 386:2001 ist nach zwei Prüfreiheiten maximal 5% und nach 3 Prüfreiheiten maximal 10% an Delaminierung zulässig. 4 Prüfkörper erfüllten die Anforderungen nach zwei Prüfreiheiten nicht, ein Prüfkörper deutlich. Mit 4 Proben wurde eine zusätzliche Prüfreihe ausgeführt. Von diesen Prüfkörpern erfüllte einzig die Probe 1.2, welche nicht zwingend einer weiteren Prüfreihe hätte zugeführt werden müssen, die Anforderungen nach 3 Prüfreiheiten. Die restlichen 3 Prüfkörper wiesen nach der Prüfreihe 3 geringfügig zu grosse Delaminierungen auf.

Tabelle 6.1: Versuchsergebnisse Delaminierung Verfahren B

Serie	Holzart	Klebstoff	Verfahren	Delaminierung [%]		Anforderungen gemäss EN 386 erfüllt   nicht erfüllt		Bemerkung
				Prüfreihe				
				1	2			
1.1	Fichte	MUF	B	3.5		x		
2.1	Buche	MUF	B	30.3			x	
3.1	Lärche	MUF	B	0.9		x		
4.1	Esche	MUF	B	85.2			x	
5.1	Esche-Fichte	MUF	B	23.9			x	
6.1	Douglasie	MUF	B	0.8		x		
7.1	Lärche	MUF	B	1.8		x		
8.1	Seekiefer	MUF	B	1.5		x		
9.1	Fichte	PUR	B	1.0		x		
10.1	Esche	MUF	B	19.3			x	
11.1	Esche	MUF	B	10.9			x	
12.1	Esche	MUF	B	0.2		x		spez. Verklebung
13.1	Esche	MUF	B	0.7		x		spez. Verklebung
14.1	Fichte	EPI	B	5.0	8.3		x	
15.1	Lärche	EPI	B	12.2			x	
16.1	Douglasie	EPI	B	5.0	7.3	x		1
17.1	Fichte	UF	B	4.0		x		
18.1	Fichte	RF	B	0.0		x		
19.1	Fichte	MUF	B	14.7			x	

<sup>1</sup> Wegen der Beeinflussung durch diverse Äste war nur eine reduzierte Auswertung möglich.

Tabelle 6.2: Versuchsergebnisse Delaminierung Verfahren A

Serie	Holzart	Klebstoff	Verfahren	Delaminierung [%]		Anforderungen gemäss EN 386		Bemerkung
				Prüfreihe		erfüllt	nicht erfüllt	
				2	3			
1.2	Fichte	MUF	A	4.5	6.0	x		
3.2	Lärche	MUF	A	3.1		x		
6.2	Douglasie	MUF	A	3.4		x		
7.2	Lärche	MUF	A	1.1		x		
8.2	Seekiefer	MUF	A	0.1		x		
9.2	Fichte	PUR	A	1.3		x		
14.2	Fichte	EPI	A	8.8	10.7		x	
15.2	Lärche	EPI	A	8.2	10.1		x	
16.2	Douglasie	EPI	A	8.7	10.1		x	
17.2	Fichte	UF	A	2.0		x		
18.2	Fichte	RF	A	0.2		x		
19.2	Fichte	MUF	A	14.2			x	

### 6.2.3 Verfahren C

Die Versuchsergebnisse der Prüfreihe „Verfahren C“ sind in der Tabelle 6.3 aufgelistet. Gemäss EN 386:2001 ist nach einer Prüfreihe maximal 10% an Delaminierung zulässig. Eine zusätzliche Prüfreihe ist bei diesem Verfahren nicht vorgesehen. Die Anforderungen wurden von 2 der 7 Prüfkörper erfüllt. Auffallend, wie bereits bei der Prüfreihe zum Verfahren B festgestellt, sind die sehr geringen Delaminierungen der Proben 12.2 und 13.2, die gegenüber den Proben 10.2 und 11.2 speziell verklebt wurden (geschliffen, Klebstoffauftrag beidseitig).

Tabelle 6.3: Versuchsergebnisse Delaminierung Verfahren C

Serie	Holzart	Klebstoff	Verfahren	Delaminierung [%] Prüfreihe 1	Anforderungen gemäss EN 386		Bemerkung
					erfüllt	nicht erfüllt	
2.2	Buche	MUF	C	9.9		x <sup>1</sup>	
4.2	Esche	MUF	C	40.1		x	
5.2	Esche-Fichte	MUF	C	18.9		x	
10.2	Esche	MUF	C	10.1		x	
11.2	Esche	MUF	C	22.4		x	
12.2	Esche	MUF	C	0.0	x		spez. Verklebung
13.2	Esche	MUF	C	2.0	x		spez. Verklebung

<sup>1</sup> zulässiger Höchstprozentsatz je Fuge = 40% von Fuge 19 mit 51.5% überschritten

#### 6.2.4 Zusammenstellung nach Ergebnis und Prüfverfahren

In der Tabelle 6.4 sind die Versuchsergebnisse in Abhängigkeit der verschiedenen Prüfverfahren und des Prüfergebnisses dargestellt. 11 von 19 nach dem Verfahren B geprüfte Proben haben die Anforderungen gemäss EN 386:2001 erfüllt, 8 haben sie nicht erfüllt. Die Anforderungen des Verfahrens A wurden von 8 und die Anforderungen des Verfahrens C wurden von 2 der geprüften Proben erfüllt.

Tabelle 6.4: Versuchsergebnisse in Abhängigkeit des Prüfverfahrens B, A, C gemäss EN 386:2001.

	B	A	C
gesamt	19	12	7
erfüllt	11	8	2
nicht erfüllt	8	4	5

#### 6.2.5 Übereinstimmung der Ergebnisse der verschiedenen Verfahren

In der Tabelle 6.5 werden in der Spalte 2 die Ergebnisse der Prüfungen nach den Verfahren A und B und in der Spalte 3 die Ergebnisse der Prüfungen nach den Verfahren B und C verglichen. Die Prüfungen nach dem Verfahren A und den Verfahren B führten mit einer Ausnahme zu den gleichen Ergebnissen. Bei der Ausnahme handelt es sich um die Prüfkörper 16.1 und 16.2. Wegen Ästen im Prüfkörper 16.1 konnten bei dieser Probe nicht alle Delaminierungen ausgewertet werden. Es ist anzunehmen, dass bei gleicher Holzqualität der Proben beide Verfahren zu den gleichen Ergebnissen geführt hätten.

Ein Vergleich der Verfahren B und C zeigt, dass alle 7 Prüfkörper übereinstimmende Ergebnisse aufweisen. Der Prüfkörper 2.2 erfüllte zwar die Anforderung an den Gesamtwert bei Prüfung nach dem Verfahren C, die Probe scheiterte jedoch am zulässigen Höchstprozentsatz an Delaminierung einer Fuge (Fuge 19: Delaminierung = 50.5%).

Tabelle 6.5: Anzahl Prüfkörper mit Übereinstimmung der Versuchsergebnisse in Abhängigkeit der Delaminierungs-Prüfverfahren

	A - B	B - C
gesamt	12	7
Übereinstimmung	11	7
Widerspruch	1 <sup>1</sup>	0

<sup>1</sup> Das Ergebnis ist beeinflusst durch Äste, welche eine gleichwertige Auswertung der Prüfkörper 16.1 (Verfahren B) und 16.2 (Verfahren A) nicht zulassen.

### 6.3 Scherprüfung nach EN 392:1995 [3]

Abbildung 6.1 bis Abbildung 6.19 zeigen die Versuchsergebnisse der Scherprüfungen gemessen an den Anforderungen an Einzelwerte nach EN 386:2001 der Serien 1 bis 19. Weil die Scherprüfung in der Regel keine differenzierten Vorlagerungen in verschiedenen Umgebungsklimas vorsieht, gelten die Anforderungen streng genommen nur für Prüfserien nach Lagerung bei 20°C / 65% relativer Luftfeuchte.

In den Tabellen 6.6 bis 6.24 sind die Einzelwerte, die Mittelwerte je Fuge und eine statistische Auswertung je Serie zusammengestellt. Versuchsergebnisse, welche den Anforderungen gemäss EN 386:2001 nicht genügen sind rot eingetragen.

Die Anforderung an den Mittelwert der Scherfestigkeit der Klebfugen wurde gemäss EN 386:2001 nur von der Serie 19.1 (Tab. 6.24) und der Prüfstange der Serie 17.1 Streifen links (Tab. 6.22) nicht erfüllt.

#### 6.3.1 Versuchsergebnisse Serie 1

**Holzart:** Fichte      **Klebstoff:** MUF      **Hersteller:** B      **Scherfläche (LxB):** 45 mm x 50 mm

##### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.1 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.6 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

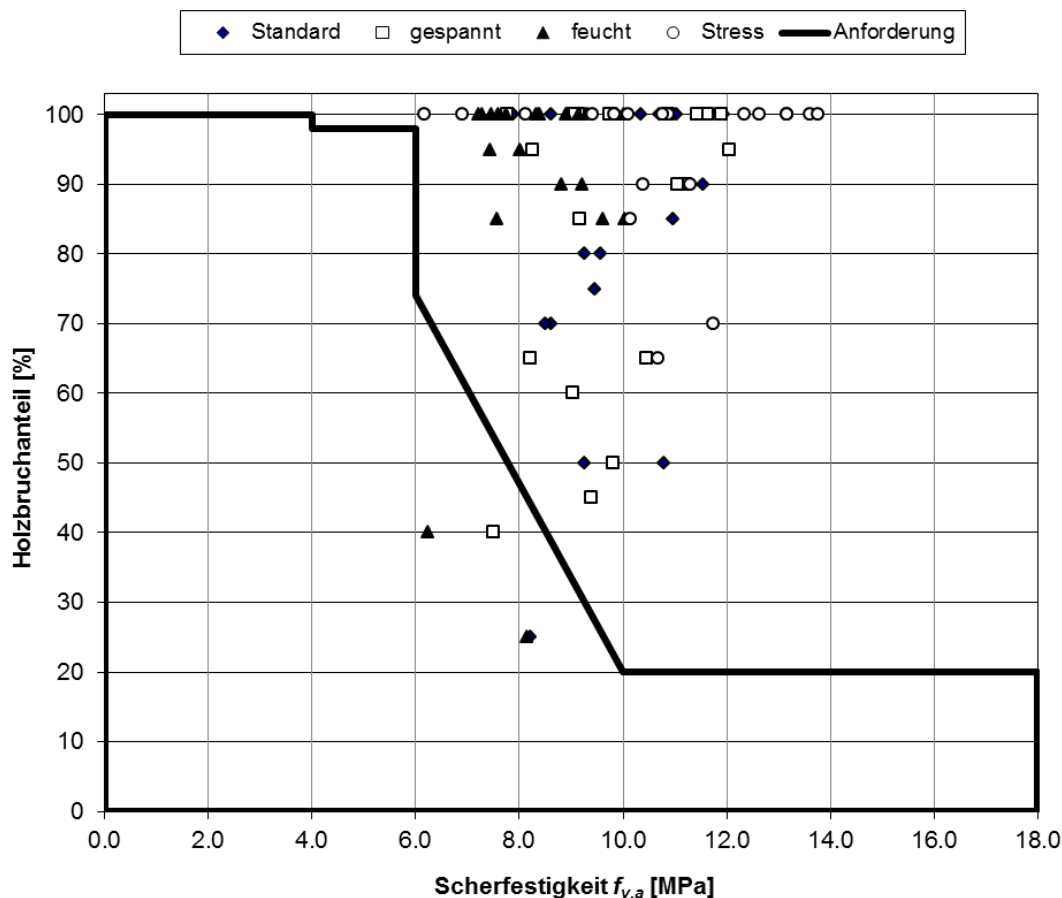


Abbildung 6.1: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 1

Tabelle 6.6: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 1

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$			Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$			Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$			Bem.
		Mittelwert aus Streifen li + re				Streifen links				Streifen rechts			
		[MPa]	[%]			[MPa]	[%]			[MPa]	[%]		
1.1	1	10.6	85		9.6	80		11.5	90				
1.1	2	11.3	100		10.7	100		12.0	100				
1.1	3	9.0	63		9.9	100		8.2	25				
1.1	4	8.6	85		8.6	70		8.6	100				
1.1	5	11.3	75		10.8	50		11.9	100				
1.1	6	9.3	75		9.3	50		9.3	100				
1.1	7	9.9	88		9.5	75		10.4	100				
1.1	8	8.2	85		8.5	70		7.9	100				
1.1	9	9.3	90		9.3	80		9.3	100				
1.1	10	11.0	93		11.0	85		11.0	100				
$n_{Fuge} / n$		10			10			10					
n ungenügend		0			0			1					
Mittelwert		9.9	84		9.7	76		10.0	92				
Standardabw.		1.08	11		0.87	17.3		1.54	23.6				
Variationsk.		11%	13%		9%	23%		15%	26%				
Minimalwert		8.2	63		8.5	50		7.9	25				
Maximalwert		11.3	100		11.0	100		12.0	100				
1.2	1	10.7	83		10.5	65		10.9	100				
1.2	2	11.4	95		11.2	90		11.6	100				
1.2	3	8.3	70		9.1	100		7.5	40				
1.2	4	9.4	100		9.7	100		9.1	100				
1.2	5	9.8	100		7.8	100		11.9	100				
1.2	6	10.2	80		9.0	60		11.4	100				
1.2	7	9.6	48		9.4	45		9.8	50				
1.2	8	8.2	80		8.2	65		8.3	95				
1.2	9	10.5	98		9.0	100		12.1	95	Ast			
1.2	10	10.1	88		9.2	85		11.1	90				
$n_{Fuge} / n$		10			10			10					
n ungenügend		0			0			1					
Mittelwert		9.9	84		9.3	81		10.4	87				
Standardabw.		0.95	16		1.00	20.5		1.60	22.5				
Variationsk.		10%	19%		11%	25%		15%	26%				
Minimalwert		8.2	48		7.8	45		7.5	40				
Maximalwert		11.4	100		11.2	100		12.1	100				
1.3	1	7.7	63		8.2	25		7.2	100				
1.3	2	9.5	100		8.9	100		10.0	100				
1.3	3	8.6	93		8.0	95	Ast	9.2	90				
1.3	4	7.5	90		7.4	95	Ast	7.6	85				
1.3	5	8.2	95		7.6	100		8.8	90				
1.3	6	8.4	93		7.3	100		9.6	85				
1.3	7	8.3	100		8.3	100		8.4	100				
1.3	8	7.6	100		7.8	100		7.5	100				
1.3	9	8.8	100		8.4	100		9.1	100				
1.3	10	8.1	63		6.2	40		10.0	85	Ast			
$n_{Fuge} / n$		10			10			10					
n ungenügend		0			2			0					
Mittelwert		8.4	90		7.8	86		8.7	94				
Standardabw.		0.77	15		0.74	28.2		1.05	7.1				
Variationsk.		9%	16%		9%	33%		12%	8%				
Minimalwert		7.5	63		6.2	25		7.2	85				
Maximalwert		9.5	100		8.9	100		10.0	100				
1.4	1	11.2	68		10.7	65		11.7	70				
1.4	2	11.8	95		10.4	90		13.2	100				
1.4	3	11.0	100		9.4	100		12.6	100				
1.4	4	11.0	95		11.3	90		10.8	100				
1.4	5	13.4	100		13.2	100		13.6	100				
1.4	6	11.9	100		10.1	100		13.8	100				
1.4	7	11.6	100		10.9	100		12.3	100				
1.4	8	7.5	100		6.9	100		8.1	100				
1.4	9	8.0	100		6.2	100		9.8	100				
1.4	10	10.5	93		10.9	100		10.1	85				
$n_{Fuge} / n$		10			10			10					
n ungenügend		0			0			0					
Mittelwert		10.7	95		10.0	95		11.6	96				
Standardabw.		1.71	10		2.06	11.2		1.85	10.1				
Variationsk.		16%	11%		21%	12%		16%	11%				
Minimalwert		7.5	68		6.2	65		8.1	70				
Maximalwert		13.4	100		13.2	100		13.8	100				

### 6.3.2 Versuchsergebnisse Serie 2

Holzart: Buche      Klebstoff: MUF      Hersteller: B      Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.2 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.7 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

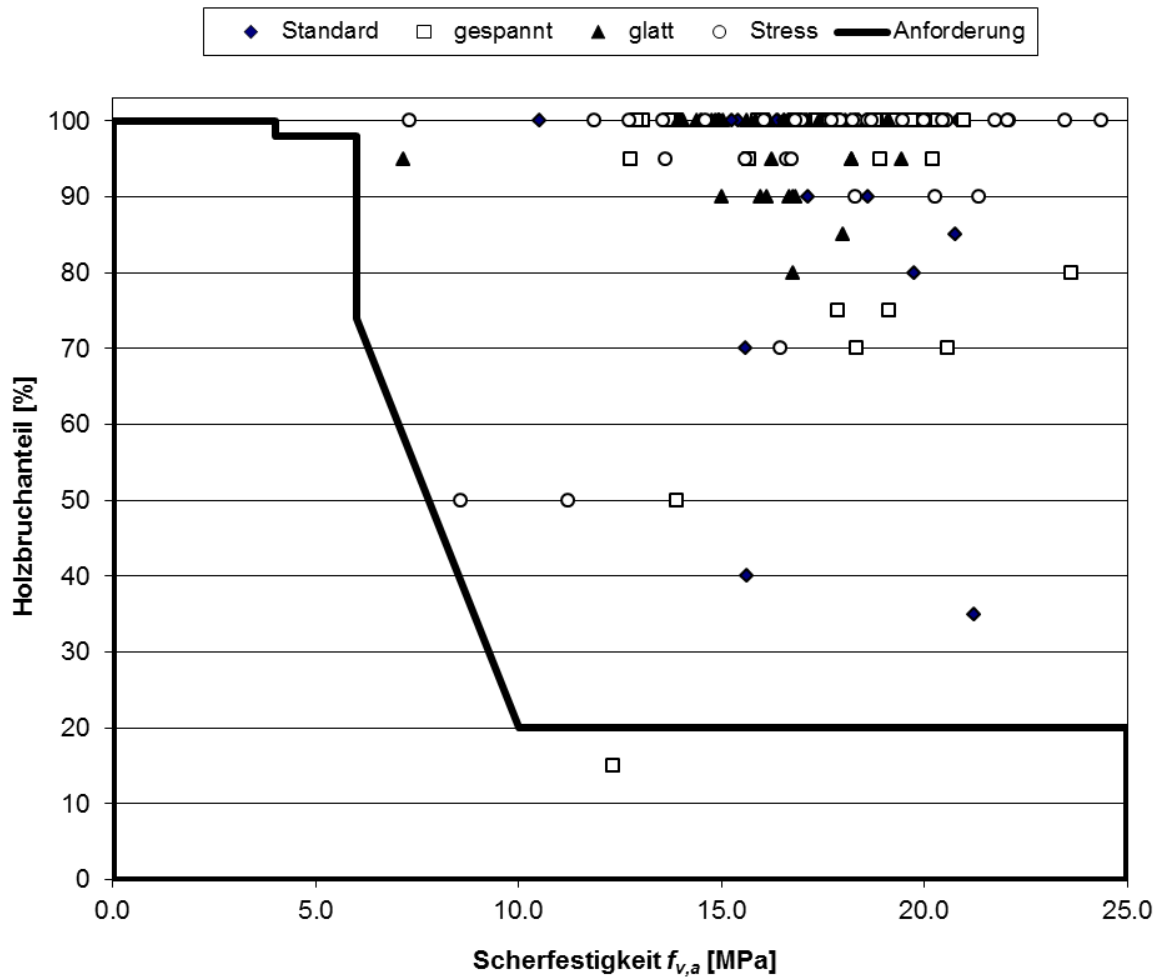


Abbildung 6.2: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 2

Tabelle 6.7: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 2

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.
		Mittelwert aus Streifen li + re			Streifen links			Streifen rechts		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
2.1	1	15.2	70		14.9	100		15.6	40	
2.1	2	19.5	93		18.3	100		20.8	85	
2.1	3	18.8	68		16.4	100		21.2	35	
2.1	4	19.6	100		18.7	100		20.5	100	
2.1	5	16.9	100		17.3	100		16.5	100	
2.1	6	17.6	95		18.1	100		17.2	90	
2.1	7	20.0	100		20.8	100		19.2	100	
2.1	8	18.0	95		17.4	100		18.6	90	
2.1	9	14.7	100		13.9	100		15.4	100	
2.1	10	20.2	90		19.8	80		20.6	100	
2.1	11	18.6	100		17.1	100		20.2	100	
2.1	12	16.1	100		15.0	100		17.3	100	
2.1	13	13.1	85		15.6	70		10.5	100	Mark
2.1	14	18.8	100		17.8	100		19.7	100	
2.1	15	17.9	100		15.0	100		20.9	100	
2.1	16	16.2	100		17.1	100		15.3	100	
2.1	17	17.1	100		16.4	100		17.8	100	
2.1	18	17.2	100		15.9	100		18.4	100	
2.1	19	19.7	100		19.2	100	Ast	20.1	100	
n <sub>Fuge</sub> / n		19			19			19		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>17.7</b>	<b>94</b>		<b>17.1</b>	<b>97</b>		<b>18.2</b>	<b>92</b>	
Standardabw.		1.92	10		1.83	8.1		2.71	19.6	
Variationsk.		11%	11%		11%	8%		15%	21%	
Minimalwert		13.1	68		13.9	70		10.5	35	
Maximalwert		20.2	100		20.8	100		21.2	100	
2.2	1	13.1	33		13.9	50		12.3	15	
2.2	2	19.2	88		19.2	100		19.2	75	
2.2	3	18.7	85		16.8	100		20.6	70	
2.2	4	19.8	100		19.6	100		20.0	100	
2.2	5	17.5	100		17.5	100		17.4	100	
2.2	6	17.4	88		17.9	75		16.8	100	
2.2	7	19.5	98		20.2	95		18.8	100	
2.2	8	17.4	100		18.7	100		16.0	100	
2.2	9	14.9	100		13.9	100		15.9	100	
2.2	10	18.7	85		19.1	100		18.3	70	
2.2	11	17.8	98		15.7	95		19.8	100	
2.2	12	15.0	100		13.1	100		16.8	100	
2.2	13	15.3	100		17.7	100		12.9	100	
2.2	14	16.6	98		12.8	95		20.3	100	
2.2	15	20.0	98		18.9	95		21.0	100	
2.2	16	15.8	100		17.8	100		13.7	100	
2.2	17	18.1	100		17.3	100		18.8	100	
2.2	18	19.5	100		19.3	100		19.7	100	
2.2	19	20.5	90		23.6	80		17.4	100	
n <sub>Fuge</sub> / n		19			19			19		
n ungenügend		0			0			1		
<b>Mittelwert</b>		<b>17.7</b>	<b>93</b>		<b>17.5</b>	<b>94</b>		<b>17.7</b>	<b>91</b>	
Standardabw.		2.02	16		2.73	12.8		2.58	21.3	
Variationsk.		11%	17%		16%	14%		15%	23%	
Minimalwert		13.1	33		12.8	50		12.3	15	
Maximalwert		20.5	100		23.6	100		21.0	100	

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.
		Mittelwert aus Streifen li + re			Streifen links			Streifen rechts		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
2.3G	1	16.3	95		16.7	100		16.0	90	
2.3G	2	17.1	90		18.0	85		16.3	95	
2.3G	3	17.3	100		17.1	100		17.5	100	
2.3G	4	17.6	100		17.4	100		17.7	100	
2.3G	5	15.7	100		16.6	100		14.9	100	
2.3G	6	16.6	95		18.2	100		15.0	90	
2.3G	7	19.3	98		19.1	100		19.4	95	
2.3G	8	16.9	100		16.2	100		17.6	100	
2.3G	9	14.5	100		14.4	100		14.5	100	
2.3G	10	18.3	98		18.4	100		18.2	95	
2.3G	11	16.2	100		14.5	100		17.9	100	
2.3G	12	14.9	100		15.8	100		14.0	100	
2.3G	13	11.1	98		15.0	100		7.2	95	
2.3G	14	15.4	90		13.9	100		16.8	80	
2.3G	15	16.5	90		16.8	90		16.1	90	
2.3G	16	14.4	100		14.0	100		14.8	100	
2.3G	17	16.2	95		16.8	90		15.6	100	
2.3G	18	18.1	100		17.1	100		19.1	100	
2.3G	19	17.4	93		18.2	95		16.7	90	
n <sub>Fuge</sub> / n		19			19			19		
n ungenügend		0			2			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>16.4</b>	<b>97</b>		<b>16.5</b>	<b>98</b>		<b>16.1</b>	<b>96</b>	
Standardabw.		1.85	4		1.57	4.5		2.66	5.6	
Variationsk.		11%	4%		9%	5%		17%	6%	
Minimalwert		11.1	90		13.9	85		7.2	80	
Maximalwert		19.3	100		19.1	100		19.4	100	
2.4	1	21.2	100		21.8	100		20.5	100	
2.4	2	21.9	100		24.4	100		19.5	100	
2.4	3	18.8	100		20.0	100		17.7	100	
2.4	4	18.0	100		17.8	100		18.2	100	
2.4	5	17.8	100		17.7	100		17.9	100	
2.4	6	10.5	98		7.3	100		13.6	95	
2.4	7	16.6	83		16.5	70		16.7	95	
2.4	8	14.1	100		14.6	100		13.6	100	
2.4	9	13.2	75		8.6	50		17.7	100	
2.4	10	19.9	100		17.7	100		22.1	100	
2.4	11	19.4	100		18.3	100		20.5	100	
2.4	12	14.2	98		16.6	95		11.9	100	
2.4	13	16.3	98		16.9	100		15.6	95	
2.4	14	19.5	100		22.1	100		17.0	100	
2.4	15	18.2	95		16.1	100		20.3	90	
2.4	16	14.8	100		12.7	100		16.8	100	
2.4	17	18.7	100		18.6	100		18.7	100	
2.4	18	14.8	70		11.2	50	Ast	18.3	90	
2.4	19	22.4	95		21.3	90		23.5	100	
n <sub>Fuge</sub> / n		19			19			19		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>17.5</b>	<b>95</b>		<b>16.9</b>	<b>92</b>		<b>17.9</b>	<b>98</b>	
Standardabw.		3.12	9		4.47	16.5		2.92	3.4	
Variationsk.		18%	9%		27%	18%		16%	3%	
Minimalwert		10.5	70		7.3	50		11.9	90	
Maximalwert		22.4	100		24.4	100		23.5	100	

### 6.3.3 Versuchsergebnisse Serie 3

**Holzart:** Lärche

**Klebstoff: MUF**

**Hersteller: B**

**Scherfläche (L x B):** 45 mm x 50 mm

## Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.3 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.8 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

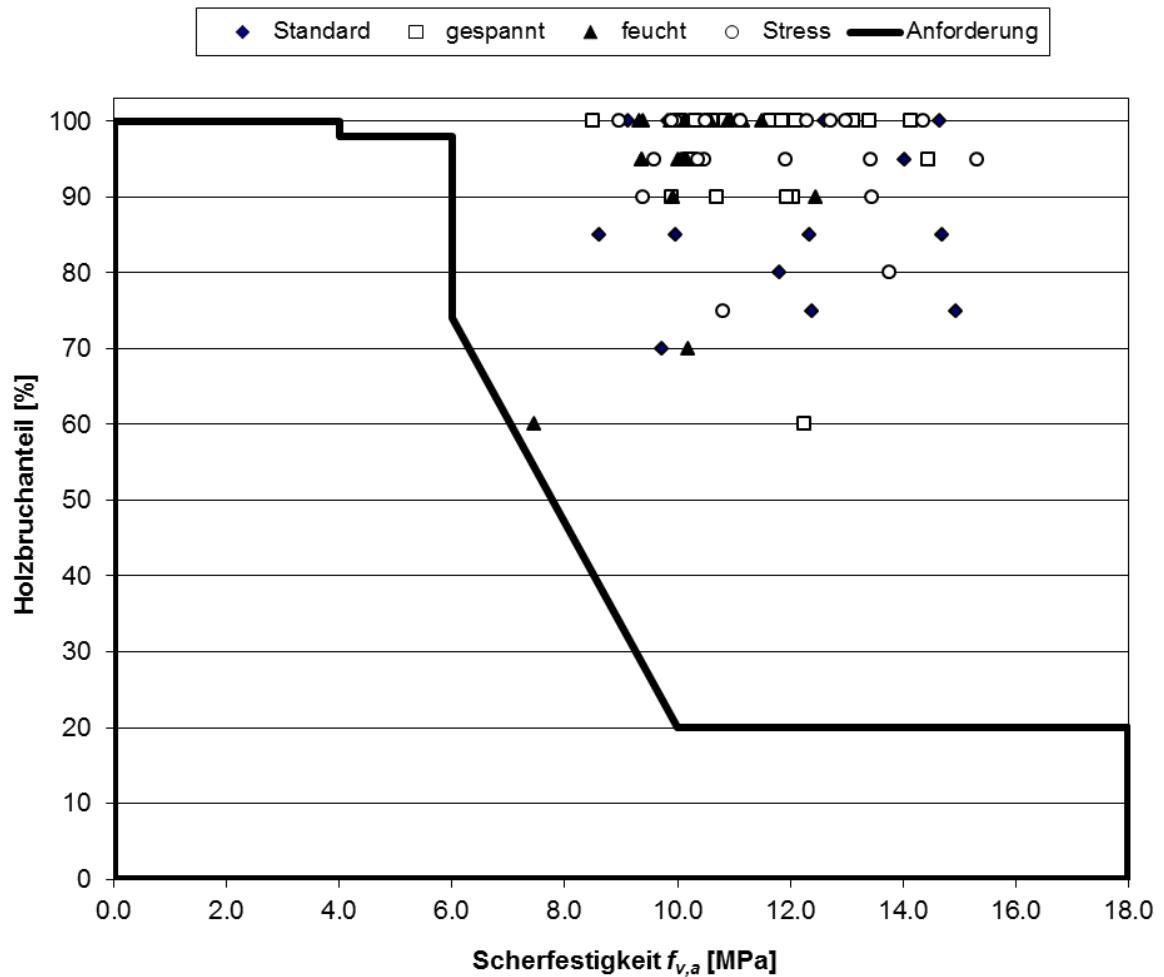


Abbildung 6.3: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 3

Tabelle 6.8: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 3

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$		Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$		Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$		Faserbelag	Bem.						
		Mittelwert aus Streifen li + re				Streifen links				Streifen rechts									
		[MPa]	[%]							[MPa]	[%]					[MPa]	[%]		
3.1	1	14.4	93			14.7	85	Ast		14.2	100								
3.1	2	10.3	93			10.7	100			10.0	85								
3.1	3	12.2	100			12.6	100			11.8	100								
3.1	4	13.8	100			13.0	100			14.7	100								
3.1	5	11.3	93			10.3	100			12.3	85								
3.1	6	14.5	85			14.0	95			14.9	75	Ast							
3.1	7	10.4	85			11.1	100			9.7	70								
3.1	8	10.5	80			12.4	75	Ast		8.6	85	Ast							
3.1	9	9.5	100			9.1	100			9.8	100								
3.1	10	11.5	90			11.8	80			11.1	100								
$n_{\text{Fuge}} / n$		10				10				10									
n ungenügend		0				0				0									
Mittelwert		11.7	92			12.0	94			11.7	90								
Standardabw.		1.82	7			1.72	9.7			2.27	11.5								
Variationsk.		16%	8%			14%	10%			19%	13%								
Minimalwert		9.5	80			9.1	75			8.6	70								
Maximalwert		14.5	100			14.7	100			14.9	100								
3.2	1	11.9	100			11.8	100			12.1	100								
3.2	2	10.7	100			10.6	100			10.9	100								
3.2	3	10.3	98			10.2	95			10.3	100								
3.2	4	12.1	100			10.0	100			14.1	100								
3.2	5	12.8	80			13.4	100			12.3	60								
3.2	6	11.0	90			9.9	90			12.0	90								
3.2	7	12.5	100			13.1	100			11.9	100								
3.2	8	11.2	95			11.7	100	Riss		10.7	90								
3.2	9	10.2	95			8.5	100			12.0	90								
3.2	10	12.5	98			14.5	95			10.6	100								
$n_{\text{Fuge}} / n$		10				10				10									
n ungenügend		0				0				0									
Mittelwert		11.4	96			11.4	98			11.7	93								
Standardabw.		1.03	6			1.86	3.5			1.13	12.5								
Variationsk.		9%	7%			16%	4%			10%	13%								
Minimalwert		10.2	80			8.5	90			10.3	60								
Maximalwert		12.8	100			14.5	100			14.1	100								
3.3	1	10.3	95			10.6	100			9.9	90	Ast							
3.3	2	10.3	95			10.4	95			10.2	95								
3.3	3	9.9	100			9.9	100			10.0	100								
3.3	4	11.3	80			10.2	70			12.5	90								
3.3	5	10.0	95			10.1	95			10.0	95								
3.3	6	11.0	100			10.9	100			11.2	100								
3.3	7	9.4	98			9.4	95			9.4	100								
3.3	8	8.8	78			7.5	60			10.1	95								
3.3	9	10.8	100			10.1	100			11.5	100								
3.3	10	9.3	98			9.4	95			9.3	100								
$n_{\text{Fuge}} / n$		10				10				10									
n ungenügend		0				0				0									
Mittelwert		10.1	94			9.8	91			10.4	97								
Standardabw.		0.76	8			0.96	14.1			1.00	4.1								
Variationsk.		8%	9%			10%	15%			10%	4%								
Minimalwert		8.8	78			7.5	60			9.3	90								
Maximalwert		11.3	100			10.9	100			12.5	100								
3.4	1	9.7	95			10.0	100			9.4	90								
3.4	2	10.5	100					Ast		10.5	100								
3.4	3	10.4	88			10.8	75			9.9	100								
3.4	4	11.3	98			9.6	95			13.0	100								
3.4	5	12.0	95			10.5	95			13.4	95								
3.4	6	13.9	95			13.4	90			14.4	100								
3.4	7	12.5	100			12.7	100			12.3	100								
3.4	8	12.1	88			10.4	95			13.8	80								
3.4	9	13.6	95			15.3	95			11.9	95								
3.4	10	10.0	100			9.0	100	Ast		11.1	100								
$n_{\text{Fuge}} / n$		10				9				10									
n ungenügend		0				0				0									
Mittelwert		11.4	95			11.3	94			12.0	96								
Standardabw.		1.48	5			2.08	7.8			1.70	6.6								
Variationsk.		13%	5%			18%	8%			14%	7%								
Minimalwert		9.7	88			9.0	75			9.4	80								
Maximalwert		13.9	100			15.3	100			14.4	100								

### 6.3.4 Versuchsergebnisse Serie 4

Holzart: Esche

Klebstoff: MUF

Hersteller: B

Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.4 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.9 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

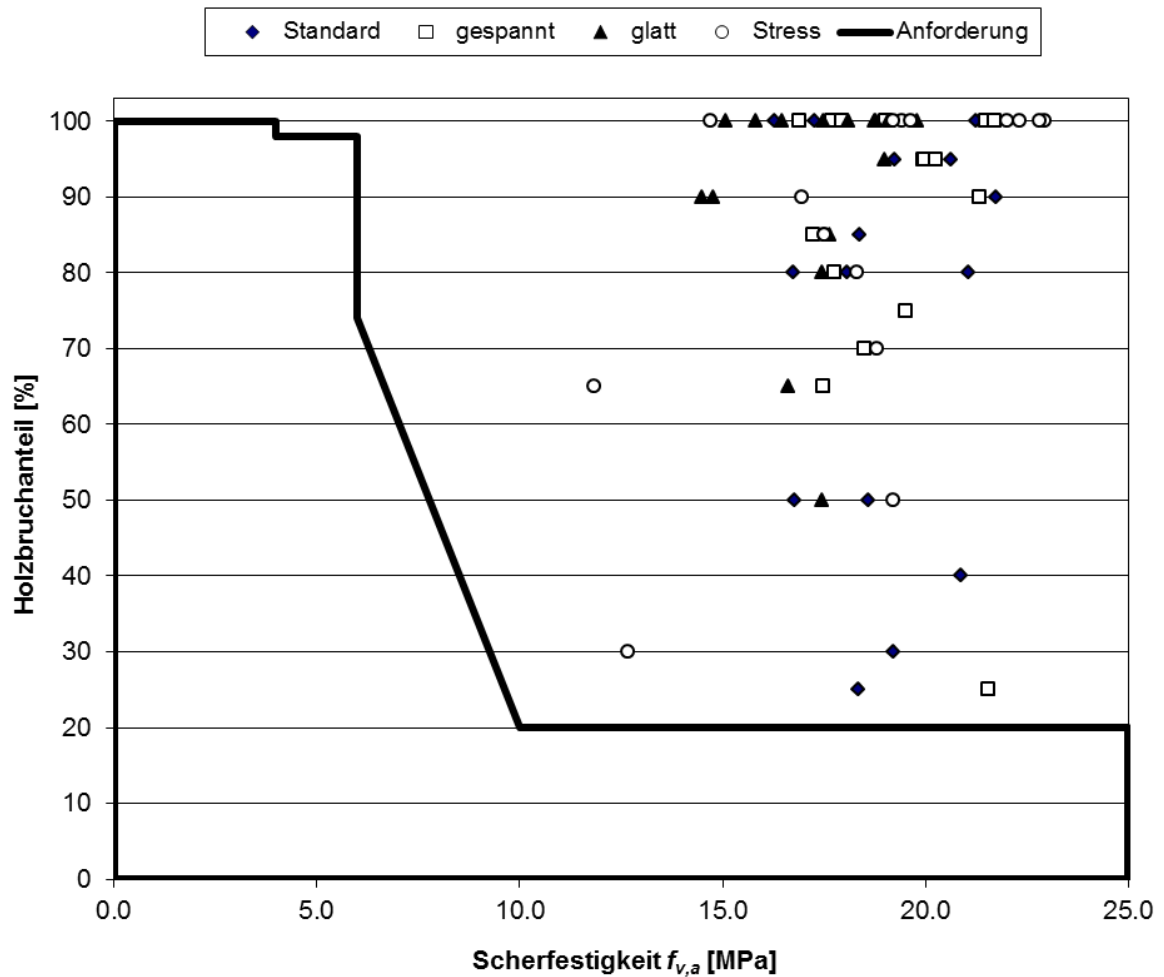


Abbildung 6.4: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 4

Tabelle 6.9: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 4

Serie	Fuge	Festigkeit f <sub>v,a</sub>		Faserbelag	Bem.	Festigkeit f <sub>v,a</sub>		Faserbelag	Bem.	Festigkeit f <sub>v,a</sub>		Faserbelag	Bem.						
		Mittelwert aus Streifen li + re				Streifen links				Streifen rechts									
		[MPa]	[%]							[MPa]	[%]					[MPa]	[%]		
4.1	1	18.9	98			17.3	100			20.6	95								
4.1	2	19.8	93			21.2	100			18.4	85								
4.1	3	19.2	75			21.6	100			16.8	50								
4.1	4	19.6	33			20.9	40			18.3	25								
4.1	5	18.9	73			18.6	50			19.2	95								
4.1	6	21.4	85			21.0	80			21.7	90								
4.1	7	18.0	55			16.7	80			19.2	30								
4.1	8	17.2	90			16.3	100			18.1	80								
n <sub>Fuge</sub> / n		8				8				8									
n ungenügend		0				0				0									
Mittelwert		17.9	75			19.2	81			19.0	69								
Standardabw.		3.89	22			2.23	24.2			1.55	29.2								
Variationsk.		22%	29%			12%	30%			8%	43%								
Minimalwert		17.2	33			16.3	40			16.8	25								
Maximalwert		21.4	98			21.6	100			21.7	95								
4.2	1	19.7	100			21.5	100			17.9	100								
4.2	2	19.7	100			17.7	100			21.7	100								
4.2	3	19.7	85			19.5	75			20.0	95								
4.2	4	20.0	48			18.5	70			21.5	25								
4.2	5	17.6	73			17.8	80			17.5	65								
4.2	6	20.8	93			21.3	90			20.3	95								
4.2	7	18.6	90			19.9	95			17.2	85								
4.2	8	18.0	100			19.0	100			16.9	100								
n <sub>Fuge</sub> / n		8				8				8									
n ungenügend		0				0				0									
Mittelwert		18.0	86			19.4	89			19.1	83								
Standardabw.		3.89	18			1.46	12.2			1.97	26.3								
Variationsk.		22%	21%			8%	14%			10%	32%								
Minimalwert		17.6	48			17.7	70			16.9	25								
Maximalwert		20.8	100			21.5	100			21.7	100								
4.3G	1	19.3	100			19.8	100			18.8	100								
4.3G	2	18.9	100			18.8	100			19.1	100								
4.3G	3	17.8	90			18.1	100			17.5	80								
4.3G	4	17.0	58			16.6	65			17.4	50								
4.3G	5	14.6	90			14.8	90			14.5	90								
4.3G	6	18.2	98			19.0	95			17.5	100								
4.3G	7	15.8	100			16.5	100			15.1	100								
4.3G	8	16.7	93			17.6	85			15.8	100								
n <sub>Fuge</sub> / n		8				8				8									
n ungenügend		0				0				0									
Mittelwert		16.3	91			17.6	92			16.9	90								
Standardabw.		3.43	14			1.63	12.2			1.67	17.7								
Variationsk.		21%	16%			9%	13%			10%	20%								
Minimalwert		14.6	58			14.8	65			14.5	50								
Maximalwert		19.3	100			19.8	100			19.1	100								
4.4	1	22.9	100			22.9	100			22.8	100								
4.4	2	22.2	100			22.3	100			22.0	100								
4.4	3	19.3	100			19.4	100			19.2	100								
4.4	4	15.9	40			12.7	30			19.2	50								
4.4	5	15.8	95			17.0	90			14.7	100								
4.4	6	18.2	78			17.5	85			18.8	70								
4.4	7	18.6	93			19.6	100			17.5	85								
4.4	8	15.1	73			11.8	65			18.3	80								
n <sub>Fuge</sub> / n		8				8				8									
n ungenügend		0				0				0									
Mittelwert		17.3	85			17.9	84			19.1	86								
Standardabw.		4.42	21			4.06	24.9			2.53	18.4								
Variationsk.		26%	25%			23%	30%			13%	21%								
Minimalwert		15.1	40			11.8	30			14.7	50								
Maximalwert		22.9	100			22.9	100			22.8	100								

### 6.3.5 Versuchsergebnisse Serie 5

Holzart: Esche - Fichte    Klebstoff: MUF    Hersteller: B    Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.5 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.10 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

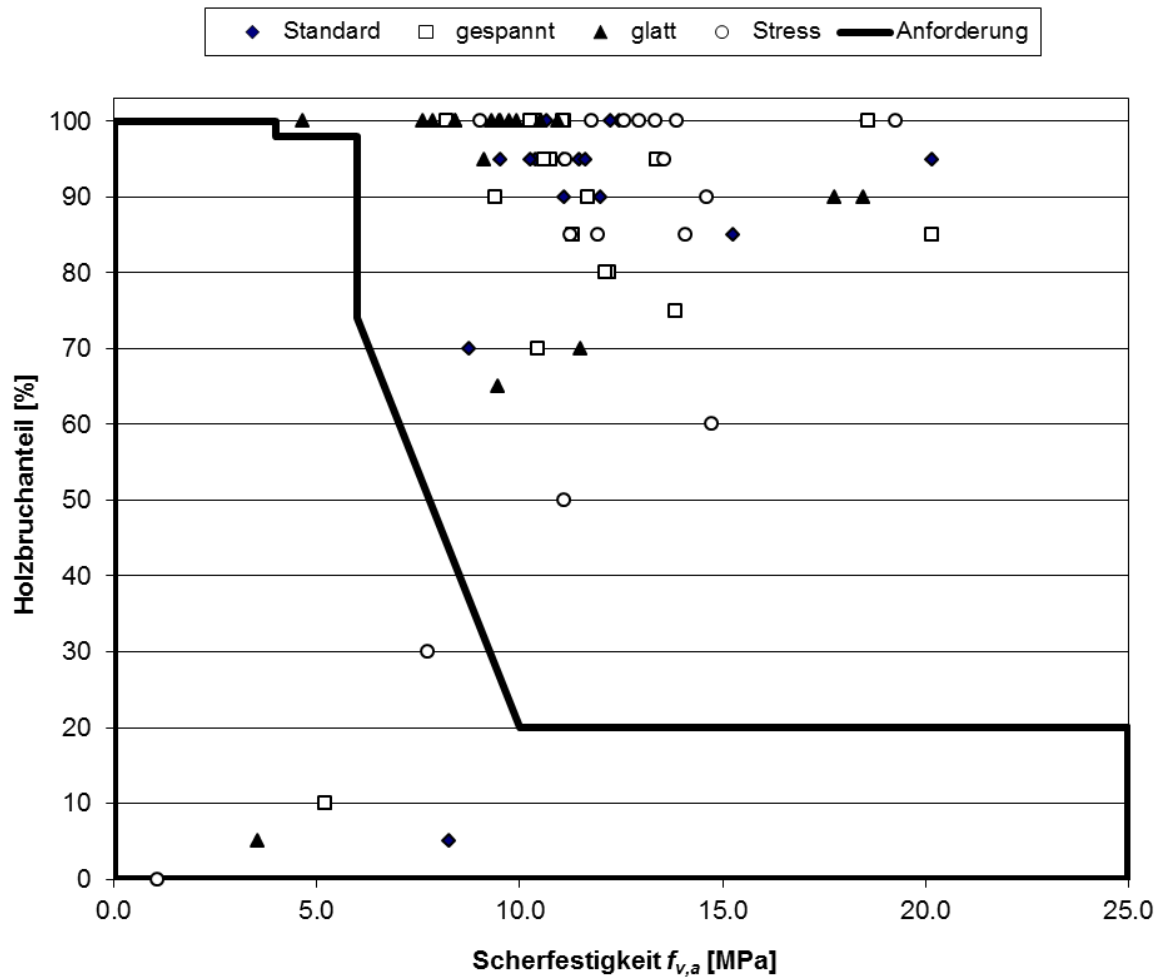


Abbildung 6.5: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 5

Tabelle 6.10: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 5

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$		Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$		Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$		Faserbelag	Bem.									
		Mittelwert aus Streifen li + re					Streifen links							Streifen rechts								
		[MPa]	[%]			[MPa]	[%]				[MPa]			[%]		[MPa]	[%]					
5.1	1	19.4	98			18.6	100			20.2	95											
5.1	2	10.4	95					Ast		10.4	95											
5.1	3	11.3	95			11.1	95			11.5	95											
5.1	4	10.4	98			10.5	100			10.3	95											
5.1	5	11.4	93			11.1	90			11.6	95											
5.1	6	11.6	100			10.7	100			12.4	100											
5.1	7	10.5	85			8.7	70			12.2	100											
5.1	8	10.7	93			9.5	95			12.0	90											
5.1	9	11.8	45			15.3	85			8.3	5 dünn											
n <sub>Fuge</sub> / n		9				8				9												
n ungenügend		0				0				1												
Mittelwert		11.6	89			11.9	92			12.1	86											
Standardabw.		2.83	17			3.30	10.3			3.29	30.4											
Variationsk.		24%	19%			28%	11%			27%	35%											
Minimalwert		10.4	45			8.7	70			8.3	5											
Maximalwert		19.4	100			18.6	100			20.2	100											
5.2	1	19.4	93			18.6	100			20.2	85											
5.2	2	10.2	90			8.2	100			12.2	80											
5.2	3	10.9	93			10.4	100			11.3	85											
5.2	4	11.0	95			10.3	100			11.7	90											
5.2	5	11.6	90			11.1	100			12.1	80											
5.2	6	11.9	83			10.5	70			13.4	95											
5.2	7	10.9	98			11.1	100			10.8	95											
5.2	8	10.0	93			9.4	90			10.6	95											
5.2	9	9.5	43			13.8	75			5.2	10 dünn											
n <sub>Fuge</sub> / n		9				9				9												
n ungenügend		0				0				1												
Mittelwert		11.4	86			11.5	93			11.9	79											
Standardabw.		2.93	17			3.07	12.0			3.85	26.7											
Variationsk.		26%	20%			27%	13%			32%	34%											
Minimalwert		9.5	43			8.2	70			5.2	10											
Maximalwert		19.4	98			18.6	100			20.2	95											
5.3G	1	18.1	90			18.5	90			17.8	90											
5.3G	2	10.3	100			9.7	100			10.9	100											
5.3G	3	9.3	98			9.5	100			9.1	95											
5.3G	4	8.1	100			7.9	100	Riss		8.4	100											
5.3G	5	9.0	100			9.5	100			8.4	100											
5.3G	6	9.9	100			9.3	100			10.5	100											
5.3G	7	7.3	100			4.7	100			9.9	100											
5.3G	8	8.5	83			7.6	100			9.5	65											
5.3G	9	7.5	38			11.5	70			3.5	5 dünn											
n <sub>Fuge</sub> / n		9				9				9												
n ungenügend		1				0				1												
Mittelwert		9.7	90			9.8	96			9.8	84											
Standardabw.		3.11	21			3.77	10.1			3.68	31.7											
Variationsk.		32%	23%			38%	11%			38%	38%											
Minimalwert		7.3	38			4.7	70			3.5	5											
Maximalwert		18.1	100			18.5	100			17.8	100											
5.4	1	16.7	93			19.3	100			14.1	85											
5.4	2	11.8	95			9.0	100			14.6	90											
5.4	3	11.1	73			11.1	50			11.1	95											
5.4	4	12.2	93			11.9	85			12.6	100											
5.4	5	11.5	93			11.8	100			11.3	85											
5.4	6	13.1	100			13.0	100			13.3	100											
5.4	7	13.9	100					Ast		13.9	100											
5.4	8	14.1	78			13.6	95			14.7	60											
5.4	9	4.4	15			7.7	30 dünn			1.1	0 dünn											
n <sub>Fuge</sub> / n		9				8				9												
n ungenügend		1				1				1												
Mittelwert		11.8	82			12.2	83			11.9	79											
Standardabw.		3.31	27			3.46	27.3			4.25	32.4											
Variationsk.		28%	33%			28%	33%			36%	41%											
Minimalwert		4.4	15			7.7	30			1.1	0											
Maximalwert		16.7	100			19.3	100			14.7	100											

### 6.3.6 Versuchsergebnisse Serie 6

Holzart: Douglasie      Klebstoff: MUF      Hersteller: D      Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.6 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.11 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

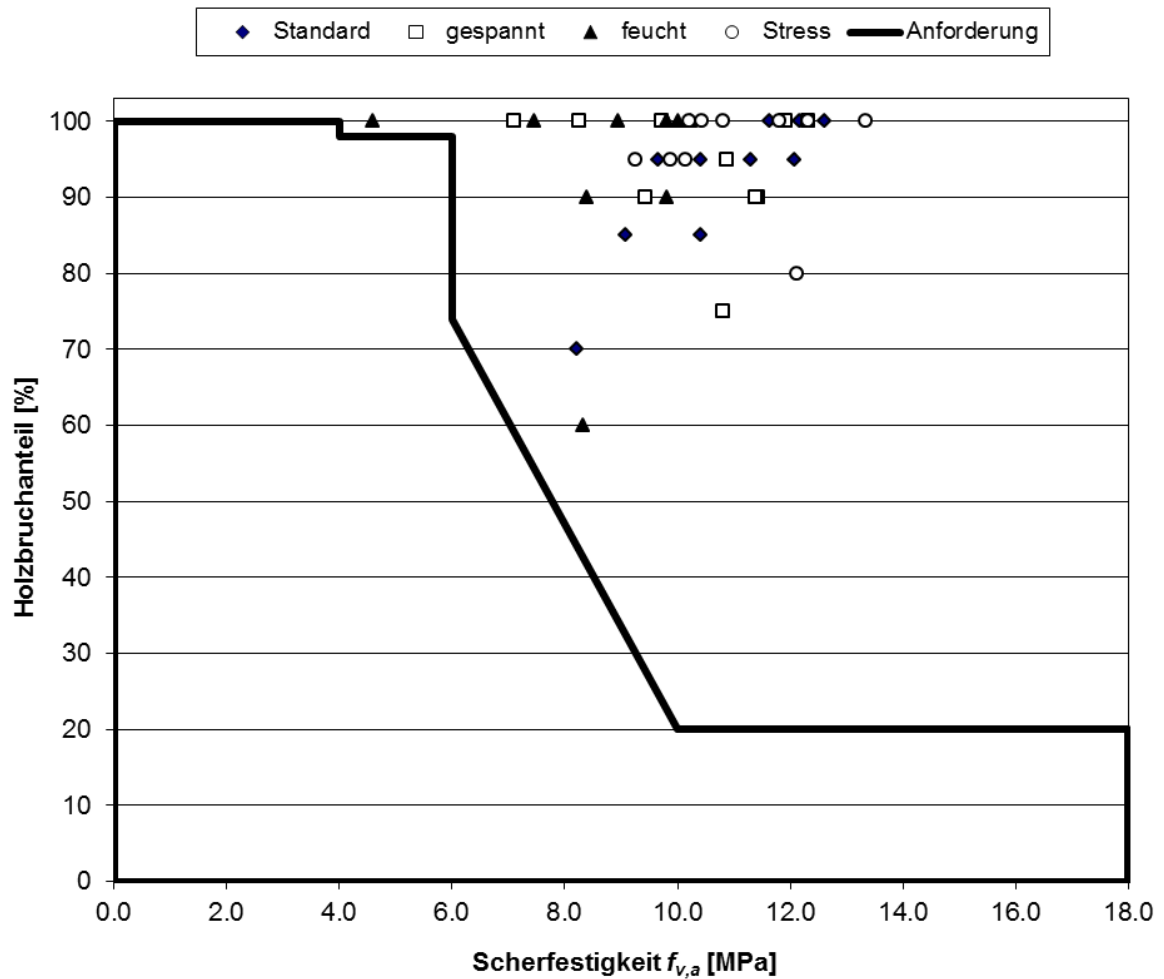


Abbildung 6.6: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 6

Tabelle 6.11: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 6

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.
		Mittelwert aus Streifen li + re			Streifen links			Streifen rechts		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
6.1	1	9.9	85		8.2	70		11.6	100	
6.1	2	10.6	93		9.1	85		12.2	100	
6.1	3	12.3	98		12.6	100		12.1	95	
6.1	4	10.4	90		10.4	95		10.4	85	
6.1	5	10.5	95		11.3	95		9.7	95	
$n_{\text{Fuge}} / n$		5			5			5		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>9.8</b>	<b>92</b>		<b>10.3</b>	<b>89</b>		<b>11.2</b>	<b>95</b>	
Standardabw.		2.49	5		1.74	11.9		1.10	6.1	
Variationsk.		25%	5%		17%	13%		10%	6%	
Minimalwert		9.9	85		8.2	70		9.7	85	
Maximalwert		12.3	98		12.6	100		12.2	100	
6.2	1	11.4	98		10.9	95		11.9	100	
6.2	2	11.9	95		11.4	90		12.3	100	
6.2	3	10.6	95		11.4	90		9.7	100	
6.2	4	8.8	95		9.4	90		8.3	100	
6.2	5	9.0	88		7.1	100		10.8	75	
$n_{\text{Fuge}} / n$		5			5			5		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>9.4</b>	<b>94</b>		<b>10.0</b>	<b>93</b>		<b>10.6</b>	<b>95</b>	
Standardabw.		2.50	4		1.83	4.5		1.66	11.2	
Variationsk.		27%	4%		18%	5%		16%	12%	
Minimalwert		8.8	88		7.1	90		8.3	75	
Maximalwert		11.9	98		11.4	100		12.3	100	
6.3	1	9.8	95		9.8	90		9.8	100	
6.3	2	9.6	100		9.0	100		10.2	100	
6.3	3	9.2	80		10.0	100		8.3	60	
6.3	4	6.5	95		4.6	100		8.4	90	
6.3	5	8.6	100		7.5	100		9.8	100	
$n_{\text{Fuge}} / n$		5			5			5		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>8.1</b>	<b>94</b>		<b>8.2</b>	<b>98</b>		<b>9.3</b>	<b>90</b>	
Standardabw.		1.94	8		2.23	4.5		0.89	17.3	
Variationsk.		24%	9%		27%	5%		10%	19%	
Minimalwert		6.5	80		4.6	90		8.3	60	
Maximalwert		9.8	100		10.0	100		10.2	100	
6.4	1	11.0	98		10.2	95		11.8	100	
6.4	2	11.4	100		10.4	100		12.3	100	
6.4	3	12.7	90		12.1	80		13.3	100	
6.4	4	10.0	98		10.2	100		9.9	95	
6.4	5	10.0	98		10.8	100		9.3	95	
$n_{\text{Fuge}} / n$		5			5			5		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>10.0</b>	<b>97</b>		<b>10.7</b>	<b>95</b>		<b>11.3</b>	<b>98</b>	
Standardabw.		2.66	4		0.81	8.7		1.71	2.7	
Variationsk.		27%	4%		8%	9%		15%	3%	
Minimalwert		10.0	90		10.2	80		9.3	95	
Maximalwert		12.7	100		12.1	100		13.3	100	

### 6.3.7 Versuchsergebnisse Serie 7

Holzart: Lärche

Klebstoff: MUF

Hersteller: D

Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.7 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.12 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

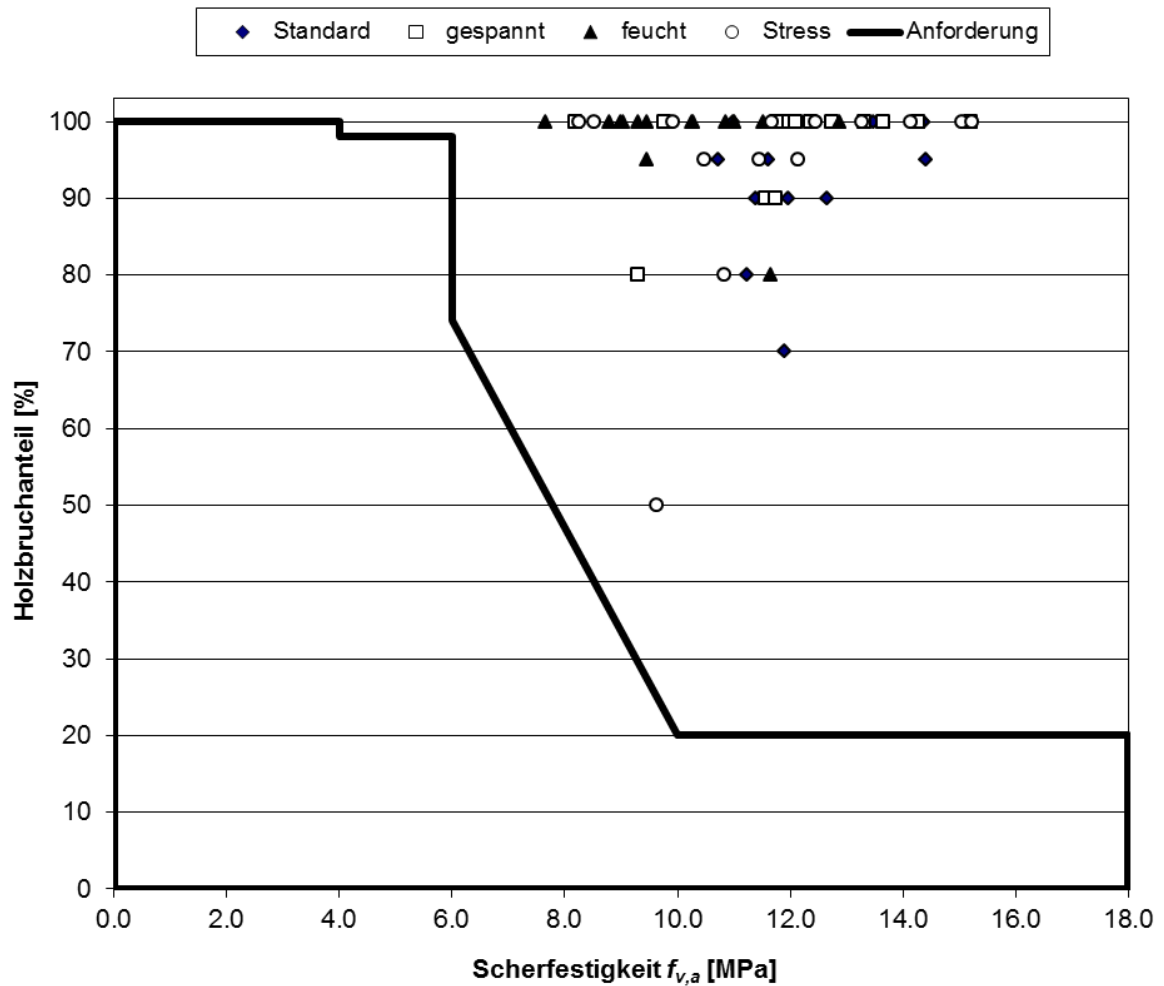


Tabelle 6.12: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 7

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.			
		Mittelwert aus Streifen li + re			Streifen links			Streifen rechts					
		[MPa]	[%]			[MPa]		[%]			[MPa]	[%]	
7.1	1	13.5	95		12.6	90		14.4	100				
7.1	2	12.9	100		12.3	100		13.5	100				
7.1	3	11.4	88		11.2	80		11.6	95				
7.1	4	14.4	98		14.4	95		14.4	100				
7.1	5	11.3	93		10.7	95		12.0	90				
7.1	6	11.9	70				Ast	11.9	70				
7.1	7	11.2	95		11.4	90	Ast	11.0	100				
$n_{\text{Fuge}} / n$		7			6			7					
n ungenügend		0			0			0					
Mittelwert		11.7	91		12.1	92		12.7	94				
Standardabw.		2.22	10		1.32	6.8		1.38	11.1				
Variationsk.		19%	11%		11%	7%		11%	12%				
Minimalwert		11.2	70		10.7	80		11.0	70				
Maximalwert		14.4	100		14.4	100		14.4	100				
7.2	1	12.7	100		12.1	100.00		13.3	100				
7.2	2	14.0	100		15.2	100		12.7	100				
7.2	3	10.4	85		9.3	80		11.6	90				
7.2	4	14.0	100		13.6	100		14.3	100				
7.2	5	10.0	100		11.9	100		8.2	100				
7.2	6	12.1	100		12.4	100		11.8	100				
7.2	7	10.8	95		9.8	100		11.7	90				
$n_{\text{Fuge}} / n$		7			7			7					
n ungenügend		0			0			0					
Mittelwert		11.4	97		12.0	97		11.9	97				
Standardabw.		2.33	6		2.06	7.6		1.93	4.9				
Variationsk.		20%	6%		17%	8%		16%	5%				
Minimalwert		10.0	85		9.3	80		8.2	90				
Maximalwert		14.0	100		15.2	100		14.3	100				
7.3	1	10.2	100		9.5	100		10.9	100				
7.3	2	10.0	100		11.0	100		9.0	100				
7.3	3	10.3	100		10.3	100		10.3	100				
7.3	4	12.3	90		11.7	80		12.9	100				
7.3	5	8.3	100		7.7	100		9.0	100				
7.3	6	10.4	100		11.5	100		9.3	100				
7.3	7	9.1	98		9.5	95		8.8	100				
$n_{\text{Fuge}} / n$		7			7			7					
n ungenügend		0			0			0					
Mittelwert		9.7	98		10.1	96		10.0	100				
Standardabw.		1.57	4		1.42	7.5		1.47	0.0				
Variationsk.		16%	4%		14%	8%		15%	0%				
Minimalwert		8.3	90		7.7	80		8.8	100				
Maximalwert		12.3	100		11.7	100		12.9	100				
7.4	1	10.2	98		12.1	95		8.3	100				
7.4	2	12.1	90		13.3	100		10.8	80				
7.4	3	10.1	73		9.6	50		10.5	95				
7.4	4	15.1	100		15.1	100		15.2	100				
7.4	5	10.8	100		9.9	100		11.7	100	Ast			
7.4	6	12.8	98		11.5	95	Ast	14.1	100	Ast			
7.4	7	10.5	100		8.5	100		12.4	100				
$n_{\text{Fuge}} / n$		7			7			7					
n ungenügend		0			0			0					
Mittelwert		11.1	94		11.4	91		11.9	96				
Standardabw.		2.37	10		2.27	18.4		2.34	7.5				
Variationsk.		21%	11%		20%	20%		20%	8%				
Minimalwert		10.1	73		8.5	50		8.3	80				
Maximalwert		15.1	100		15.1	100		15.2	100				

### 6.3.8 Versuchsergebnisse Serie 8

Holzart: Seekiefer      Klebstoff: MUF      Hersteller: D      Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.8 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.13 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

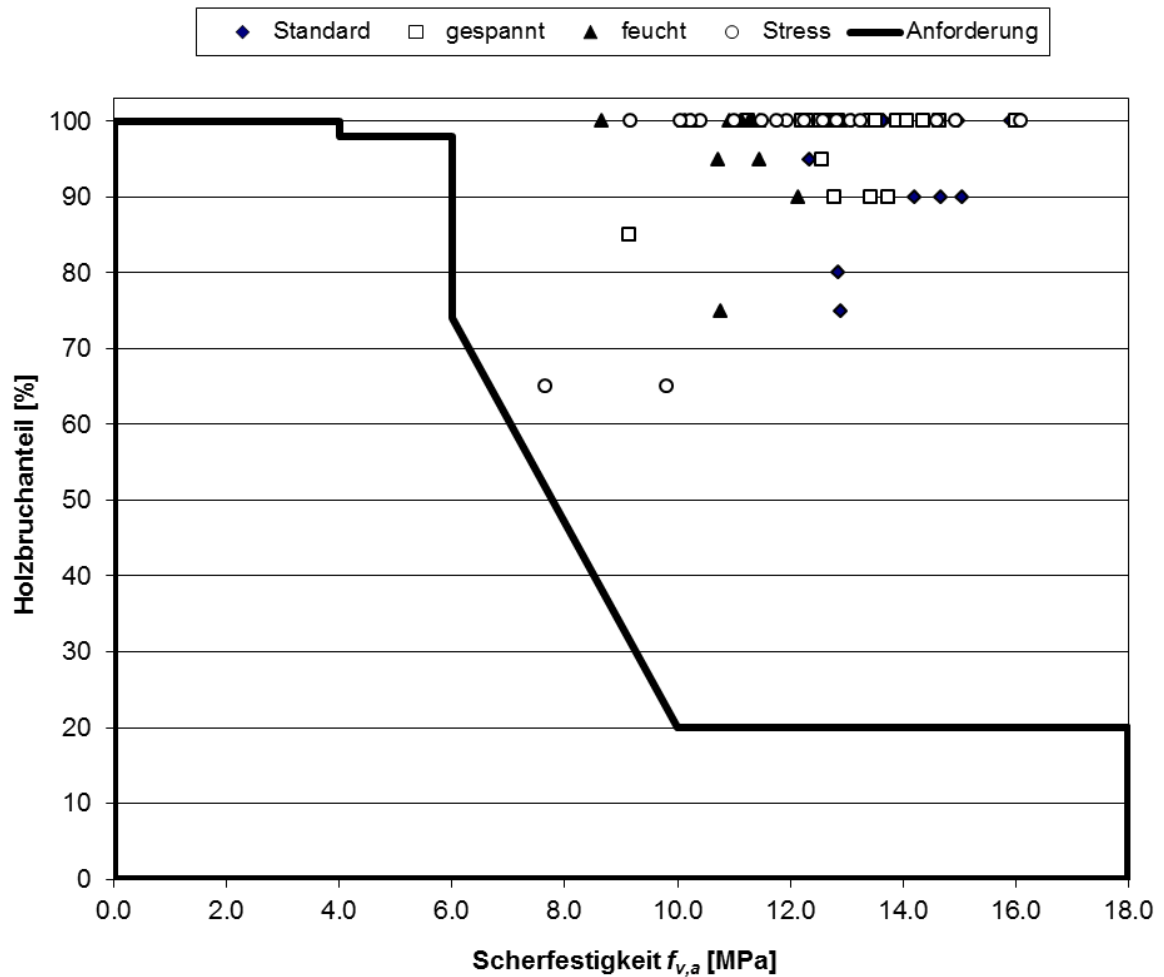


Abbildung 6.8: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 8

Tabelle 6.13: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 8

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$		Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$		Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$		Faserbelag	Bem.						
		Mittelwert aus Streifen li + re				Streifen links				Streifen rechts									
		[MPa]	[%]							[MPa]	[%]					[MPa]	[%]		
8.1	1	12.4	100			11.2	100			13.7	100								
8.1	2	14.3	100			13.7	100			15.0	100								
8.1	3	15.5	95			15.0	90			15.9	100								
8.1	4	13.5	93			12.4	95			14.7	90								
8.1	5	13.1	100			12.8	100			13.3	100								
8.1	6	12.8	100			12.5	100			13.1	100								
8.1	7	13.9	88			12.9	75			14.9	100								
8.1	8	13.3	100			12.7	100			13.8	100								
8.1	9	13.5	85			12.9	80			14.2	90								
$n_{\text{Fuge}} / n$		9				9				9									
n ungenügend		0				0				0									
Mittelwert		13.1	96			12.9	93			14.3	98								
Standardabw.		1.68	6			1.03	9.7			0.92	4.4								
Variationsk.		13%	6%			8%	10%			6%	5%								
Minimalwert		12.4	85			11.2	75			13.1	90								
Maximalwert		15.5	100			15.0	100			15.9	100								
8.2	1	12.6	100			11.3	100			13.9	100								
8.2	2	12.8	100			12.2	100			13.4	100								
8.2	3	15.3	100			14.6	100			16.0	100								
8.2	4	11.6	93			9.2	85			14.1	100								
8.2	5	12.6	100			12.5	100			12.7	100								
8.2	6	12.6	100			12.9	100			12.3	100								
8.2	7	13.6	95			12.8	90			14.4	100								
8.2	8	13.6	90			13.4	90			13.7	90								
8.2	9	13.0	98			12.6	95			13.5	100								
$n_{\text{Fuge}} / n$		9				9				9									
n ungenügend		0				0				0									
Mittelwert		12.7	97			12.4	96			13.8	99								
Standardabw.		1.62	4			1.52	5.8			1.06	3.3								
Variationsk.		13%	4%			12%	6%			8%	3%								
Minimalwert		11.6	90			9.2	85			12.3	90								
Maximalwert		15.3	100			14.6	100			16.0	100								
8.3	1	10.6	100			10.1	100			11.1	100								
8.3	2	11.4	100			10.1	100			12.7	100								
8.3	3	12.5	95			12.1	90			12.9	100								
8.3	4	10.8	100			10.3	100			11.3	100								
8.3	5	10.0	100			11.3	100			8.7	100	Ast							
8.3	6	10.8	98			10.9	100			10.7	95								
8.3	7	12.0	100			11.4	100			12.7	100								
8.3	8	11.3	100			11.2	100			11.4	100								
8.3	9	11.1	85			10.8	75			11.5	95								
$n_{\text{Fuge}} / n$		9				9				9									
n ungenügend		0				0				0									
Mittelwert		11.0	98			10.9	96			11.4	99								
Standardabw.		0.99	5			0.67	8.6			1.30	2.2								
Variationsk.		9%	5%			6%	9%			11%	2%								
Minimalwert		10.0	85			10.1	75			8.7	95								
Maximalwert		12.5	100			12.1	100			12.9	100								
8.4	1	11.6	100			10.4	100			12.8	100								
8.4	2	12.1	100			11.0	100			13.2	100								
8.4	3	13.4	100			12.3	100			14.6	100								
8.4	4	11.1	100			10.2	100			11.9	100								
8.4	5	12.4	100			13.1	100			11.8	100								
8.4	6	12.0	100			11.5	100			12.6	100								
8.4	7	8.7	65			7.7	65	Ast		9.8	65	Ast							
8.4	8	15.5	100			14.9	100			16.1	100								
8.4	9	9.6	100			9.2	100			10.1	100								
$n_{\text{Fuge}} / n$		9				9				9									
n ungenügend		0				0				0									
Mittelwert		11.6	96			11.1	96			12.5	96								
Standardabw.		2.08	12			2.15	11.7			2.00	11.7								
Variationsk.		18%	12%			19%	12%			16%	12%								
Minimalwert		8.7	65			7.7	65			9.8	65								
Maximalwert		15.5	100			14.9	100			16.1	100								

### 6.3.9 Versuchsergebnisse Serie 9

Holzart: Fichte      Klebstoff: PUR      Hersteller: E      Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.9 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.14 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

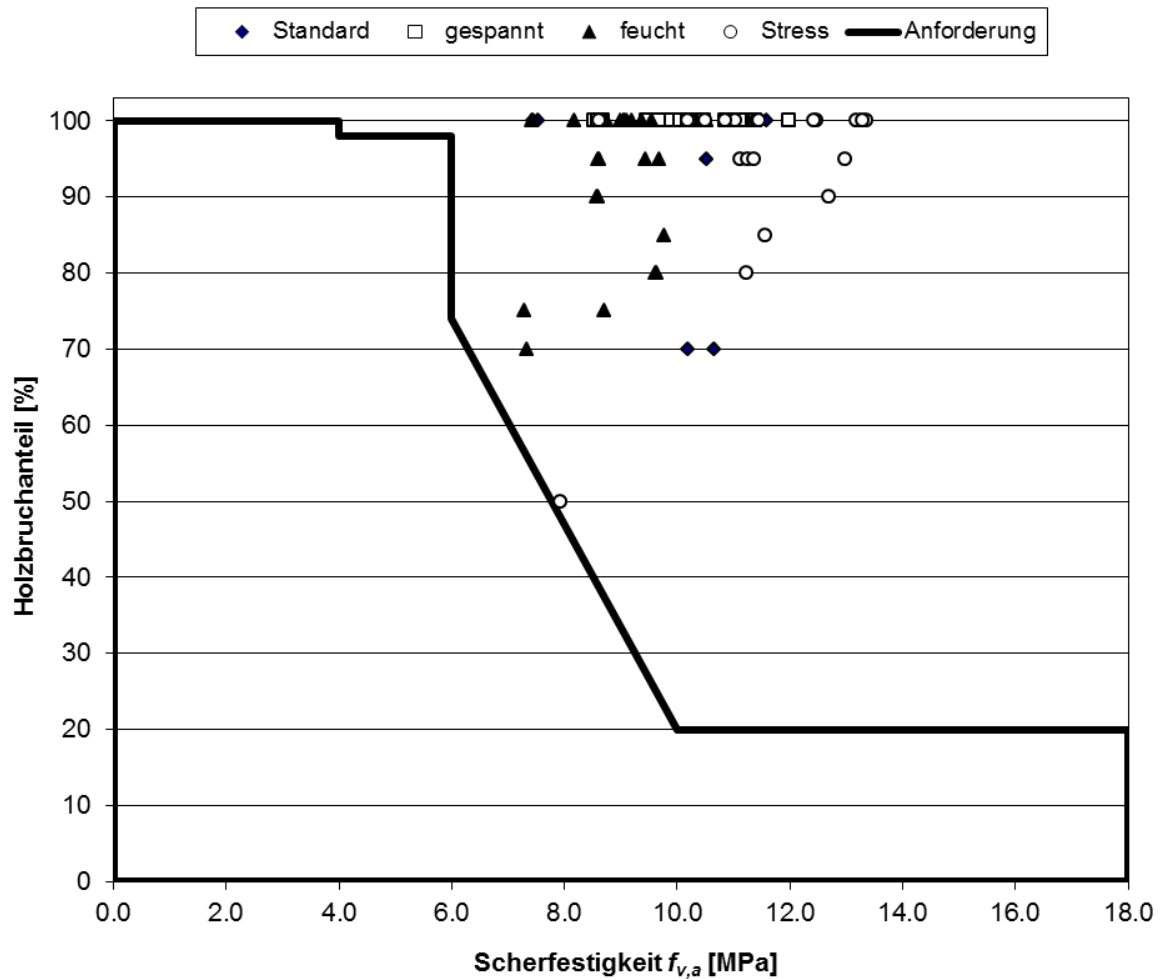


Abbildung 6.9: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 9

Tabelle 6.14: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 9

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$		Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$		Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$		Faserbelag	Bem.			
		Mittelwert aus Streifen li + re				Streifen links				Streifen rechts						
		[MPa]	[%]				[MPa]			[%]				[MPa]	[%]	
9.1	1	10.4	83			10.5	95			10.2	70					
9.1	2	10.4	100			9.7	100			11.1	100					
9.1	3	10.4	100			9.9	100			11.0	100					
9.1	4	9.0	100			7.5	100			10.4	100					
9.1	5	10.3	85			10.7	70			10.0	100					
9.1	6	9.6	100			9.1	100			10.2	100					
9.1	7	10.6	100			11.1	100			10.1	100					
9.1	8	9.9	100			9.6	100			10.3	100					
9.1	9	10.3	100			9.1	100			11.6	100					
9.1	10	8.8	100			10.1	100			7.5	100					
9.1	11	11.5	100			9.6	100			13.3	100					
$n_{Fuge} / n$		11				11				11						
n ungenügend		0				0				0						
Mittelwert		10.2	97			9.7	97			10.5	97					
Standardabw.		0.77	7			0.97	9.0			1.39	9.0					
Variationsk.		8%	7%			10%	9%			13%	9%					
Minimalwert		8.8	83			7.5	70			7.5	70					
Maximalwert		11.5	100			11.1	100			13.3	100					
9.2	1	10.5	100			11.2	100			9.8	100					
9.2	2	10.0	100			8.5	100			11.4	100					
9.2	3	10.2	100			10.0	100			10.4	100					
9.2	4	9.6	100			8.7	100			10.5	100					
9.2	5	9.7	100			9.7	100			9.7	100					
9.2	6	9.1	100			8.6	100			9.7	100					
9.2	7	10.2	100			10.8	100			9.5	100					
9.2	8	10.6	100			10.2	100			10.9	100					
9.2	9	10.3	100			9.5	100			11.1	100					
9.2	10	10.4	100			9.7	100			11.0	100					
9.2	11	10.9	100			9.8	100			12.0	100					
$n_{Fuge} / n$		11				11				11						
n ungenügend		0				0				0						
Mittelwert		10.2	100			9.7	100			10.5	100					
Standardabw.		0.54	0			0.87	0.0			0.81	0.0					
Variationsk.		5%	0%			9%	0%			8%	0%					
Minimalwert		9.1	100			8.5	100			9.5	100					
Maximalwert		10.9	100			11.2	100			12.0	100					
9.3	1	9.1	100			9.1	100			9.2	100					
9.3	2	8.9	100			8.2	100			9.5	100					
9.3	3	9.0	98			8.6	95			9.4	100					
9.3	4	8.1	100			7.4	100			8.8	100					
9.3	5	8.6	93			8.6	90			8.6	95					
9.3	6	9.2	78			8.7	75			9.6	80					
9.3	7	9.7	83			9.6	80			9.8	85					
9.3	8	7.3	73			7.3	70	Ast		7.3	75	Ast				
9.3	9	9.0	93			8.6	90			9.4	95					
9.3	10	10.1	98			9.7	95			10.5	100					
9.3	11	9.6	100			9.0	100			10.3	100					
$n_{Fuge} / n$		11				11				11						
n ungenügend		0				0				0						
Mittelwert		9.1	92			8.6	90			9.3	94					
Standardabw.		0.95	10			0.77	10.8			0.88	9.2					
Variationsk.		10%	11%			9%	12%			9%	10%					
Minimalwert		7.3	73			7.3	70			7.3	75					
Maximalwert		10.1	100			9.7	100			10.5	100					
9.4	1	12.2	98			13.0	95			11.4	100					
9.4	2	12.4	93			11.6	85			13.2	100					
9.4	3	11.0	98			11.1	95			10.9	100					
9.4	4	11.2	100			11.0	100			11.4	100					
9.4	5	9.4	100			8.6	100	Ast		10.2	100					
9.4	6	11.2	88			11.3	95			11.2	80					
9.4	7	12.0	100			12.5	100			11.4	100					
9.4	8	11.9	100			10.5	100			13.4	100					
9.4	9	9.1	75			10.2	100			7.9	50	Ast				
9.4	10	12.6	95			12.7	90			12.4	100					
9.4	11	12.3	98			11.4	95			13.3	100					
$n_{Fuge} / n$		11				11				11						
n ungenügend		0				0				0						
Mittelwert		11.4	95			11.3	96			11.5	94					
Standardabw.		1.13	8			1.23	4.9			1.59	15.7					
Variationsk.		10%	8%			11%	5%			14%	17%					
Minimalwert		9.1	75			8.6	85			7.9	50					
Maximalwert		12.6	100			13.0	100			13.4	100					

### 6.3.10 Versuchsergebnisse Serie 10

Holzart: Esche

Klebstoff: MUF

Hersteller: D

Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.10 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.15 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

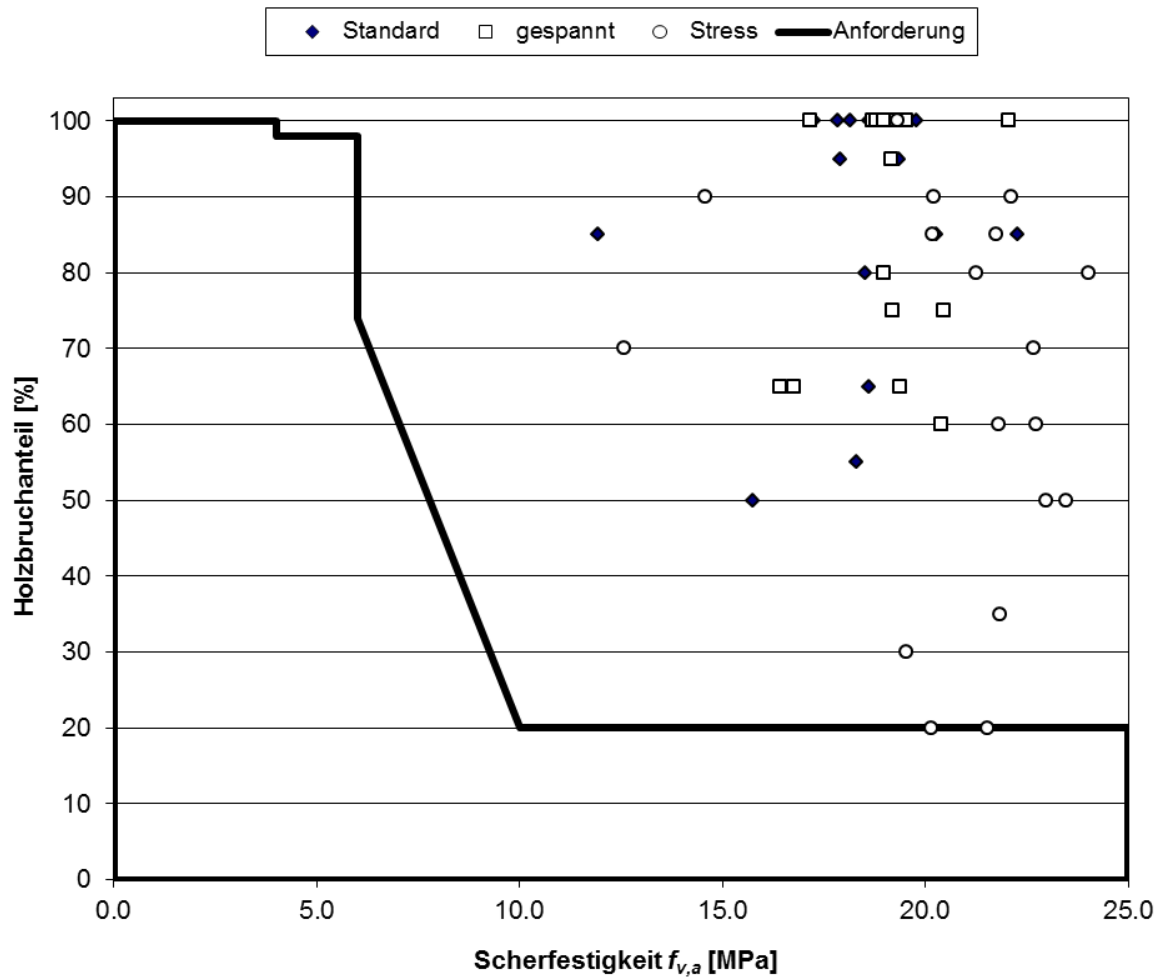


Abbildung 6.10: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 10

Tabelle 6.15: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 10

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$ Faserbelag Bem.			Festigkeit $f_{v,a}$ Faserbelag Bem.			Festigkeit $f_{v,a}$ Faserbelag Bem.		
		Mittelwert aus Streifen li + re			Streifen links			Streifen rechts		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
10.1	1	19.1	93		20.3	85		17.8	100	
10.1	2	19.0	98		19.4	95		18.6	100	
10.1	3	19.0	80				Riss	19.0	80	
10.1	4	18.4	98		17.9	95		18.9	100	
10.1	5	18.5	100		17.3	100		19.8	100	
10.1	6	15.5	93		19.1	100		11.9	85	wenig Klebstoff
10.1	7	18.4	68		18.3	55		18.5	80	
10.1	8	20.5	75		18.6	65		22.3	85	
10.1	9	17.0	75		18.2	100		15.8	50	
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			8			9		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>17.4</b>	<b>86</b>		<b>18.6</b>	<b>87</b>		<b>18.1</b>	<b>87</b>	
Standardabw.		3.24	12		0.94	17.5		2.86	16.4	
Variationsk.		19%	14%		5%	20%		16%	19%	
Minimalwert		15.5	68		17.3	55		11.9	50	
Maximalwert		20.5	100		20.3	100		22.3	100	
10.2	1	19.2	90		19.3	100		19.0	80	
10.2	2	19.3	80		19.2	95		19.4	65	
10.2	3	20.4	100		18.7	100		22.1	100	
10.2	4	18.9	100		19.1	100		18.8	100	
10.2	5	19.8	88		20.5	75		19.1	100	
10.2	6	19.1	88		19.1	100		19.2	75	
10.2	7	19.3	100		19.6	100		19.0	100	
10.2	8	18.6	63		20.4	60		16.8	65	
10.2	9	16.8	83		17.2	100		16.4	65	
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			9			9		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>18.0</b>	<b>88</b>		<b>19.2</b>	<b>92</b>		<b>18.9</b>	<b>83</b>	
Standardabw.		3.31	12		0.97	14.6		1.62	16.6	
Variationsk.		18%	14%		5%	16%		9%	20%	
Minimalwert		16.8	63		17.2	60		16.4	65	
Maximalwert		20.4	100		20.5	100		22.1	100	
10.4	1	17.2	53		12.6	70		21.8	35	
10.4	2	23.1	60		22.7	70		23.5	50	
10.4	3	22.1	83		24.0	80	Keilzinkung	20.2	85	
10.4	4	21.8	55		21.5	20	Keilzinkung	22.1	90	
10.4	5	22.9	55		22.7	60		23.0	50	
10.4	6	20.4	55		21.3	80		19.5	30	Keilzinkung
10.4	7	20.6	80		21.8	60		19.3	100	
10.4	8	18.2	88		21.8	85		14.6	90	
10.4	9	20.2	55		20.1	20		20.2	90	
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			9			9		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>19.5</b>	<b>65</b>		<b>20.9</b>	<b>61</b>		<b>20.5</b>	<b>69</b>	
Standardabw.		4.16	14		3.32	24.6		2.67	27.2	
Variationsk.		21%	22%		16%	41%		13%	40%	
Minimalwert		17.2	53		12.6	20		14.6	30	
Maximalwert		23.1	88		24.0	85		23.5	100	

### 6.3.11 Versuchsergebnisse Serie 11

Holzart: Esche

Klebstoff: MUF

Hersteller: D

Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.11 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.16 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

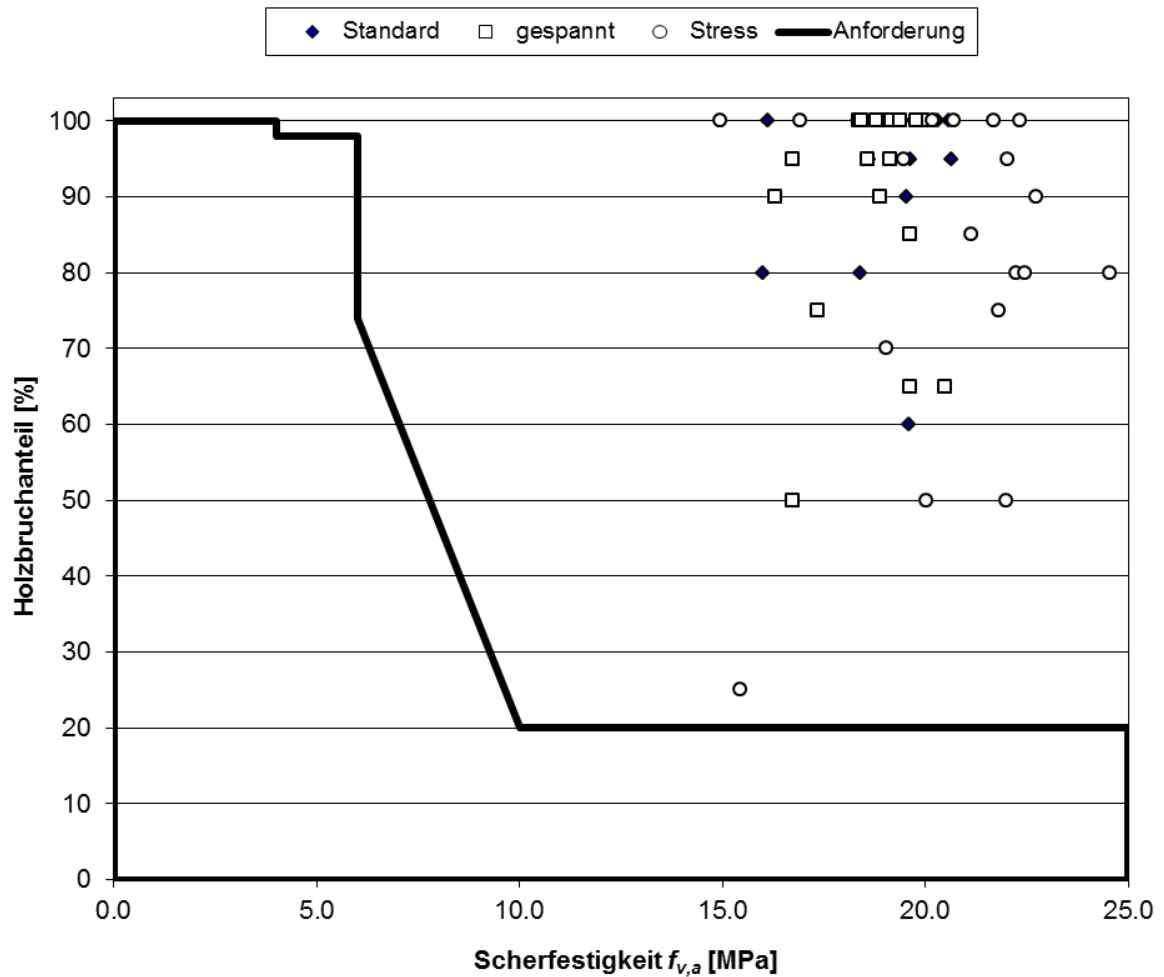


Abbildung 6.11: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 11

Tabelle 6.16: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 11

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$ Faserbelag Bem.			Festigkeit $f_{v,a}$ Faserbelag Bem.			Festigkeit $f_{v,a}$ Faserbelag Bem.		
		Mittelwert aus Streifen li + re			Streifen links			Streifen rechts		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
11.1	1	18.7	90		18.4	80		19.0	100	
11.1	2	19.3	100		20.2	100		18.3	100	
11.1	3	20.4	98		20.6	95		20.2	100	
11.1	4	19.0	98		18.6	95		19.4	100	
11.1	5	20.0	100		20.3	100		19.7	100	
11.1	6	17.9	98		16.1	100		19.6	95	
11.1	7	20.2	100		19.9	100		20.6	100	
11.1	8	19.8	80		20.0	100		19.6	60	
11.1	9	17.8	85		19.6	90		16.0	80	
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			9			9		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>19.2</b>	<b>94</b>		<b>19.3</b>	<b>96</b>		<b>19.2</b>	<b>93</b>	
Standardabw.		0.98	7		1.41	6.8		1.35	13.9	
Variationsk.		5%	8%		7%	7%		7%	15%	
Minimalwert		17.8	80		16.1	80		16.0	60	
Maximalwert		20.4	100		20.6	100		20.6	100	
11.2	1	18.7	88		19.9	100		17.4	75	
11.2	2	19.2	98		19.8	100		18.6	95	
11.2	3	19.8	80		20.5	65		19.1	95	
11.2	4	18.8	100		18.9	100		18.8	100	
11.2	5	19.5	83		19.6	65		19.4	100	
11.2	6	19.0	93		18.4	100		19.6	85	
11.2	7	18.8	100		19.2	100		18.4	100	
11.2	8	17.8	70		18.9	90		16.8	50	
11.2	9	16.5	93		16.8	95		16.3	90	
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			9			9		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>17.7</b>	<b>89</b>		<b>19.1</b>	<b>91</b>		<b>18.3</b>	<b>88</b>	
Standardabw.		3.20	10		1.09	14.9		1.19	16.4	
Variationsk.		18%	11%		6%	16%		7%	19%	
Minimalwert		16.5	70		16.8	65		16.3	50	
Maximalwert		19.8	100		20.5	100		19.6	100	
11.4	1	17.3	48		19.1	70		15.5	25	
11.4	2	22.6	90		20.7	100		24.6	80	
11.4	3	22.0	90		22.3	80		21.7	100	
11.4	4	19.7	90		22.5	80		16.9	100	
11.4	5	21.9	88		22.7	90		21.1	85	
11.4	6	18.5	75		15.0	100		22.0	50	
11.4	7	21.1	98		22.0	95		20.2	100	
11.4	8	22.1	88		21.8	75		22.3	100	
11.4	9	19.7	73		20.0	50		19.5	95	
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			9			9		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>19.4</b>	<b>82</b>		<b>20.7</b>	<b>82</b>		<b>20.4</b>	<b>82</b>	
Standardabw.		4.05	15		2.47	16.2		2.81	26.8	
Variationsk.		21%	18%		12%	20%		14%	33%	
Minimalwert		17.3	48		15.0	50		15.5	25	
Maximalwert		22.6	98		22.7	100		24.6	100	

### 6.3.12 Versuchsergebnisse Serie 12

Holzart: Esche

Klebstoff: MUF

Hersteller: D

Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

Verklebung spezial

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.12 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.17 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

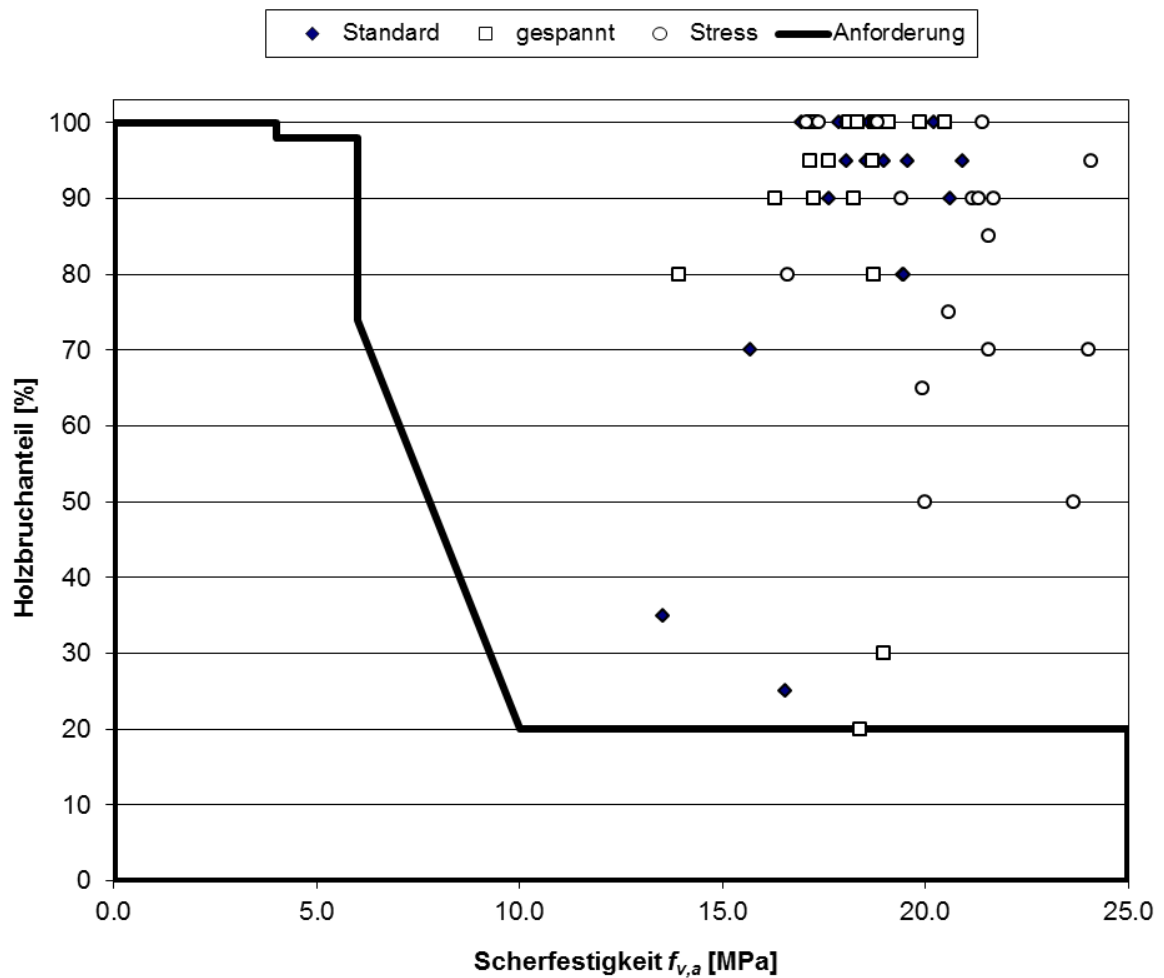


Abbildung 6.12: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 12

Tabelle 6.17: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 12

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$ Faserbelag Bem.			Festigkeit $f_{v,a}$ Faserbelag Bem.			Festigkeit $f_{v,a}$ Faserbelag Bem.		
		Mittelwert aus Streifen li + re			Streifen links			Streifen rechts		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
12.1	1	19.6	98		19.0	95		20.2	100	
12.1	2	17.6	63		18.6	100		16.5	25	
12.1	3	18.7	90		17.9	100		19.5	80	
12.1	4	18.3	83		15.7	70		20.9	95	
12.1	5	16.5	65		13.5	35		19.6	95	
12.1	6	18.5	85		19.5	80		17.6	90	
12.1	7	19.6	93		18.6	95		20.6	90	
12.1	8	17.5	100		17.0	100		18.1	100	
12.1	9	18.2	98		18.1	95		18.4	100	
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			9			9		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>17.4</b>	<b>86</b>		<b>17.5</b>	<b>86</b>		<b>19.0</b>	<b>86</b>	
Standardabw.		3.08	14		1.87	21.6		1.48	23.8	
Variationsk.		18%	16%		11%	25%		8%	28%	
Minimalwert		16.5	63		13.5	35		16.5	25	
Maximalwert		19.6	100		19.5	100		20.9	100	
12.2	1	18.9	90		18.7	80		19.1	100	
12.2	2	18.6	60		18.8	100		18.4	20	
12.2	3	18.9	65		18.8	100		19.0	30	
12.2	4	19.6	98		18.7	95		20.5	100	
12.2	5	18.6	95		17.2	90	Ast	19.9	100	
12.2	6	18.2	95		18.1	100		18.3	90	
12.2	7	16.1	90		18.4	100		13.9	80	
12.2	8	16.7	93		16.3	90		17.2	95	
12.2	9	17.4	98		17.2	100		17.6	95	
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			9			9		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>17.2</b>	<b>87</b>		<b>18.0</b>	<b>95</b>		<b>18.2</b>	<b>79</b>	
Standardabw.		3.07	14		0.90	7.1		1.91	31.3	
Variationsk.		18%	16%		5%	7%		10%	40%	
Minimalwert		16.1	60		16.3	80		13.9	20	
Maximalwert		19.6	98		18.8	100		20.5	100	
12.4	1	24.1	83		24.0	70		24.1	95	
12.4	2	16.8	90		17.1	100		16.6	80	
12.4	3	20.2	85		18.8	100		21.6	70	
12.4	4	20.6	70		20.0	50		21.2	90	
12.4	5	20.6	90		21.7	90		19.4	90	
12.4	6	22.5	70		23.6	50		21.3	90	
12.4	7	23.0	88		25.3	100		20.6	75	
12.4	8	20.8	75		20.0	65		21.6	85	
12.4	9	19.4	100		21.4	100		17.4	100	
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			9			9		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>19.7</b>	<b>83</b>		<b>21.3</b>	<b>81</b>		<b>20.4</b>	<b>86</b>	
Standardabw.		4.26	10		2.66	21.9		2.30	9.6	
Variationsk.		22%	12%		12%	27%		11%	11%	
Minimalwert		16.8	70		17.1	50		16.6	70	
Maximalwert		24.1	100		25.3	100		24.1	100	

### 6.3.13 Versuchsergebnisse Serie 13

Holzart: Esche

Klebstoff: MUF

Hersteller: D

Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

Verklebung spezial

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.13 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.18 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

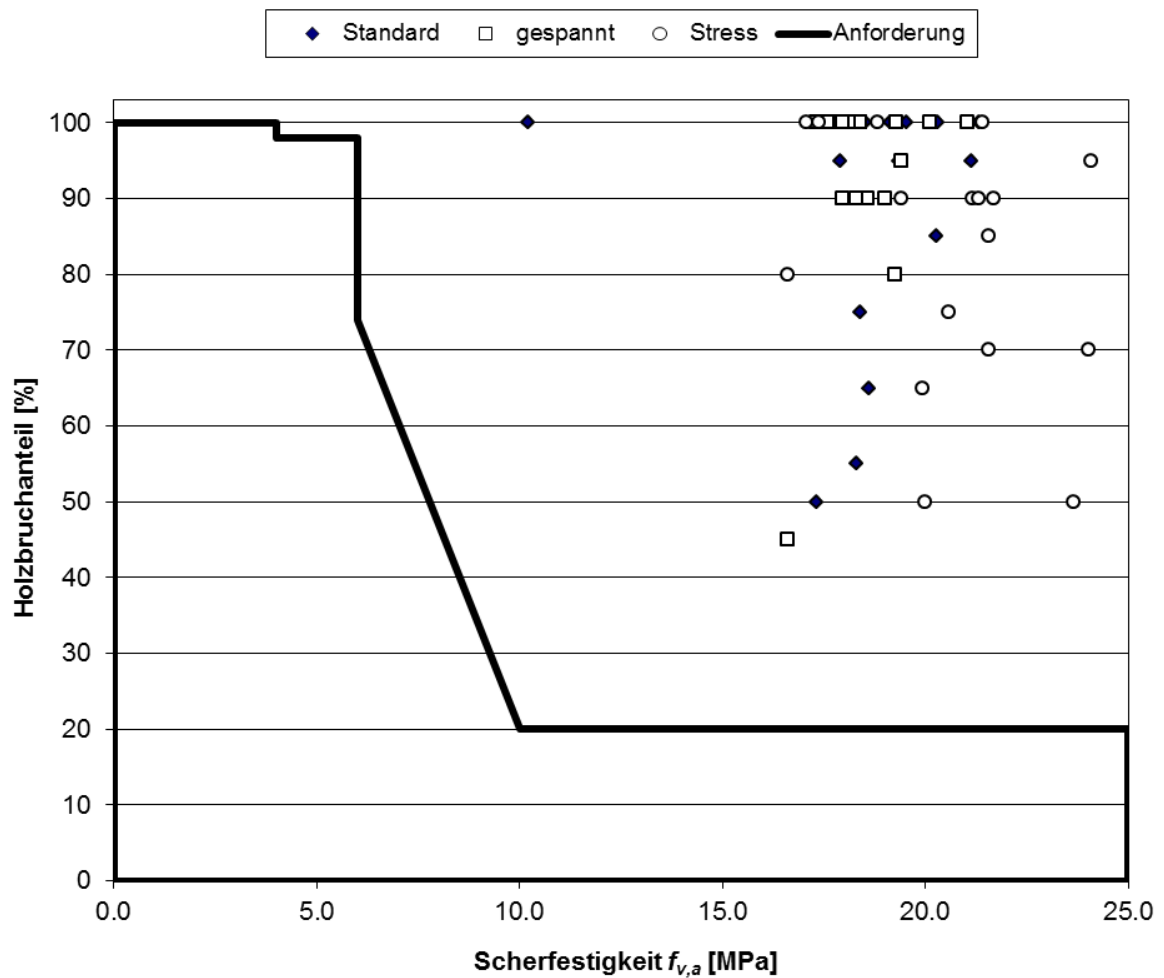


Abbildung 6.13: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 13

Tabelle 6.18: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 13

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$ Faserbelag Bem.			Festigkeit $f_{v,a}$ Faserbelag Bem.			Festigkeit $f_{v,a}$ Faserbelag Bem.		
		Mittelwert aus Streifen li + re			Streifen links			Streifen rechts		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
13.1	1	19.9	93		19.5	100		20.3	85	
13.1	2	20.3	98		21.3	100		19.4	95	
13.1	3	14.1	100		17.9	100		10.2	100	
13.1	4	18.2	85		18.4	75		17.9	95	
13.1	5	17.3	75		17.3	50		17.3	100	
13.1	6	19.7	100		20.3	100		19.1	100	
13.1	7	19.7	75		21.2	95		18.3	55	
13.1	8	18.6	83		18.5	100		18.6	65	
13.1	9	18.0	100		17.9	100		18.2	100	
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			9			9		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>17.5</b>	<b>90</b>		<b>19.2</b>	<b>91</b>		<b>17.7</b>	<b>88</b>	
Standardabw.		3.49	11		1.49	17.5		2.94	17.0	
Variationsk.		20%	12%		8%	19%		17%	19%	
Minimalwert		14.1	75		17.3	50		10.2	55	
Maximalwert		20.3	100		21.3	100		20.3	100	
13.2	1	18.9	95		19.3	100		18.6	90	
13.2	2	18.2	100		18.4	100		18.0	100	
13.2	3	18.7	95		18.4	100		19.0	90	
13.2	4	18.3	90		17.3	100		19.3	80	
13.2	5	17.5	68		16.6	45		18.3	90	
13.2	6	20.6	100		21.1	100		20.1	100	
13.2	7	18.8	98		18.1	100		19.4	95	
13.2	8	17.7	100		17.8	100		17.6	100	
13.2	9	17.8	95		17.7	100		18.0	90	
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			9			9		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>17.6</b>	<b>93</b>		<b>18.3</b>	<b>94</b>		<b>18.7</b>	<b>93</b>	
Standardabw.		3.13	10		1.27	18.3		0.82	6.7	
Variationsk.		18%	11%		7%	20%		4%	7%	
Minimalwert		17.5	68		16.6	45		17.6	80	
Maximalwert		20.6	100		21.1	100		20.1	100	
13.4	1	22.0	73		22.7	65		21.3	80	
13.4	2	18.9	90		18.9	100		19.0	80	
13.4	3	21.7	80		21.5	100		22.0	60	
13.4	4	19.9	78		18.9	65		21.0	90	
13.4	5	20.7	50		22.0	90		19.5	10	
13.4	6	22.4	88		23.5	85		21.3	90	
13.4	7	22.1	90		21.5	95		22.7	85	
13.4	8	20.5	100		19.8	100		21.2	100	
13.4	9	19.8	78		19.9	90		19.8	65	
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			9			9		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>19.7</b>	<b>81</b>		<b>21.0</b>	<b>88</b>		<b>20.9</b>	<b>73</b>	
Standardabw.		3.94	14		1.67	13.9		1.20	26.8	
Variationsk.		20%	18%		8%	16%		6%	37%	
Minimalwert		18.9	50		18.9	65		19.0	10	
Maximalwert		22.4	100		23.5	100		22.7	100	

### 6.3.14 Versuchsergebnisse Serie 14

Holzart: Fichte

Klebstoff: EPI

Hersteller: A

Scherfläche (L x B): 45 mm x 45 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.14 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.19 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch dargestellt.

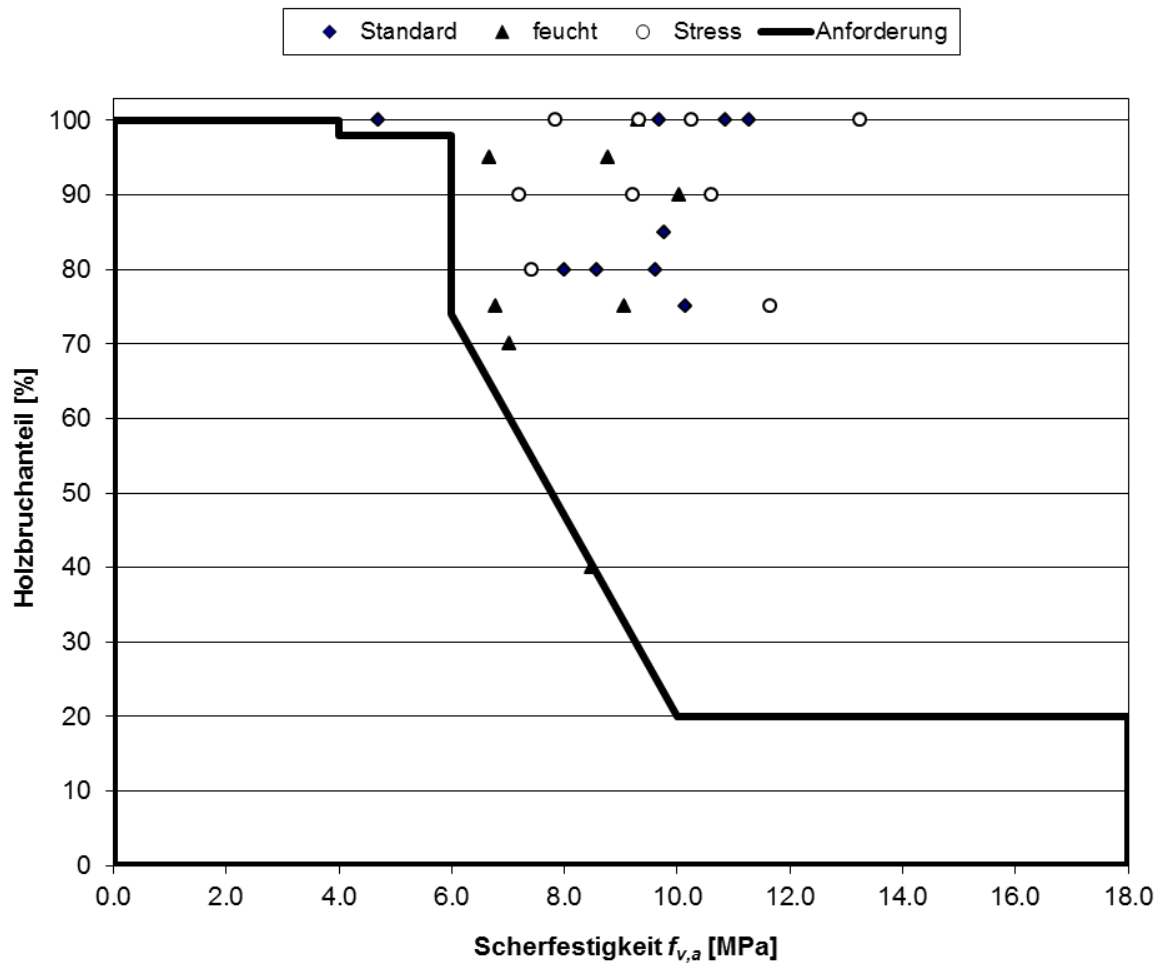


Abbildung 6.14: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 14

Tabelle 6.19: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 14

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.
		Streifen rechts		
		[MPa]	[%]	
14.1	1	10.9	100	
14.1	2	9.7	100	
14.1	3	4.7	100	
14.1	4	9.6	80	
14.1	5	9.8	85	
14.1	6	11.3	100	
14.1	7	8.6	80	
14.1	8	10.2	75	
14.1	9	8.0	80	
n		9		
n ungenügend		0		
<b>Mittelwert</b>		<b>9.2</b>	<b>89</b>	
Standardabw.		1.96	10.8	
Variationsk.		21%	12%	
Minimalwert		4.7	75	
Maximalwert		11.3	100	
14.3	1	9.3	100	
14.3	2	7.0	70	Ast
14.3	3			Ast
14.3	4	10.0	90	
14.3	5	6.7	95	
14.3	6	9.1	75	
14.3	7	8.8	95	
14.3	8	8.5	40	
14.3	9	6.8	75	
n		8		
n ungenügend		0		
<b>Mittelwert</b>		<b>8.3</b>	<b>80</b>	
Standardabw.		1.28	19.6	
Variationsk.		15%	25%	
Minimalwert		6.7	40	
Maximalwert		10.0	100	
14.4	1	9.3	100	
14.4	2	7.4	80	
14.4	3	7.8	100	
14.4	4	10.3	100	
14.4	5	13.2	100	
14.4	6	11.6	75	
14.4	7	10.6	90	
14.4	8	9.2	90	
14.4	9	7.2	90	
n		9		
n ungenügend		0		
<b>Mittelwert</b>		<b>9.6</b>	<b>92</b>	
Standardabw.		2.02	9.4	
Variationsk.		21%	10%	
Minimalwert		7.2	75	
Maximalwert		13.2	100	

### 6.3.15 Versuchsergebnisse Serie 15

Holzart: Lärche

Klebstoff: EPI

Hersteller: A

Scherfläche (L x B): 45 mm x 45 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.15 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.20 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

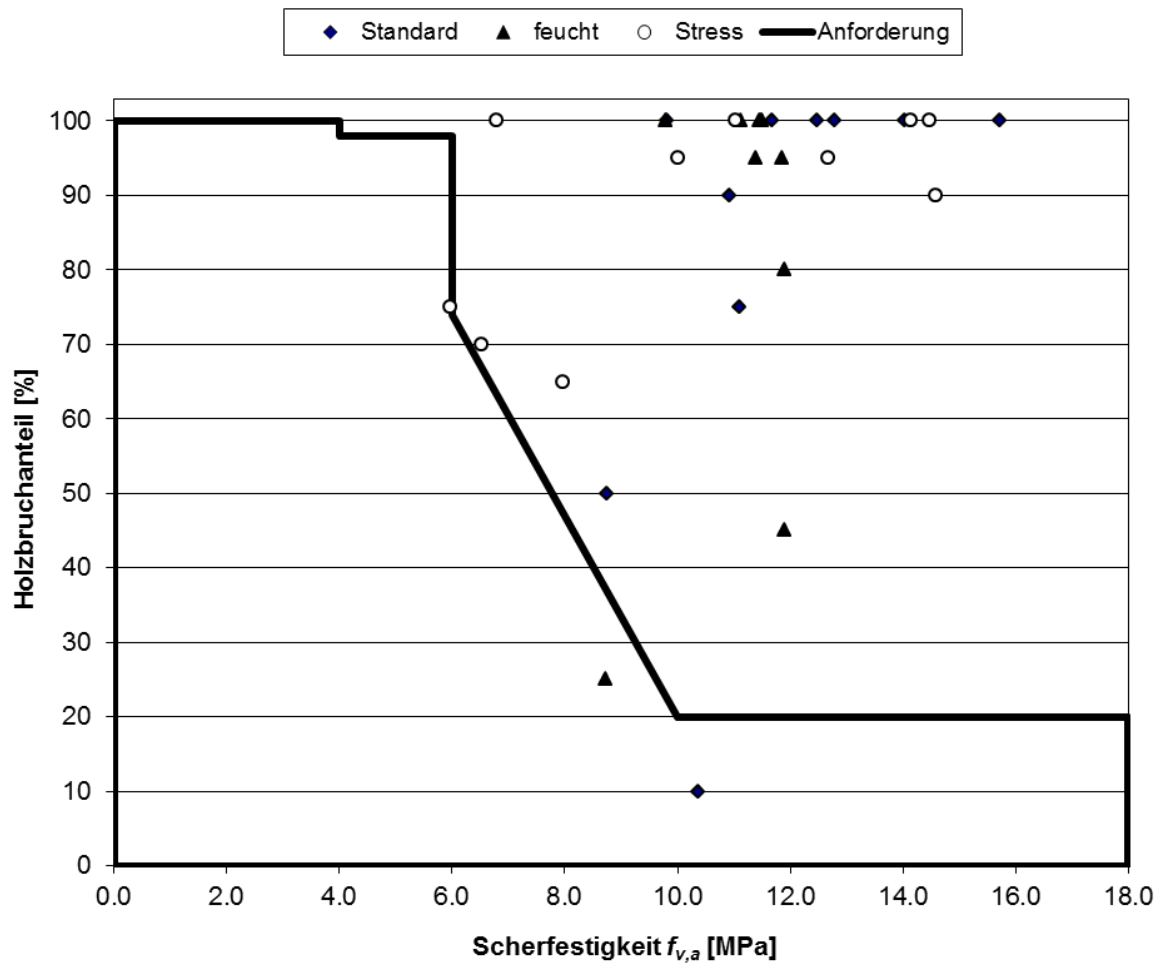


Abbildung 6.15: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 15

Tabelle 6.20: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 15

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.
Streifen rechts				
		[MPa]	[%]	
15.1	1	14.0	100	
15.1	2	8.7	50	
15.1	3	11.1	75	
15.1	4	10.4	10	Auftrag
15.1	5	15.7	100	
15.1	6	12.5	100	
15.1	7	11.7	100	
15.1	8	12.8	100	
15.1	9	10.9	90	
15.1	10	9.8	100	
n		10		
n ungenügend		1		
<b>Mittelwert</b>		<b>11.8</b>	<b>83</b>	
Standardabw.		2.07	30.3	
Variationsk.		18%	37%	
Minimalwert		8.7	10	
Maximalwert		15.7	100	
15.3	1	11.5	100	
15.3	2	11.1	100	
15.3	3	11.9	80	
15.3	4	11.9	45	Ast
15.3	5	8.7	25	
15.3	6	11.9	95	
15.3	7	11.4	95	
15.3	8	9.8	100	
15.3	9	11.5	100	
15.3	10	11.5	100	
n		10		
n ungenügend		1		
<b>Mittelwert</b>		<b>11.1</b>	<b>84</b>	
Standardabw.		1.04	27.0	
Variationsk.		9%	32%	
Minimalwert		8.7	25	
Maximalwert		11.9	100	
15.4	1	11.0	100	
15.4	2	8.0	65	Ast
15.4	3	6.0	75	Ast
15.4	4	14.6	90	Ast
15.4	5	6.5	70	
15.4	6	14.5	100	
15.4	7	14.1	100	
15.4	8	12.7	95	
15.4	9	10.0	95	
15.4	10	6.8	100	
n		10		
n ungenügend		0		
<b>Mittelwert</b>		<b>10.4</b>	<b>89</b>	
Standardabw.		3.46	13.7	
Variationsk.		33%	15%	
Minimalwert		6.0	65	
Maximalwert		14.6	100	

### 6.3.16 Versuchsergebnisse Serie 16

Holzart: Douglasie      Klebstoff: EPI      Hersteller: A      Scherfläche (L x B): 45 mm x 45 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.16 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.21 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

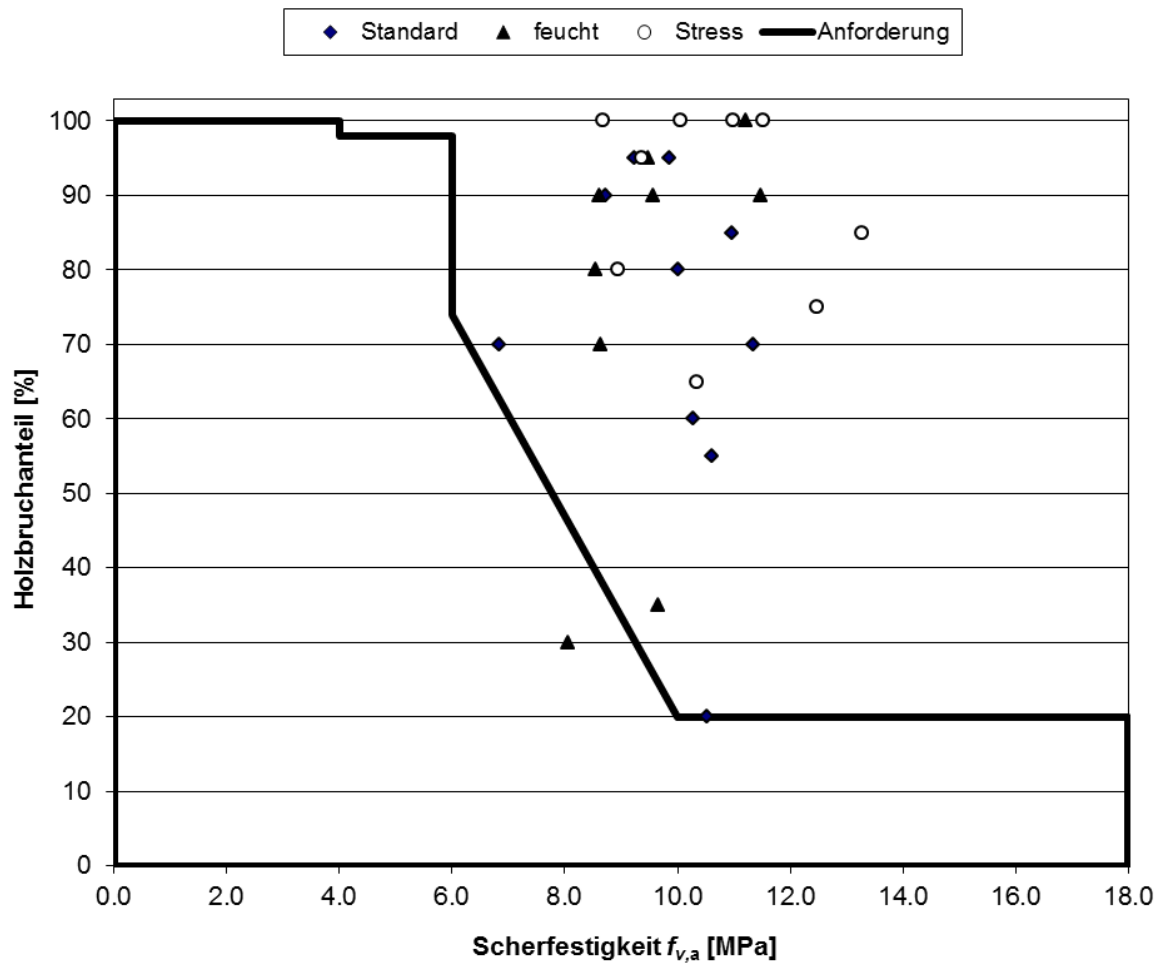


Abbildung 6.16: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 16

Tabelle 6.21: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 16

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.
		Streifen rechts		
		[MPa]	[%]	
16.1	1	11.3	70	
16.1	2	6.8	70	
16.1	3	10.5	20	
16.1	4	9.2	95	
16.1	5	11.0	85	
16.1	6	8.7	90	
16.1	7	9.9	95	
16.1	8	10.3	60	
16.1	9	10.6	55	
16.1	10	10.0	80	
n		10		
n ungenügend		0		
<b>Mittelwert</b>		<b>9.8</b>	<b>72</b>	
Standardabw.		1.31	23.0	
Variationsk.		13%	32%	
Minimalwert		6.8	20	
Maximalwert		11.3	95	
16.3	1	8.6	70	
16.3	2	8.6	90	
16.3	3	8.5	80	
16.3	4	9.5	95	
16.3	5	9.6	90	
16.3	6	8.1	30	
16.3	7	11.2	100	
16.3	8	9.7	35	Ast
16.3	9			Ast
16.3	10	11.5	90	
n		9		
n ungenügend		1		
<b>Mittelwert</b>		<b>9.5</b>	<b>76</b>	
Standardabw.		1.19	25.9	
Variationsk.		13%	34%	
Minimalwert		8.1	30	
Maximalwert		11.5	100	
16.4	1	10.1	100	
16.4	2	10.3	65	
16.4	3	12.5	75	
16.4	4	11.0	100	
16.4	5	11.5	100	
16.4	6	9.4	95	
16.4	7	8.7	100	
16.4	8	9.0	80	Ast
16.4	9			Ast
16.4	10	13.3	85	
n		9		
n ungenügend		0		
<b>Mittelwert</b>		<b>10.6</b>	<b>89</b>	
Standardabw.		1.58	13.2	
Variationsk.		15%	15%	
Minimalwert		8.7	65	
Maximalwert		13.3	100	

### 6.3.17 Versuchsergebnisse Serie 17

Holzart: Fichte

Klebstoff: UF

Hersteller: C

Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.17 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.22 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

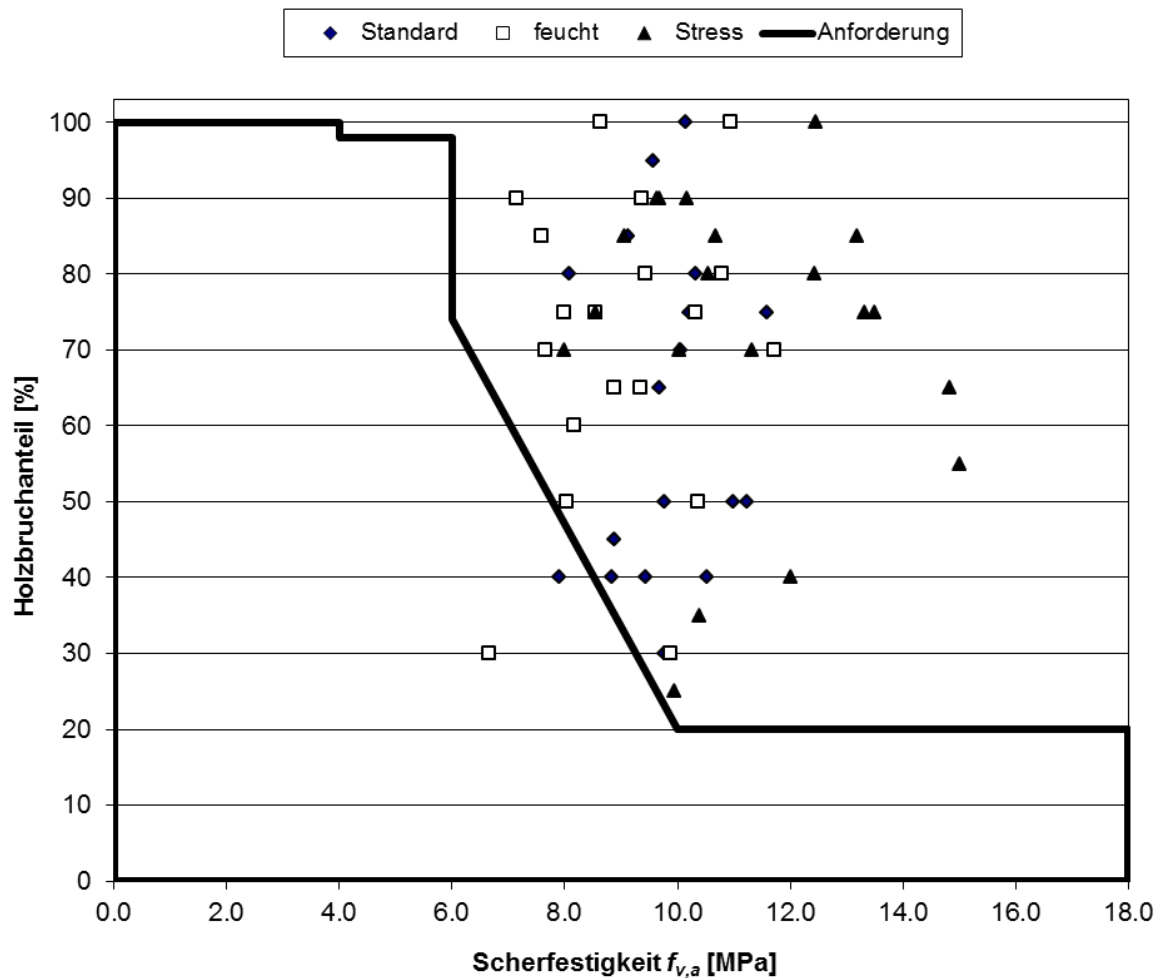


Abbildung 6.17: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 17

Tabelle 6.22: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 17

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.
		Mittelwert aus Streifen li + re			Streifen links			Streifen rechts		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
17.1	1	9.5	58		8.8	40		10.2	75	
17.1	2	9.3	38		8.9	45		9.8	30	
17.1	3	9.6	78		9.1	85		10.1	70	
17.1	4	8.0	60		7.9	40		8.1	80	
17.1	5	11.0	50				Ast	11.0	50	
17.1	6	10.1	53		10.5	40		9.7	65	
17.1	7	9.7	35		9.4	40		9.9	30	
17.1	8	10.5	50		9.8	50		11.2	50	
17.1	9	10.9	88		11.6	75		10.1	100	
17.1	10	10.0	88		9.6	95		10.3	80	Ast
n <sub>Fuge</sub> / n		10			9			10		
n ungenügend		0			1			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>9.8</b>	<b>60</b>		<b>9.5</b>	<b>57</b>		<b>10.0</b>	<b>63</b>	
Standardabw.		0.9	18.9		1.06	22.1		0.9	22.8	
Variationsk.		9%	32%		11%	39%		9%	36%	
Minimalwert		8.0	35		7.9	40		8.1	30	
Maximalwert		11.0	88		11.6	95		11.2	100	
17.3	1	9.0	95		8.6	100		9.4	90	
17.3	2	9.6	48		9.3	65		9.9	30	
17.3	3	7.1	90				Ast	7.1	90	Ast
17.3	4	7.6	78		7.6	85		7.7	70	Ast
17.3	5	8.0	63		8.0	50		8.0	75	
17.3	6	9.7	78		8.5	75		10.8	80	
17.3	7	9.2	73		8.9	65		9.4	80	
17.3	8	7.4	45		8.2	60		6.7	30	
17.3	9	10.6	75		10.9	100		10.4	50	
17.3	10	11.0	73		10.3	75	Ast	11.7	70	Ast
n <sub>Fuge</sub> / n		10			9			10		
n ungenügend		0			0			1		
<b>Mittelwert</b>		<b>8.9</b>	<b>72</b>		<b>8.9</b>	<b>75</b>		<b>9.1</b>	<b>67</b>	
Standardabw.		1.4	16		1.09	17.3		1.7	22.4	
Variationsk.		15%	23%		12%	23%		18%	34%	
Minimalwert		7.1	45		7.6	50		6.7	30	
Maximalwert		11.0	95		10.9	100		11.7	90	
17.4	1	13.0	88		13.5	75		12.5	100	
17.4	2	12.0	70		9.1	85		15.0	55	
17.4	3	11.4	58		10.4	35		12.4	80	
17.4	4	9.4	83		8.5	75		10.2	90	
17.4	5	10.1	85		9.6	90		10.5	80	
17.4	6	10.7	70		10.0	70	Ast	11.3	70	
17.4	7	10.9	65		9.7	90		12.0	40	
17.4	8	10.3	55		10.7	85		9.9	25	
17.4	9	14.1	70		13.3	75		14.8	65	
17.4	10	10.6	78		13.2	85		8.0	70	Ast
n <sub>Fuge</sub> / n		10			10			10		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>11.2</b>	<b>72</b>		<b>10.8</b>	<b>77</b>		<b>11.7</b>	<b>68</b>	
Standardabw.		1.4	11		1.85	16.2		2.2	22.6	
Variationsk.		13%	15%		17%	21%		19%	34%	
Minimalwert		9.4	55		8.5	35		8.0	25	
Maximalwert		14.1	88		13.5	90		15.0	100	

### 6.3.18 Versuchsergebnisse Serie 18

Holzart: Fichte

Klebstoff: RF

Hersteller: C

Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.18 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.23 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

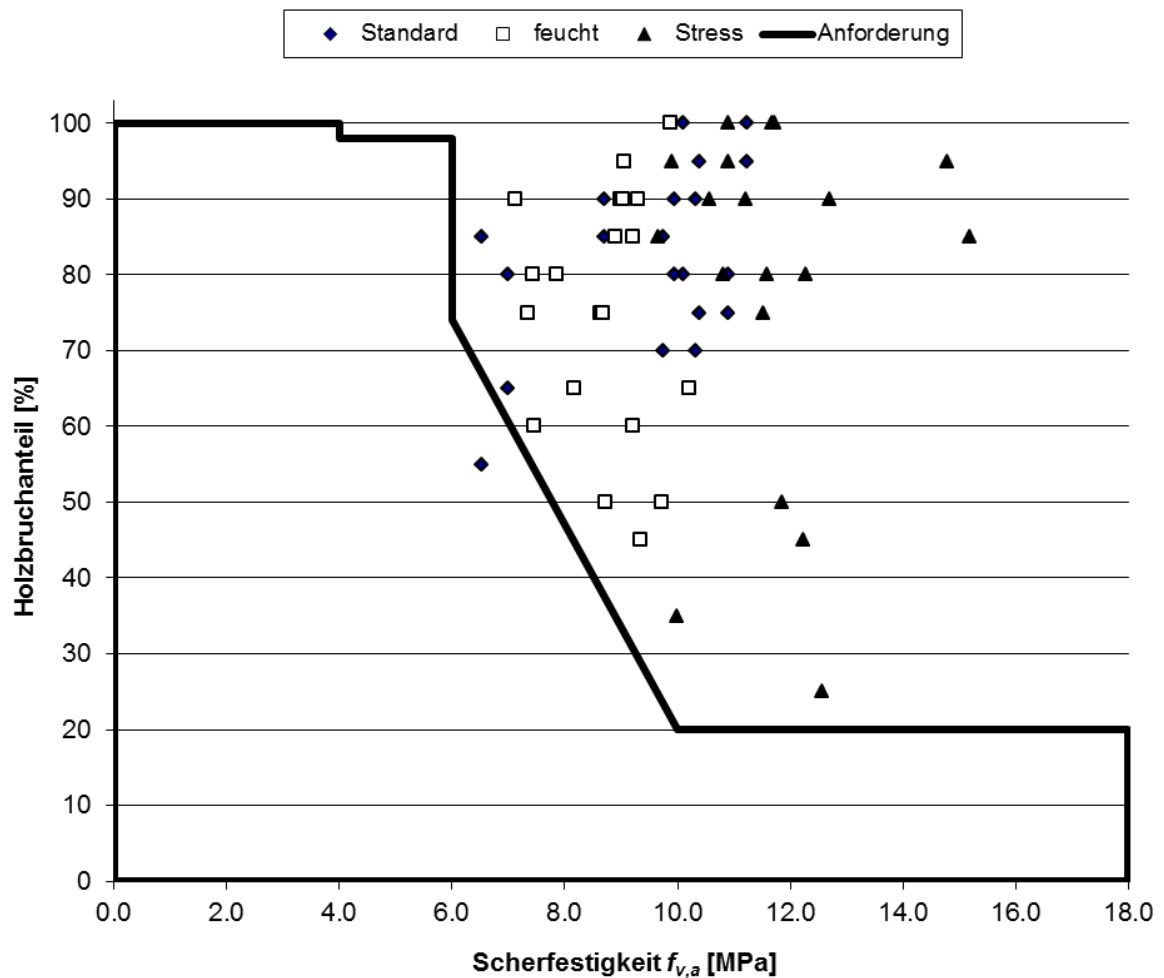


Abbildung 6.18: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 18

Tabelle 6.23: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 18

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.
		Mittelwert aus Streifen li + re			Streifen links			Streifen rechts		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
18.1	1	6.5	70		6.5	85		6.5	55	
18.1	2	8.7	88		8.7	85		8.7	90	
18.1	3	10.3	80		10.3	70		10.3	90	
18.1	4	11.2	98		11.2	95		11.2	100	
18.1	5	7.0	73		7.0	65		7.0	80	Ast
18.1	6	10.4	85		10.4	75		10.4	95	
18.1	7	9.7	78		9.7	85		9.7	70	
18.1	8	10.1	90		10.1	80		10.1	100	
18.1	9	10.9	78		10.9	75		10.9	80	
18.1	10	9.9	85		9.9	90		9.9	80	
n <sub>Fuge</sub> / n		10			10			10		
n ungenügend		0			0			1		
<b>Mittelwert</b>		<b>9.5</b>	<b>82</b>		<b>9.5</b>	<b>81</b>		<b>9.5</b>	<b>84</b>	
Standardabw.		1.59	8.4		1.59	9.3		1.59	14.1	
Variationsk.		17%	10%		17%	12%		17%	17%	
Minimalwert		6.5	70		6.5	65		6.5	55	
Maximalwert		11.2	98		11.2	95		11.2	100	
18.3	1	8.3	60		7.5	60		9.2	60	Ast
18.3	2	8.8	83		9.0	90		8.7	75	
18.3	3	8.3	65		7.9	80		8.7	50	
18.3	4	7.8	70		7.3	75		8.2	65	
18.3	5	9.0	88		8.9	85		9.0	90	
18.3	6	8.9	80		8.6	75		9.2	85	
18.3	7	9.6	95		9.3	90		9.9	100	
18.3	8	9.2	70		9.1	95		9.4	45	
18.3	9	10.0	58		10.2	65		9.7	50	
18.3	10	7.3	85		7.1	90		7.4	80	
n <sub>Fuge</sub> / n		10			10			10		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>8.7</b>	<b>75</b>		<b>8.5</b>	<b>81</b>		<b>8.9</b>	<b>70</b>	
Standardabw.		0.82	13		1.00	11.7		0.73	18.9	
Variationsk.		9%	17%		12%	14%		8%	27%	
Minimalwert		7.3	58		7.1	60		7.4	45	
Maximalwert		10.0	95		10.2	95		9.9	100	
18.4	1	10.8	55		11.5	75		10.0	35	
18.4	2	11.1	85		11.6	80		10.6	90	
18.4	3	11.1	55		9.7	85		12.6	25	
18.4	4	12.8	88		10.8	80	Ast	14.8	95	
18.4	5	10.9	100				Ast	10.9	100	
18.4	6	11.8	93		10.9	95		12.7	90	
18.4	7	11.7	100		11.7	100		11.7	100	
18.4	8	12.3	63		12.3	80		12.2	45	
18.4	9	13.5	68		11.9	50		15.2	85	
18.4	10	10.6	93		9.9	95		11.2	90	
n <sub>Fuge</sub> / n		10			9			10		
n ungenügend		0			1			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>11.6</b>	<b>80</b>		<b>11.1</b>	<b>82</b>		<b>12.2</b>	<b>76</b>	
Standardabw.		0.97	18		0.89	14.8		1.72	28.7	
Variationsk.		8%	23%		8%	18%		14%	38%	
Minimalwert		10.6	55		9.7	50		10.0	25	
Maximalwert		13.5	100		12.3	100		15.2	100	

### 6.3.19 Versuchsergebnisse Serie 19

Holzart: Fichte

Klebstoff: MUF

Hersteller: C

Scherfläche (L x B): 45 mm x 50 mm

#### Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Abbildung 6.19 zeigt die Versuchsergebnisse und die Anforderungen an Einzelwerte gemäss EN 386:2001. In der Tabelle 6.24 sind die Versuchsergebnisse tabellarisch zusammengestellt.

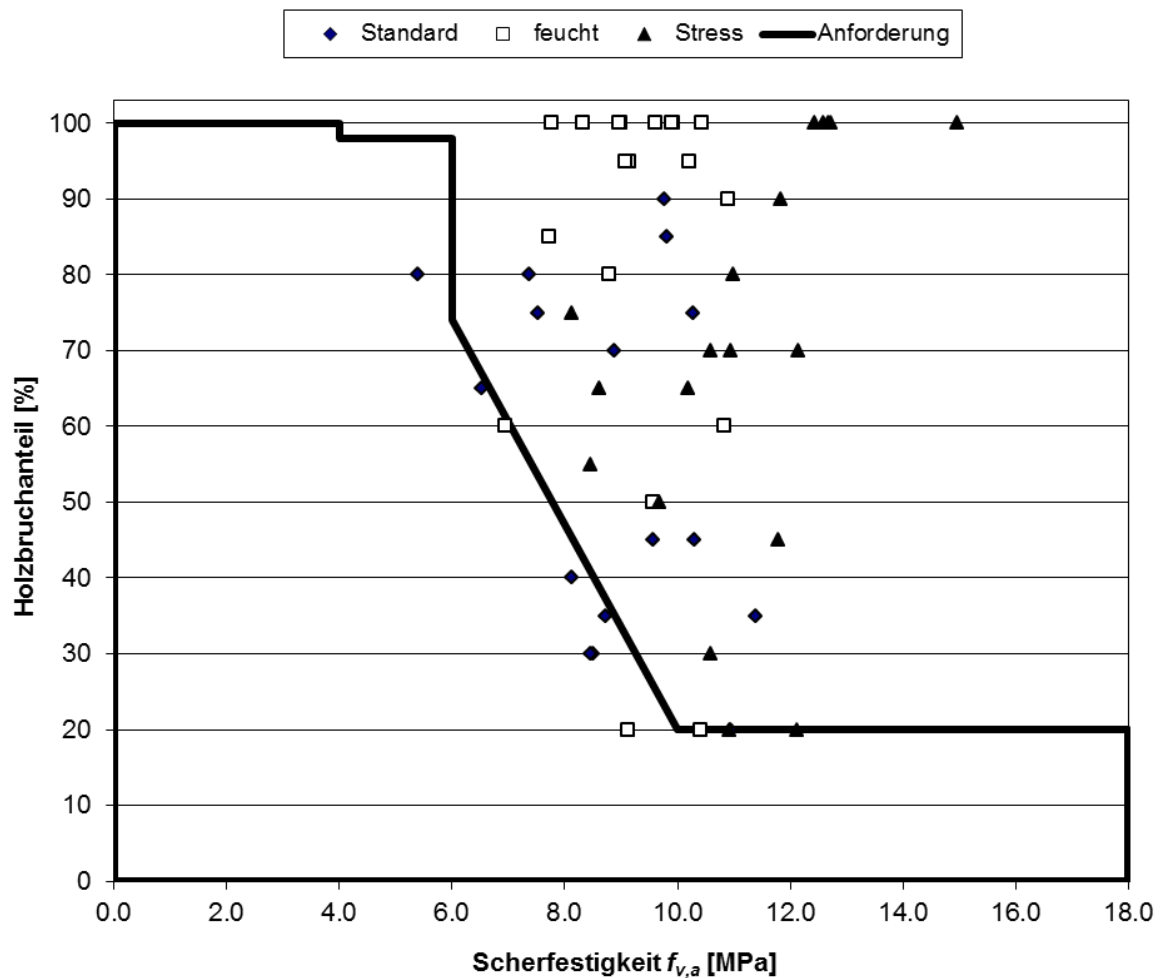


Abbildung 6.19: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils in der Serie 19

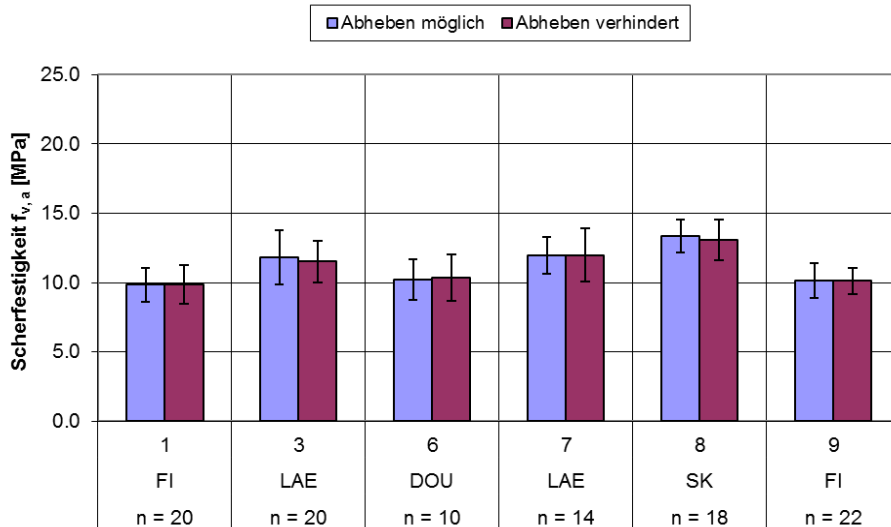
Tabelle 6.24: Einzelwerte und statistische Auswertung zur Serie 19

Serie	Fuge	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.	Festigkeit $f_{v,a}$	Faserbelag	Bem.
		Mittelwert aus Streifen li + re			Streifen links			Streifen rechts		
		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
19.1	1	9.8	85				Ast	9.8	85	
19.1	2	9.7	68		9.6	45		9.8	90	
19.1	3	9.5	55		8.7	35		10.3	75	
19.1	4	7.0	55		8.5	30		5.4	80	
19.1	5	7.5	78		7.5	75		7.4	80	
19.1	6	9.4	38		8.5	30		10.3	45	
19.1	7	11.2	28		10.9	20		11.4	35	
19.1	8						Ast			Ast
19.1	9	6.5	65		6.5	65				Ast
19.1	10	8.5	55		8.1	40		8.9	70	Ast
$n_{\text{Fuge}} / n$		9			8			8		
n ungenügend		2			5			1		
<b>Mittelwert</b>		<b>8.8</b>	<b>58</b>		<b>8.5</b>	<b>43</b>		<b>9.1</b>	<b>70</b>	
Standardabw.		1.53	18.1		1.32	18.7		1.92	19.6	
Variationsk.		17%	31%		15%	44%		21%	28%	
Minimalwert		6.5	28		6.5	20		5.4	35	
Maximalwert		11.2	85		10.9	75		11.4	90	
19.3	1	10.3	95		10.9	90		9.6	100	
19.3	2	9.7	95		9.2	95		10.2	95	
19.3	3	8.7	60		8.3	100		9.1	20	
19.3	4	8.9	88		9.1	95		8.8	80	
19.3	5	7.8	100		7.8	100				Ast
19.3	6	8.4	93		9.0	100		7.7	85	
19.3	7	10.6	40		10.8	60		10.4	20	
19.3	8	9.4	100		9.0	100		9.9	100	
19.3	9	10.0	75		9.6	50		10.4	100	
19.3	10	8.4	80		7.0	60	Ast	9.9	100	
$n_{\text{Fuge}} / n$		10			10			9		
n ungenügend		0			0			1		
<b>Mittelwert</b>		<b>9.2</b>	<b>83</b>		<b>9.1</b>	<b>85</b>		<b>9.6</b>	<b>78</b>	
Standardabw.		0.92	20		1.22	20.0		0.89	33.6	
Variationsk.		10%	24%		13%	24%		9%	43%	
Minimalwert		7.8	40		7.0	50		7.7	20	
Maximalwert		10.6	100		10.9	100		10.4	100	
19.4	1	10.9	70				Ast	10.9	70	Ast
19.4	2	9.6	78		11.0	80		8.1	75	
19.4	3	9.2	58		9.7	50		8.6	65	
19.4	4	10.5	78		8.5	55		12.6	100	
19.4	5	12.2	73		11.8	45		12.7	100	
19.4	6	11.2	68		12.2	70		10.2	65	
19.4	7	11.5	20		12.1	20		10.9	20	
19.4	8	13.4	95		11.8	90		15.0	100	
19.4	9	11.7	65		10.6	30		12.7	100	
19.4	10	11.5	85		10.6	70		12.4	100	
$n_{\text{Fuge}} / n$		10			9			10		
n ungenügend		0			0			0		
<b>Mittelwert</b>		<b>11.2</b>	<b>69</b>		<b>10.9</b>	<b>57</b>		<b>11.4</b>	<b>80</b>	
Standardabw.		1.23	20		1.24	23.0		2.08	26.2	
Variationsk.		11%	29%		11%	41%		18%	33%	
Minimalwert		9.2	20		8.5	20		8.1	20	
Maximalwert		13.4	95		12.2	90		15.0	100	

### 6.3.20 Scherfestigkeit mit und ohne Klemmung der Proben auf der geriffelten Auflage

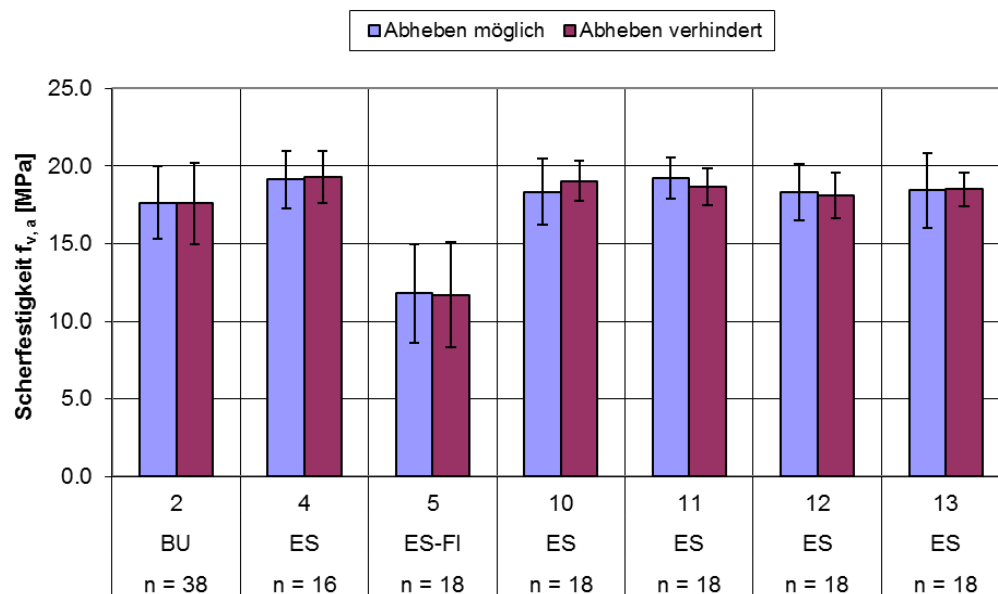
Die Säulendiagramme in Abbildung 6.20 und Abbildung 6.21 zeigen die Scherfestigkeit (Mittelwert und Standardabweichung) je Serie in Abhängigkeit der Art des Einbaus der Prüfkörper in die Prüfvorrichtung (Abheben möglich / Abheben verhindert). Ein Vergleich der Versuchsergebnisse der beiden unterschiedlichen Probeneinbaumethoden lässt erkennen, dass bei geriffelter Ausbildung der Prüfkörperauflage zwischen den beiden Methoden kein signifikanter Unterschied zu erkennen ist.

Wie zu erwarten ist, wurden bei den Laubholzproben (Abbildung 6.21) wesentlich höhere Scherfestigkeitswerte ermittelt als bei den Nadelholzproben (Abbildung 6.20). Bei den Prüfkörpern der Serie 5 ist zu beachten, dass es sich hierbei um Proben aus einem Hybridträger handelt (siehe Tabelle 6.10).



FI = Fichte, LAE = Lärche, DOU = Douglasie, SK = Seekiefer

Abbildung 6.20: Scherfestigkeit der Klebfugen der Nadelholzproben nach Lagerung bei 20°C / 65% rel. Luftfeuchte und Prüfung auf geriffelter Unterlage, mit und ohne Klemmung der Proben.



BU = Buche, ES = Esche, FI = Fichte

Abbildung 6.21: Scherfestigkeit der Klebfugen der Laubholzproben nach Lagerung bei 20°C / 65% rel. Luftfeuchte und Prüfung auf geriffelter Unterlage, mit und ohne Klemmung der Proben.

### 6.3.21 Scherfestigkeit mit und ohne Klemmung der Proben bei glatter und geriffelter Auflage

Die Abbildung 6.22 zeigt die Scherfestigkeit der Klebfugen bei Lagerung der Prüfkörper auf unterschiedlicher Auflage (glatt / geriffelt) und bei unterschiedlichem Einbau der Proben (Abheben möglich / Abheben verhindert). Die Prüfung auf glatter Unterlage ergab um 7.4 % (Serie 2) bzw. 9.4 % und 10.4 % (Serie 4) geringere Scherfestigkeitsmittelwerte als die Prüfung auf geriffelter Auflage. Die Serie 5 wurde wegen des unterschiedlichen Prüfkörperaufbaus nicht weiter ausgewertet. Die unterschiedlichen Ergebnisse sind auf ungleiche Einflüsse der Querbeanspruchung der Proben zurückzuführen (siehe FFWH-Projekt 2007.4 und Publikation [4]).

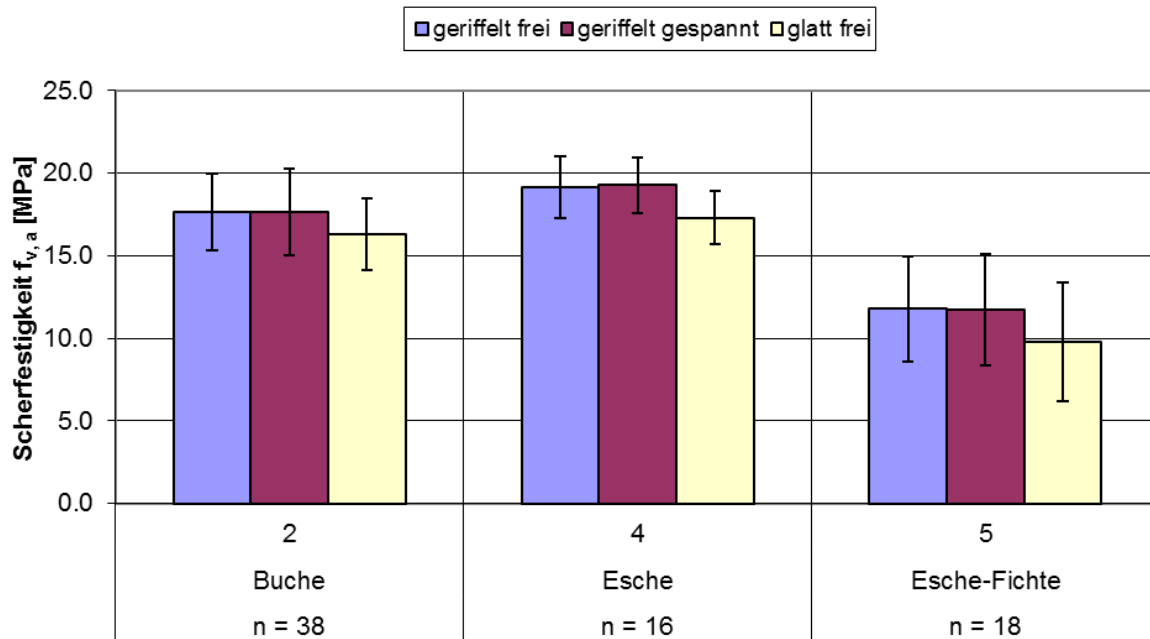


Abbildung 6.22: Scherfestigkeit der Klebfugen auf glatter und geriffelter Unterlage, mit und ohne Aufspannung der Proben nach Lagerung bei 20°C / 65 % rel. Luftfeuchte.

### 6.3.22 Scherfestigkeit nach unterschiedlicher Lagerung der Proben

Die Versuchsergebnisse der Fichtenholzproben sind in der Abbildung 6.23, der restlichen Nadelholzproben in der Abbildung 6.24 und der Laubholzproben in der Abbildung 6.25 dargestellt.

Die Prüfungen erfolgten nach Lagerung bei 20°C / 65% rel. Luftfeuchte (Normalklima), nach Lagerung bei 20°C / 85% rel. Luftfeuchte (Feuchtklima) und nach Wässerung der Probenstangen im Vakuum-Druckkessel gemäss Verfahren B nach EN 391:2001 und (Stress-) Trocknung im Klima 20°C / 35% rel. Luftfeuchte. Dabei stellte sich folgender, an Darrproben gemäss SN EN 13183-1:2002 [5] ermittelter Feuchtegehalt des Holzes ein:

- Lagerung bei 20°C / 65% rel. Luftfeuchte: Holzfeuchte ca. **12.2 %** (siehe Tabelle 6.25)
- Lagerung bei 20°C / 85% rel. Luftfeuchte: Holzfeuchte ca. **17.1 %** (siehe Tabelle 6.26)
- Wässerung und Trocknung bei 20°C / 35% rel. Luftfeuchte: Holzfeuchte ca. **8.5 %** (Tabelle 6.27).

Bei den aus Laubholz (Buche, Esche) hergestellten Proben wurde auf die Feuchteklimalagerung verzichtet, weil diese Holzarten üblicherweise nur in der Nutzungsklasse 1 eingesetzt werden.

Erwartungsgemäss zeigen die Versuchsergebnisse, dass die Scherfestigkeitswerte nach der Feuchtelagerung geringer sind als nach der Lagerung im Normalklima. Eher überraschend hingegen ist die Feststellung, dass die Scherfestigkeitswerte nach der Stresslagerung auf gleichem Niveau oder teilweise sogar leicht höher liegen als die Vergleichswerte nach der Lagerung im Normalklima.

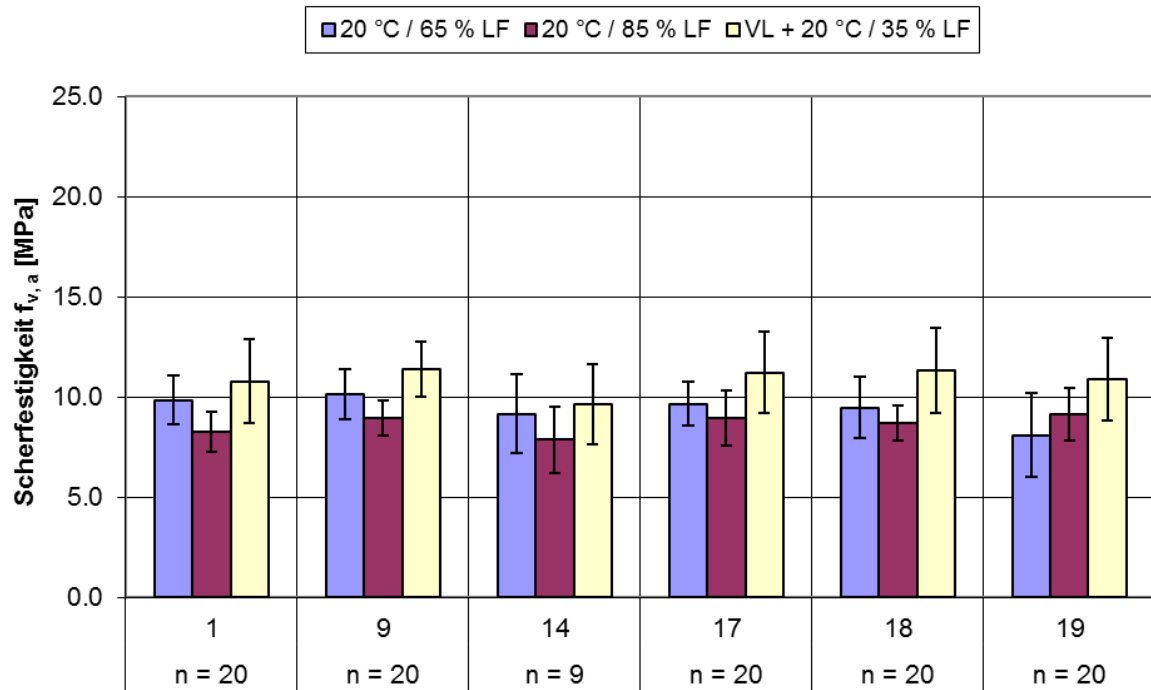
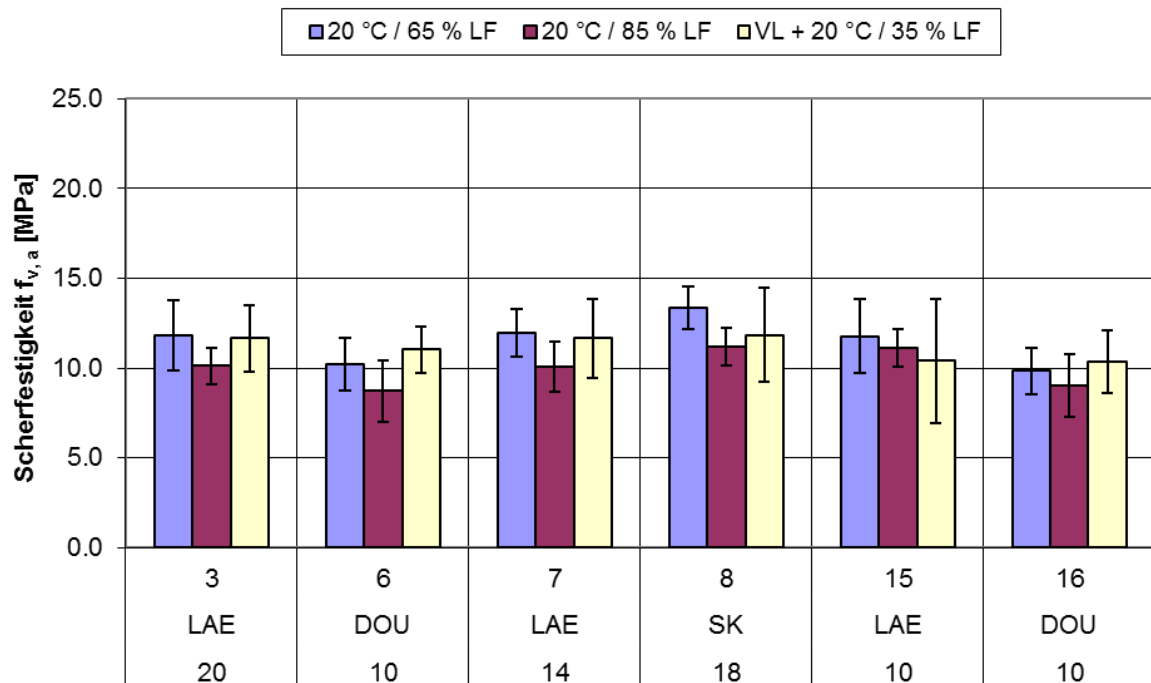


Abbildung 6.23: Scherfestigkeit der Klebfugen der Fichtenholz-Serien 1, 9, 14, 17, 18 und 19, geprüft gemäss Empa-Standardmethode nach unterschiedlichen Vorlagerungen.



LAE = Lärche, DOU = Douglasie, SK = Seekiefer

Abbildung 6.24: Scherfestigkeit der Klebfugen der Nadelholz-Serien (ohne Fichte) 3, 6, 7, 8, 15 und 16, geprüft gemäss Empa-Standardmethode nach unterschiedlichen Vorlagerungen.

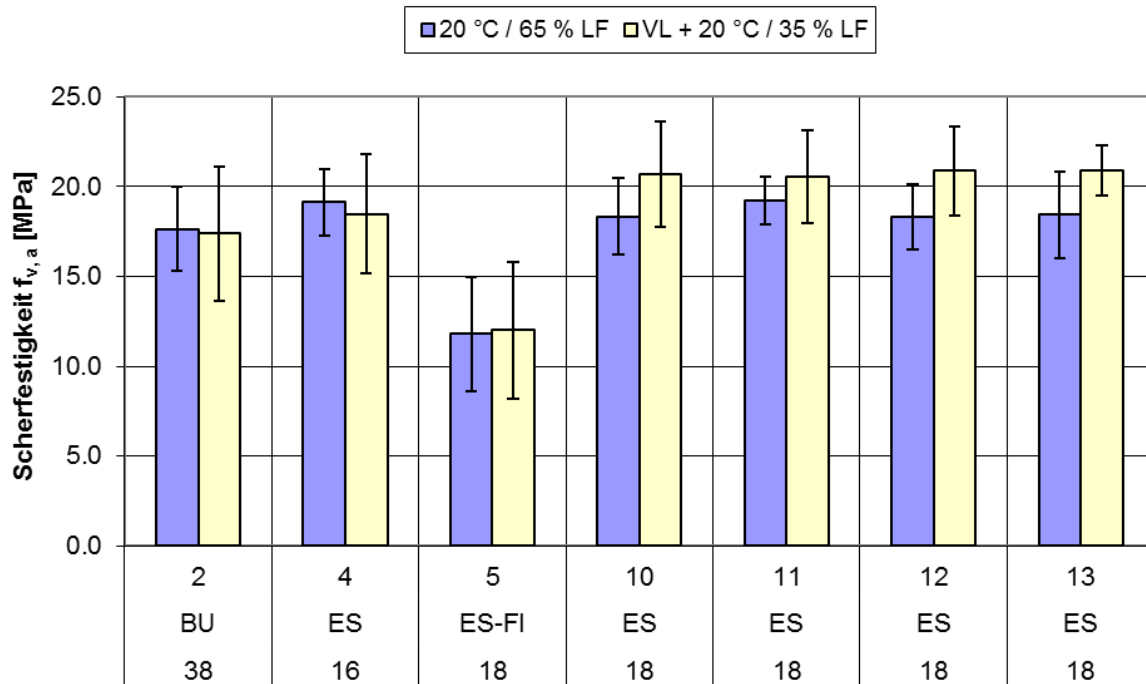


Abbildung 6.25: Scherfestigkeit der Klebfugen der Serien aus Laubholz 2, 4, 5 (Probe aus Hybridträger), 10, 11, 12 und 13, geprüft nach der Empa-Standardmethode nach unterschiedlichen Vorlagerungen.

### 6.3.23 Holzfeuchte der Scherproben bei der Festigkeitsprüfung

Tabelle 6.25: Holzfeuchte der Proben nach Lagerung bei 20°C / 65% rel. Luftfeuchte

Probe	Probe	Gewicht ma [g]	Gewicht mo [g]	Holzfeuchte [%]		Lagerklima
1.1L	3	41.24	36.59	12.7	Fichte	20 / 65
1.1L	7	37.29	33.08	12.7	Fichte	20 / 65
5.1L	8	86.42	77.40	11.7	Fichte	20 / 65
9.1R		38.29	34.15	12.1	Fichte	20 / 65
9.2R		50.77	45.19	12.3	Fichte	20 / 65
17.1L	2-3	31.31	27.99	11.9	Fichte	20 / 65
17.1L	6-5	45.72	40.60	12.6	Fichte	20 / 65
17.1L	9-8	33.53	29.98	11.8	Fichte	20 / 65
17.1R	2-3	30.70	27.49	11.7	Fichte	20 / 65
17.1R	6-5	40.35	35.92	12.3	Fichte	20 / 65
17.1R	9-8	35.95	32.17	11.8	Fichte	20 / 65
18.1L	2-3	47.33	42.35	11.8	Fichte	20 / 65
18.1L	6-5	41.52	37.20	11.6	Fichte	20 / 65
18.1L	9-8	37.58	33.58	11.9	Fichte	20 / 65
18.1R	2-3	40.44	35.77	13.1	Fichte	20 / 65
18.1R	6-5	47.07	42.38	11.1	Fichte	20 / 65
18.1R	9-8	33.97	30.32	12.0	Fichte	20 / 65
19.1L	2-3	31.87	28.55	11.6	Fichte	20 / 65
19.1L	6-5	33.24	29.72	11.8	Fichte	20 / 65
19.1L	9-8	39.72	35.62	11.5	Fichte	20 / 65
19.1R	2-3	32.36	28.95	11.8	Fichte	20 / 65
19.1R	6-5	33.15	29.65	11.8	Fichte	20 / 65
19.1R	9-8	40.60	36.35	11.7	Fichte	20 / 65
5.3L G		37.41	33.18	12.7	Fichte	20 / 65
5.3L G		37.84	33.46	13.1	Fichte	20 / 65
5.3L G		47.14	41.58	13.4	Fichte	20 / 65
5.3GL	2-3	36.61	32.37	13.1	Fichte	20 / 65
5.3GL	4-5	38.51	34.02	13.2	Fichte	20 / 65
5.3GL	6-7	44.90	39.73	13.0	Fichte	20 / 65
5.3GR	2-3	42.20	37.28	13.2	Fichte	20 / 65
5.3GR	4-5	46.50	41.08	13.2	Fichte	20 / 65
5.3GR	6-7	42.19	37.31	13.1	Fichte	20 / 65
n				32		
<b>Mittelwert</b>				<b>12.3</b>		
Minimalwert				11.1		
Maximalwert				13.4		
2.1L	14	52.66	47.18	11.6	Buche	20 / 65
2.1L	17	45.12	40.35	11.8	Buche	20 / 65
<b>Mittelwert</b>				<b>11.7</b>		
3.1L	2	26.02	23.24	12.0	Lärche	20 / 65
3.1L	3	35.44	31.51	12.5	Lärche	20 / 65
7.1L	1	44.31	39.67	11.7	Lärche	20 / 65
7.1L	3	44.91	39.95	12.4	Lärche	20 / 65
<b>Mittelwert</b>				<b>12.1</b>		
4.1L	7	61.55	55.16	11.6	Esche	20 / 65
10.2R		52.66	46.92	12.2	Esche	20 / 65
11.2R		62.84	56.13	12.0	Esche	20 / 65
12.1L		56.98	50.74	12.3	Esche	20 / 65
13.2L		52.54	47.13	11.5	Esche	20 / 65
12.2R		53.64	48.02	11.7	Esche	20 / 65
13.1R		59.23	53.24	11.3	Esche	20 / 65
<b>Mittelwert</b>				<b>11.8</b>		
6.1L	2	56.90	50.91	11.8	Douglasie	20 / 65
6.1R	4	55.23	49.51	11.6	Douglasie	20 / 65
<b>Mittelwert</b>				<b>11.7</b>		
8.1R	2	34.77	30.81	12.9	Seekiefer	20 / 65
8.1R	4	35.92	31.81	12.9	Seekiefer	20 / 65
<b>Mittelwert</b>				<b>12.9</b>		
n <sub>gesamt</sub>				49		
<b>Mittelwert<sub>gesamt</sub></b>				<b>12.2</b>		
Minimalwert <sub>gesamt</sub>				11.1		
Maximalwert <sub>gesamt</sub>				13.4		

Tabelle 6.26: Holzfeuchte der Proben nach Lagerung bei 20°C / 85% rel. Luftfeuchte

Probe	Fuge	Gewicht mu [g]	Gewicht mo [g]	Holzfeuchte [%]	Holzart	Lagerklima [°C / % LF]
1.3L	1-2	44.70	37.96	17.8	Fichte	20 / 85
1.3L	5-6	54.99	47.05	16.9	Fichte	20 / 85
1.3L	8-9	35.00	29.89	17.1	Fichte	20 / 85
1.3R	1-2	45.96	39.00	17.8	Fichte	20 / 85
1.3R	5-6	51.16	43.73	17.0	Fichte	20 / 85
1.3R	8-9	39.09	33.29	17.4	Fichte	20 / 85
9.3L	1-2	38.19	32.57	17.3	Fichte	20 / 85
9.3L	4-5	37.55	32.08	17.1	Fichte	20 / 85
9.3L	7-8	50.89	43.55	16.9	Fichte	20 / 85
9.3L	10-11	45.52	39.00	16.7	Fichte	20 / 85
9.3R	1-2	37.71	32.48	16.1	Fichte	20 / 85
9.3R	4-5	33.09	28.55	15.9	Fichte	20 / 85
9.3R	7-8	52.00	44.79	16.1	Fichte	20 / 85
9.3R	10-11	41.83	36.09	15.9	Fichte	20 / 85
14.3	4-5	45.25	38.41	17.8	Fichte	20 / 85
14.3	7-8	32.92	28.00	17.6	Fichte	20 / 85
17.3L	3-4	39.57	33.66	17.6	Fichte	20 / 85
17.3L	8-9	33.33	28.42	17.3	Fichte	20 / 85
17.3R	2-3	31.84	27.09	17.5	Fichte	20 / 85
17.3R	9-10	37.01	31.55	17.3	Fichte	20 / 85
18.3L	2-3	42.30	35.98	17.6	Fichte	20 / 85
18.3L	6-7	38.34	32.73	17.1	Fichte	20 / 85
18.3R	2-3	41.01	34.88	17.6	Fichte	20 / 85
18.3R	8-9	38.99	33.23	17.3	Fichte	20 / 85
19.3L	2-3	29.85	25.48	17.2	Fichte	20 / 85
19.3L	8-9	38.57	32.86	17.4	Fichte	20 / 85
19.3R	3-4	37.83	32.17	17.6	Fichte	20 / 85
19.3R	8-9	37.29	31.79	17.3	Fichte	20 / 85
n				28		
<b>Mittelwert</b>				<b>17.1</b>		
Minimalwert				15.9		
Maximalwert				17.8		
3.3L	1-2	37.79	32.19	17.4	Lärche	20 / 85
3.3L	4-5	36.95	31.32	18.0	Lärche	20 / 85
3.3L	9-10	33.69	28.65	17.6	Lärche	20 / 85
3.3R	1-2	42.51	36.30	17.1	Lärche	20 / 85
3.3R	5-6	47.84	40.72	17.5	Lärche	20 / 85
3.3R	9-10	31.89	27.10	17.7	Lärche	20 / 85
7.3L	1-2	46.99	40.10	17.2	Lärche	20 / 85
7.3L	5-6	45.74	38.95	17.4	Lärche	20 / 85
7.3R	1-2	39.55	33.73	17.3	Lärche	20 / 85
7.3R	5-6	27.40	23.24	17.9	Lärche	20 / 85
15.3	2-3	52.20	44.21	18.1	Lärche	20 / 85
15.3	8-9	45.86	39.07	17.4	Lärche	20 / 85
<b>Mittelwert</b>				<b>17.5</b>		
6.3L	1-2	54.12	46.59	16.2	Douglasie	20 / 85
6.3L	4-5	57.99	50.14	15.7	Douglasie	20 / 85
6.3R	1-2	60.65	52.20	16.2	Douglasie	20 / 85
6.3R	3-4	56.72	49.26	15.1	Douglasie	20 / 85
16.3	1-2	27.85	23.96	16.2	Douglasie	20 / 85
16.3	7-8	28.35	24.51	15.7	Douglasie	20 / 85
<b>Mittelwert</b>				<b>15.8</b>		
8.3L	5-6	29.90	25.52	17.2	Kiefer	20 / 85
8.3L	7-8	36.24	30.76	17.8	Kiefer	20 / 85
8.3R	1-2	29.48	25.14	17.3	Kiefer	20 / 85
8.3R	5-6	33.19	28.74	15.5	Kiefer	20 / 85
8.3R	7-8	34.42	29.33	17.4	Kiefer	20 / 85
<b>Mittelwert</b>				<b>17.0</b>		
n <sub>gesamt</sub>				51		
<b>Mittelwert<sub>gesamt</sub></b>				<b>17.1</b>		
Minimalwert <sub>gesamt</sub>				15.1		
Maximalwert <sub>gesamt</sub>				18.1		

Tabelle 6.27: Holzfeuchte der Proben nach Wässerung und anschliessender Trocknung bei 20°C / 35% rel. Luftfeuchte

Probe		Gewicht mu [g]	Gewicht mo [g]	Holzfeuchte [%]	Holzart	Lagerklima [°C / % LF]
1.4L	1-2	41.23	37.70	9.4	Fichte	20 / 35
1.4L	5-6	50.85	46.75	8.8	Fichte	20 / 35
1.4L	9-10	46.62	42.79	9.0	Fichte	20 / 35
1.4R	1-2	38.38	35.15	9.2	Fichte	20 / 35
1.4R	5-6	44.48	40.79	9.0	Fichte	20 / 35
1.4R	9-10	49.74	45.70	8.8	Fichte	20 / 35
5.4L	3-4	33.47	30.79	8.7	Fichte	20 / 35
5.4L	6-7	45.48	41.89	8.6	Fichte	20 / 35
5.4R	3-4	39.95	36.72	8.8	Fichte	20 / 35
5.4R	6-7	41.68	38.42	8.5	Fichte	20 / 35
9.4L	2-3	38.32	35.23	8.8	Fichte	20 / 35
9.4L	6-7	37.95	34.89	8.8	Fichte	20 / 35
9.4L	9-10	43.73	40.21	8.8	Fichte	20 / 35
9.4R	2-3	39.16	35.91	9.1	Fichte	20 / 35
9.4R	6-7	36.20	33.25	8.9	Fichte	20 / 35
9.4R	9-10	41.46	38.13	8.7	Fichte	20 / 35
14.4	1-2	36.55	33.62	8.7	Fichte	20 / 35
14.4	7-8	29.76	27.37	8.7	Fichte	20 / 35
14.4	5-6	32.84	30.18	8.8	Fichte	20 / 35
17.4L	1-2	38.39	35.23	9.0	Fichte	20 / 35
17.4L	9-10	39.27	35.95	9.2	Fichte	20 / 35
17.4L	5-6	40.99	37.68	8.8	Fichte	20 / 35
17.4R	1-2	33.96	31.24	8.7	Fichte	20 / 35
17.4R	5-6	35.66	32.78	8.8	Fichte	20 / 35
17.4R	9-10	31.92	29.32	8.9	Fichte	20 / 35
18.4L	1-2	28.27	26.01	8.7	Fichte	20 / 35
18.4L	5-6	29.26	26.88	8.9	Fichte	20 / 35
18.4L	9-10	36.12	33.24	8.7	Fichte	20 / 35
18.4R	2-3	41.40	38.14	8.5	Fichte	20 / 35
18.4R	7-8	33.20	30.59	8.5	Fichte	20 / 35
19.4L	2-3	31.49	29.00	8.6	Fichte	20 / 35
19.4L	8-9	32.99	30.39	8.6	Fichte	20 / 35
19.4R	3-4	37.07	34.12	8.6	Fichte	20 / 35
19.4R	6-7	38.14	35.15	8.5	Fichte	20 / 35
n				34		
<b>Mittelwert</b>				<b>8.8</b>		
Minimalwert				8.5		
Maximalwert				9.4		
2.4L	0-1	34.99	32.30	8.3	Buche	20 / 35
2.4L	1-2	42.90	39.60	8.3	Buche	20 / 35
2.4L	5-6	45.98	42.42	8.4	Buche	20 / 35
2.4L	9-10	35.73	32.98	8.3	Buche	20 / 35
2.4L	15-16	46.92	43.33	8.3	Buche	20 / 35
2.4L	17-18	49.37	45.60	8.3	Buche	20 / 35
2.4R	0-1	47.33	43.78	8.1	Buche	20 / 35
2.4R	1-2	49.77	45.88	8.5	Buche	20 / 35
2.4R	15-16	46.80	43.19	8.4	Buche	20 / 35
2.4R	17-18	47.51	43.89	8.2	Buche	20 / 35
<b>Mittelwert</b>				<b>8.3</b>		
3.4L	1-2	28.75	26.37	9.0	Lärche	20 / 35
3.4L	5-6	40.72	37.40	8.9	Lärche	20 / 35
3.4L	9-10	35.82	32.90	8.9	Lärche	20 / 35
3.4R	2-3	29.65	27.23	8.9	Lärche	20 / 35
3.4R	5-6	45.25	41.66	8.6	Lärche	20 / 35
3.4R	8-9	42.71	39.28	8.7	Lärche	20 / 35
15.4	1-2	42.75	39.40	8.5	Lärche	20 / 35
15.4	5-6	45.84	42.27	8.4	Lärche	20 / 35
15.4	9-10	41.63	38.32	8.6	Lärche	20 / 35
<b>Mittelwert</b>				<b>8.7</b>		

Probe		Gewicht mu [g]	Gewicht mo [g]	Holzfeuchte [%]	Holzart	Lagerklima °C / % LF
4.4L	1-2	68.00	62.96	8.0	Esche	20 / 35
4.4L	4-5	53.63	49.66	8.0	Esche	20 / 35
4.4L	7-8	72.11	66.71	8.1	Esche	20 / 35
4.4R	1-2	64.03	59.28	8.0	Esche	20 / 35
4.4R	4-5	47.19	43.70	8.0	Esche	20 / 35
4.4R	7-8	63.23	58.50	8.1	Esche	20 / 35
5.4L	1-2	59.30	54.91	8.0	Esche	20 / 35
5.4L	8-9	78.13	72.36	8.0	Esche	20 / 35
5.4R	1-2	68.31	63.18	8.1	Esche	20 / 35
5.4R	8-9	70.17	64.92	8.1	Esche	20 / 35
10.4L	1-2	54.81	50.61	8.3	Esche	20 / 35
10.4R	1-2	55.66	51.48	8.1	Esche	20 / 35
10.4R	5-6	57.30	52.90	8.3	Esche	20 / 35
10.4R	8-9	50.60	46.73	8.3	Esche	20 / 35
11.4L	1-2	59.82	55.27	8.2	Esche	20 / 35
11.4L	5-6	58.30	53.87	8.2	Esche	20 / 35
11.4L	8-9	56.76	52.38	8.4	Esche	20 / 35
11.4R	1-2	56.77	52.48	8.2	Esche	20 / 35
11.4R	5-6	56.73	52.39	8.3	Esche	20 / 35
11.4R	8-9	50.06	46.23	8.3	Esche	20 / 35
12.4L	1-2	60.20	55.61	8.3	Esche	20 / 35
12.4L	5-6	55.25	51.01	8.3	Esche	20 / 35
12.4L	8-9	49.90	46.08	8.3	Esche	20 / 35
12.4R	1-2	53.97	49.90	8.2	Esche	20 / 35
12.4R	5-6	56.51	52.23	8.2	Esche	20 / 35
12.4R	8-9	43.89	40.55	8.2	Esche	20 / 35
13.4L	1-2	58.97	54.52	8.2	Esche	20 / 35
13.4L	5-6	53.41	49.34	8.2	Esche	20 / 35
13.4L	8-9	48.07	44.39	8.3	Esche	20 / 35
13.4R	3-4	54.92	50.74	8.2	Esche	20 / 35
13.4R	5-6	58.75	54.30	8.2	Esche	20 / 35
13.4R	8-9	46.32	42.76	8.3	Esche	20 / 35
n				32		
Mittelwert				8.2		
Minimalwert				8.0		
Maximalwert				8.4		
6.4L	1-2	49.93	46.07	8.4	Douglasie	20 / 35
6.4L	4-5	62.72	57.87	8.4	Douglasie	20 / 35
6.4R	1-2	51.49	47.49	8.4	Douglasie	20 / 35
6.4R	4-5	49.94	46.02	8.5	Douglasie	20 / 35
16.4	1-2	24.45	22.59	8.2	Douglasie	20 / 35
16.4	5-6	27.15	25.01	8.6	Douglasie	20 / 35
16.4	9-10	27.44	25.26	8.6	Douglasie	20 / 35
Mittelwert				8.4		
7.4L	2-3	31.35	28.84	8.7	Lärche	20 / 35
7.4L	5-6	45.43	41.84	8.6	Lärche	20 / 35
7.4R	2-3	45.22	41.67	8.5	Lärche	20 / 35
7.4R	5-6	45.47	41.94	8.4	Lärche	20 / 35
Mittelwert				8.6		
8.4L	1-2	24.24	22.19	9.2	Seekiefer	20 / 35
8.4L	4-5	28.24	25.95	8.8	Seekiefer	20 / 35
8.4L	8-9	36.19	33.24	8.9	Seekiefer	20 / 35
8.4R	1-2	27.09	24.85	9.0	Seekiefer	20 / 35
8.4R	4-5	30.38	27.90	8.9	Seekiefer	20 / 35
8.4R	8-9	37.32	34.25	9.0	Seekiefer	20 / 35
Mittelwert				9.0		
n <sub>gesamt</sub>				102		
Mittelwert <sub>gesamt</sub>				8.5		
Minimalwert <sub>gesamt</sub>				8.0		
Maximalwert <sub>gesamt</sub>				9.4		

## 6.4 Vergleich der Versuchsergebnisse der Delaminierungsprüfung und der Scherprüfung

### 6.4.1 Versuchsergebnisse der einzelnen Klebfugen

In Tabelle 6.28 bis Tabelle 6.46 sind die Versuchsergebnisse der Serien 1 bis 19 tabellarisch zusammengestellt. Werte, welche den Anforderungen gemäss EN 386:2001 nicht genügen sind rot eingetragen. Verglichen wurden die Resultate der Delaminierungsprüfungen mit den Resultaten der Scherprüfung an Prüfkörpern mit Lagerung bei 20°C / 65% rel. Luftfeuchte (Serie 1.1 bis 19.1).

Tabelle 6.28: Versuchsergebnisse Serie 1

Holzart: Fichte

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 160 mm

Lamellendicke: 41 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]			Festigkeit [MPa]	Faserbelag [%]	Bem.	Festigkeit [MPa]	Faserbelag [%]	Bem.	Festigkeit [MPa]	Faserbelag [%]	Bem.
		Verfahren											
		B	A										
1	1	0.0	0.0	5.6	10.6	85		9.6	80		11.5	90	
1	2	0.0	2.2	6.3	11.3	100		10.7	100		12.0	100	
1	3	7.8	9.1	9.1	9.0	63		9.9	100		8.2	25	
1	4	0.0	0.0	0.0	8.6	85		8.6	70		8.6	100	
1	5	7.5	12.5	14.4	11.3	75		10.8	50		11.9	100	
1	6	0.0	0.0	0.0	9.3	75		9.3	50		9.3	100	
1	7	17.8	2.2	3.8	9.9	88		9.5	75		10.4	100	
1	8	2.2	9.1	9.7	8.2	85		8.5	70		7.9	100	
1	9	0.0	5.0	6.9	9.3	90		9.3	80		9.3	100	
1	10	0.0	4.7	4.7	11.0	93		11.0	85		11.0	100	
gesamt		3.5%	4.5%	6.0%									
Mittelwert [MPa]					9.8	84		9.7	76		9.8	92	
Prüfreihe(n)		1	2	3									
Anforderung		max. 4%	max. 5%	max. 10%									
Ergebnis: Anf.		erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		0	0	0	0			0			1		

Tabelle 6.29: Versuchsergebnisse Serie 2

Holzart: Buche

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 100 mm

Lamellendicke: 30 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	C	Mittelwert			links			rechts		
2	1	71.0	10.0	15.2	70		14.9	100		15.6	40	
2	2	66.5	3.5	19.5	93		18.3	100		20.8	85	
2	3	40.0	34.0	18.8	68		16.4	100		21.2	35	
2	4	11.0	0.0	19.6	100		18.7	100		20.5	100	
2	5	15.5	0.0	16.9	100		17.3	100		16.5	100	
2	6	0.0	2.0	17.6	95		18.1	100		17.2	90	
2	7	35.5	3.5	20.0	100		20.8	100		19.2	100	
2	8	71.0	16.5	18.0	95		17.4	100		18.6	90	
2	9	44.5	0.0	14.7	100		13.9	100		15.4	100	
2	10	24.5	0.0	20.2	90		19.8	80		20.6	100	
2	11	2.5	0.0	18.6	100		17.1	100		20.2	100	
2	12	8.0	2.0	16.1	100		15.0	100		17.3	100	
2	13	0.0	0.0	13.1	85		15.6	70		10.5	100	Mark
2	14	52.0	37.0	18.8	100		17.8	100		19.7	100	
2	15	48.0	12.5	17.9	100		15.0	100		20.9	100	
2	16	6.0	0.0	16.2	100		17.1	100		15.3	100	
2	17	12.5	7.0	17.1	100		16.4	100		17.8	100	
2	18	4.5	9.0	17.2	100		15.9	100		18.4	100	
2	19	63.5	51.5	19.7	100		19.2	100	Ast	20.1	100	
gesamt		30.3%	9.9%									
Mittelwert [MPa]				17.6	94		17.1	97		18.2	92	
Prüfreihe		1	1									
Anforderung		max. 4%	max. 10%									
Ergebnis: Anf.		nicht erfüllt	nicht erfüllt <sup>1</sup>	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		7	1	0			0			0		

<sup>1</sup> Höchstprozentansatz von Fuge 19 nicht erfüllt

Tabelle 6.30: Versuchsergebnisse Serie 3

Holzart: Lärche

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 100 mm

Lamellendicke: 30 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	A	Mittelwert			links			rechts		
3	1	5.0	11.5	14.4	93		14.7	85	Ast	14.2	100	
3	2	0.0	7.0	10.3	93		10.7	100		10.0	85	
3	3	0.0	5.0	12.2	100		12.6	100		11.8	100	
3	4	0.0	0.0	13.8	100		13.0	100		14.7	100	
3	5	0.0	0.0	11.3	93		10.3	100		12.3	85	
3	6	0.0	0.0	14.5	85		14.0	95		14.9	75	Ast
3	7	0.0	0.0	10.4	85		11.1	100		9.7	70	
3	8	0.0	0.0	10.5	80		12.4	75	Ast	8.6	85	Ast
3	9	3.5	7.0	9.5	100		9.1	100		9.8	100	
3	10	0.0	0.0	11.5	90		11.8	80		11.1	100	
gesamt		0.9%	3.1%									
Mittelwert [MPa]				11.8	92		12.0	93.5		11.7	90	
Prüfreihe(n)		1	2									
Anforderung		max. 4%	max. 5%									
Ergebnis: Anf.		erfüllt	erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		0	0	0			0			0		

Tabelle 6.31: Versuchsergebnisse Serie 4

Holzart: Esche

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 140 mm

Lamellendicke: 41 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	C	Mittelwert			links			rechts		
4	1	77.5	31.8	18.9	98		17.3	100		20.6	95	
4	2	83.9	32.1	19.8	93		21.2	100		18.4	85	
4	3	71.4	49.3	19.2	75		21.6	100		16.8	50	
4	4	100.0	71.8	19.6	33		20.9	40		18.3	25	
4	5	100.0	14.3	18.9	73		18.6	50		19.2	95	
4	6	92.9	26.4	21.4	85		21.0	80		21.7	90	
4	7	91.8	63.6	18.0	55		16.7	80		19.2	30	
4	8	64.3	45.7	17.2	90		16.3	100		18.1	80	
gesamt		85.2%	41.9%									
Mittelwert [MPa]				19.1	75		19.2	81		19.0	69	
Prüfreihe		1	1									
Anforderung		max. 4%	max. 10%									
Ergebnis: Anf.		nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		8	4	0			0			0		

Tabelle 6.32: Versuchsergebnisse Serie 5

Holzart: Esche-Fichte

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 140 mm

Lamellendicke: 41 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	C	Mittelwert			links			rechts		
5	1	8.0	0.0	19.4	98		18.6	100		20.2	95	
5	2	14.7	30.0	10.4	95				Ast	10.4	95	
5	3	0.0	2.0	11.3	95		11.1	95		11.5	95	
5	4	6.0	10.3	10.4	98		10.5	100		10.3	95	
5	5	18.7	6.7	11.4	93		11.1	90		11.6	95	
5	6	27.0	3.0	11.6	100		10.7	100		12.4	100	
5	7	2.7	6.0	10.5	85		8.7	70	Ast	12.2	100	
5	8	42.0	22.7	10.7	93		9.5	95		12.0	90	
5	9	95.7	89.7	11.8	45		15.3	85		8.3	5	<Dicke
gesamt		23.9%	18.9%									
Mittelwert [MPa]				11.9	89		11.9	92		12.1	86	
Prüfreihe		1	1									
Anforderung		max. 4%	max. 10%									
Ergebnis: Anf.		nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		2	1	0			0			1		

Tabelle 6.33: Versuchsergebnisse Serie 6

Holzart: Douglasie

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 160 mm

Lamellendicke: 43 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	A	Mittelwert			links			rechts		
6	1	1.3	3.4	9.9	85		8.2	70		11.6	100	
6	2	0.0	7.8	10.6	93		9.1	85		12.2	100	
6	3	0.0	2.8	12.3	98		12.6	100		12.1	95	
6	4	2.8	3.1	10.4	90		10.4	95		10.4	85	
6	5	0.0	0.0	10.5	95		11.3	95		9.7	95	
gesamt		0.8%	3.4%									
Mittelwert [MPa]				10.8	92		10.3	89		11.2	95	
Prüfreihe(n)		1	2									
Anforderung		max. 4%	max. 5%									
Ergebnis: Anf.		erfüllt	erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		0	0	0			0			0		

Tabelle 6.34: Versuchsergebnisse Serie 7

Holzart: Douglasie

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 160 mm

Lamellendicke: 32 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	A	Mittelwert			links			rechts		
7	1	0.0	0.0	13.5	95		12.6	90		14.4	100	
7	2	0.0	0.0	12.9	100		12.3	100		13.5	100	
7	3	0.0	0.0	11.4	88		11.2	80		11.6	95	
7	4	6.3	0.0	14.4	98		14.4	95		14.4	100	
7	5	0.0	1.8	11.3	93		10.7	95		12.0	90	
7	6	6.9	6.1	11.9	70				Ast	11.9	70	
7	7	0.0	0.0	11.2	95		11.4	90	Ast	11.0	100	
gesamt		1.9%	1.1%									
Mittelwert [MPa]				12.4	91		12.1	92		12.7	94	
Prüfreihe(n)		1	2									
Anforderung		max. 4%	max. 5%									
Ergebnis: Anf.		erfüllt	erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		0	0	0			0			0		

Tabelle 6.35: Versuchsergebnisse Serie 8

Holzart: Seekiefer

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 160 mm

Lamellendicke: 25 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	A	Mittelwert			links			rechts		
8	1	0.0	0.0	12.4	100		11.2	100		13.7	100	
8	2	0.0	0.0	14.3	100		13.7	100		15.0	100	
8	3	0.0	0.0	15.5	95		15.0	90		15.9	100	
8	4	14.1	0.0	13.5	93		12.4	95		14.7	90	
8	5	0.0	0.0	13.1	100		12.8	100		13.3	100	
8	6	0.0	0.0	12.8	100		12.5	100		13.1	100	
8	7	0.0	0.9	13.9	88		12.9	75		14.9	100	
8	8	0.0	0.0	13.3	100		12.7	100		13.8	100	
8	9	0.0	0.0	13.5	85		12.9	80		14.2	90	
gesamt		1.6%	0.1%									
Mittelwert [MPa]				13.6	96		12.9	93		14.3	98	
Prüfreihe(n)		1	2									
Anforderung		max. 4%	max. 5%									
Ergebnis: Anf.		erfüllt	erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		0	0	0			0			0		

Tabelle 6.36: Versuchsergebnisse Serie 9

Holzart: Fichte

Klebstoff: PUR

Breite Querschnittsscheibe: 180 mm

Lamellendicke: 41 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	A	Mittelwert			links			rechts		
9	1	2.8	0.0	10.4	83		10.5	95		10.2	70	
9	2	2.2	2.5	10.4	100		9.7	100		11.1	100	
9	3	0.8	0.0	10.4	100		9.9	100		11.0	100	
9	4	0.8	0.0	9.0	100		7.5	100		10.4	100	
9	5	0.0	0.0	10.3	85		10.7	70		10.0	100	
9	6	0.0	0.0	9.6	100		9.1	100		10.2	100	
9	7	1.7	0.8	10.6	100		11.1	100		10.1	100	
9	8	0.0	11.1	9.9	100		9.6	100		10.3	100	
9	9	1.4	0.0	10.3	100		9.1	100		11.6	100	
9	10	0.8	0.0	8.8	100		10.1	100		7.5	100	
9	11	0.0	0.0	11.5	100		9.6	100		13.3	100	
gesamt		1.0%	1.3%									
Mittelwert [MPa]				10.1	97		9.7	97		10.5	97	
Prüfreihe(n)		1	2									
Anforderung		max. 4%	max. 5%									
Ergebnis: Anf.		erfüllt	erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		0	0	0			0			0		

Tabelle 6.37: Versuchsergebnisse Serie 10

Holzart: Esche

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 200 mm

Lamellendicke: 35 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	C	Mittelwert			links			rechts		
10	1	7.3	11.3	19.1	93		20.3	85		17.8	100	
10	2	21.8	0.0	19.0	98		19.4	95		18.6	100	
10	3	10.0	2.0	19.0	80				Riss	19.0	80	
10	4	9.8	22.5	18.4	98		17.9	95			18.9	100
10	5	0.0	2.5	18.5	100		17.3	100		19.8	100	
10	6	53.5	6.0	15.5	93		19.1	100		11.9	85	wenig Klebst.
10	7	1.8	7.0	18.4	68		18.3	55		18.5	80	
10	8	57.5	38.8	20.5	75		18.6	65		22.3	85	
10	9	12.5	0.8	17.0	75		18.2	100		15.8	50	
gesamt		19.3%	10.1%									
Mittelwert [MPa]				18.4	86		18.6	87		18.1	87	
Prüfreihe		1	1									
Anforderung		max. 4%	max. 10%									
Ergebnis: Anf.		nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		2	0	0			0			0		

Tabelle 6.38: Versuchsergebnisse Serie 11

Holzart: Esche

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 200 mm

Lamellendicke: 35 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.			
		Verfahren		[MPa]	[%]			[MPa]		[%]			[MPa]	[%]	
		B	C	Mittelwert			links			rechts					
11	1	1.8	14.8	18.4	80		18.4	80		18.4	80				
11	2	4.8	22.3	20.2	100		20.2	100		20.2	100				
11	3	19.3	0.0	20.6	95		20.6	95		20.6	95				
11	4	11.8	17.0	18.6	95		18.6	95		18.6	95				
11	5	0.0	3.8	20.3	100		20.3	100		20.3	100				
11	6	20.3	1.8	16.1	100		16.1	100		16.1	100				
11	7	9.5	0.0	19.9	100		19.9	100		19.9	100				
11	8	14.5	57.0	20.0	100		20.0	100		20.0	100				
11	9	16.8	4.3	19.6	90		19.6	90		19.6	90				
gesamt		10.9%	13.4%												
Mittelwert [MPa]				19.3	96		19.3	96		19.3	96				
Prüfreihe		1	1												
Anforderung		max. 4%	max. 10%												
Ergebnis: Anfn ungenügend		nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt					
		0	1	0			0			0					

Tabelle 6.39: Versuchsergebnisse Serie 12

Holzart: Esche

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 200 mm

Lamellendicke: 34 mm

Besonderes: Oberfläche geschliffen, Klebstoffauftrag beidseitig

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	C	Mittelwert			links			rechts		
12	1	0.0	0.0	19.6	98		19.0	95		20.2	100	
12	2	0.0	0.0	17.6	63		18.6	100		16.5	25	
12	3	2.0	0.0	18.7	90		17.9	100		19.5	80	
12	4	0.0	0.0	18.3	83		15.7	70		20.9	95	
12	5	0.0	0.0	16.5	65		13.5	35		19.6	95	
12	6	0.0	0.0	18.5	85		19.5	80		17.6	90	
12	7	0.0	0.0	19.6	93		18.6	95		20.6	90	
12	8	0.0	0.0	17.5	100		17.0	100		18.1	100	
12	9	0.0	0.0	18.2	98		18.1	95		18.4	100	
gesamt		0.2%	0.0%									
Mittelwert [MPa]				18.3	86		17.5	86		19.0	86	
Prüfreihe		1	1									
Anforderung		max. 4%	max. 10%									
Ergebnis: Anf.		erfüllt	erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		0	0	0			0			0		

Tabelle 6.40: Versuchsergebnisse Serie 13

Holzart: Esche

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 200 mm

Lamellendicke: 34 mm

Besonderes: Oberfläche geschliffen, Klebstoffauftrag beidseitig

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	C	Mittelwert			links			rechts		
13	1	0.0	0.0	19.9	93		19.5	100		20.3	85	
13	2	0.0	0.0	20.3	98		21.3	100		19.4	95	
13	3	4.5	9.8	14.1	100		17.9	100		10.2	100	Riss
13	4	0.0	0.0	18.2	85		18.4	75		17.9	95	
13	5	0.0	0.0	17.3	75		17.3	50		17.3	100	
13	6	1.8	0.0	19.7	100		20.3	100		19.1	100	
13	7	0.0	0.0	19.7	75		21.2	95		18.3	55	
13	8	0.0	8.5	18.6	83		18.5	100		18.6	65	
13	9	0.0	0.0	18.0	100		17.9	100		18.2	100	
gesamt		0.7%	2.0%									
Mittelwert [MPa]				18.4	90		19.2	91		17.7	88	
Prüfreihe		1	1									
Anforderung		max. 4%	max. 10%									
Ergebnis: Anf.		erfüllt	erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		0	0	0			0			0		

Tabelle 6.41: Versuchsergebnisse Serie 14

Holzart: Fichte

Klebstoff: EPI

Breite Querschnittsscheibe: 75 mm

Lamellendicke: 40 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]				Festigkeit [MPa]	Faserbelag [%]	Bem.
		Verfahren						
		B		A				
14	1	0.0	0.0	15.3	20.7	10.9	100	
14	2	13.3	28.0	22.7	22.7	9.7	100	
14	3	4.0	3.3	14.7	8.0	4.7	100	
14	4	8.0	8.0	17.3	18.7	9.6	80	
14	5	14.7	18.0	0.0	10.0	9.8	85	
14	6	0.0	0.0	9.3	10.7	11.3	100	
14	7	0.0	4.7	0.0	0.0	8.6	80	
14	8	4.7	8.7	0.0	6.0	10.2	75	
14	9	0.0	4.0	0.0	0.0	8.0	80	
gesamt		5.0%	8.3%	8.8%	10.7%			
Mittelwert [MPa]						9.2	89	
Prüfreihe(n)		1	2	2	3			
Anforderung		max. 4%	max. 8%	max. 5%	max. 10%			
Ergebnis: Anf.		nicht erfüllt		nicht erfüllt		erfüllt		
n ungenügend		0	0	0	0	0		

Tabelle 6.42: Versuchsergebnisse Serie 15

Holzart: Lärche

Klebstoff: EPI

Breite Querschnittsscheibe: 75 mm

Lamellendicke: 38 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit [MPa]	Faserbelag [%]	Bem.
		Verfahren				
		B	A			
15	1	48.7	3.3	14.0	100	
15	2	38.7	10.7	8.7	50	
15	3	23.3	8.7	11.1	75	
15	4	0.0	22.7	10.4	10	
15	5	0.0	26.0	15.7	100	
15	6	0.0	0.0	12.5	100	
15	7	11.3	14.7	11.7	100	
15	8	0.0	9.3	12.8	100	
15	9	0.0	0.0	10.9	90	
15	10	0.0	5.3	9.8	100	
gesamt		12.2%	10.1%			
Mittelwert [MPa]				11.8	83	
Prüfreihe(n)		1	2			
Anforderung		max. 4%	max. 5%			
Ergebnis: Anf.		nicht erfüllt	nicht erfüllt	Fuge 4 nicht erfüllt		
n ungenügend		1	0	1		

Tabelle 6.43: Versuchsergebnisse Serie 16

Holzart: Douglasie

Klebstoff: EPI

Breite Querschnittsscheibe: 75 mm

Lamellendicke: 30 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]			Festigkeit [MPa]	Faserbelag [%]	Bem.
		Verfahren					
		B	A				
16	1	5.2	18.0	20.0	11.3	70	
16	2	0.0	0.0	0.0	6.8	70	
16	3	17.5	7.3	10.0	10.5	20	
16	4	5.8	0.0	2.0	9.2	95	
16	5	5.8	0.0	0.0	11.0	85	
16	6	24.0	16.0	18.0	8.7	90	
16	7	8.4	2.7	3.3	9.9	95	
16	8	0.0	10.0	11.3	10.3	60	
16	9	0.0	24.0	24.7	10.6	55	
16	10	6.5	9.3	12.0	10.0	80	
gesamt		7.3%	8.7%	10.1%			
Mittelwert [MPa]					9.8	72	
Prüfreihe(n)		1	2	3			
Anforderung		max. 4%	max. 5%	max. 10%			
Ergebnis: Anf.		nicht erfüllt		nicht erfüllt	erfüllt		
n ungenügend		0	0	0	0		

Tabelle 6.44: Versuchsergebnisse Serie 17

Holzart: Fichte

Klebstoff: UF

Breite Querschnittsscheibe: 140 mm

Lamellendicke: 34 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	A	Mittelwert			links			rechts		
17	1	0.0	7.5	9.5	58		8.8	40		10.2	75	
17	2	0.0	3.9	9.3	38		8.9	45		9.8	30	
17	3	0.0	0.0	9.6	78		9.1	85		10.1	70	
17	4	1.1	0.0	8.0	60		7.9	40		8.1	80	
17	5	20.0	0.0	11.0	50				Ast	11.0	50	
17	6	11.8	0.0	10.1	53		10.5	40		9.7	65	
17	7	7.1	0.0	9.7	35		9.4	40		9.9	30	
17	8	0.0	8.2	10.5	50		9.8	50		11.2	50	
17	9	0.0	0.0	10.9	88		11.6	75		10.1	100	
17	10	0.0	0.0	10.0	88		9.6	95		10.3	80	Ast
gesamt		4.0%	2.0%									
Mittelwert [MPa]				9.8	60		9.5	57		10.0	63	
Prüfreihe(n)		1	2									
Anforderung		max. 4%	max. 5%									
Ergebnis: Anf.		erfüllt	erfüllt	erfüllt			nicht erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		0	0	0			1			0		

Tabelle 6.45: Versuchsergebnisse Serie 18

Holzart: Fichte

Klebstoff: RF

Breite Querschnittsscheibe: 140 mm

Lamellendicke: 34 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	A	Mittelwert			links			rechts		
18	1	0.0	0.0	6.5	70		6.5	85		6.5	55	
18	2	0.0	0.0	8.7	88		8.7	85		8.7	90	
18	3	0.0	0.0	10.3	80		10.3	70		10.3	90	
18	4	0.0	0.0	11.2	98		11.2	95		11.2	100	
18	5	0.0	0.0	7.0	73		7.0	65		7.0	80	Ast
18	6	0.0	0.0	10.4	85		10.4	75		10.4	95	
18	7	0.0	0.0	9.7	78		9.7	85		9.7	70	
18	8	0.0	0.0	10.1	90		10.1	80		10.1	100	
18	9	0.0	2.1	10.9	78		10.9	75		10.9	80	
18	10	0.0	0.0	9.9	85		9.9	90		9.9	80	
gesamt		0.0%	0.2%									
Mittelwert [MPa]				9.5	82		9.5	81		9.5	84	
Prüfreihe(n)		1	2									
Anforderung		max. 4%	max. 5%									
Ergebnis: Anf.		erfüllt	erfüllt	erfüllt			erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		0	0	0			0			1		

Tabelle 6.46: Versuchsergebnisse Serie 19

Holzart: Fichte

Klebstoff: MUF

Breite Querschnittsscheibe: 140 mm

Lamellendicke: 34 mm

Serie	Fuge	Delaminierung [%]		Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.	Festigkeit	Faserbelag	Bem.
		Verfahren		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]		[MPa]	[%]	
		B	A	Mittelwert			links			rechts		
19	1	0.0	0.0	9.8	85				Ast	9.8	85	
19	2	4.3	5.4	9.7	68		9.6	45		9.8	90	
19	3	23.2	12.1	9.5	55		8.7	35		10.3	75	
19	4	42.9	38.2	7.0	55		8.5	30		5.4	80	
19	5	5.4	16.4	7.5	78		7.5	75		7.4	80	
19	6	5.4	10.0	9.4	38		8.5	30		10.3	45	
19	7	30.7	17.5	11.2	28		10.9	20		11.4	35	
19	8	29.6	23.9						Ast			Ast
19	9	5.4	18.2	6.5	65		6.5	65				Ast
19	10	0.0	0.0	8.5	55		8.1	40		8.9	70	Ast
gesamt		14.7%	14.2%									
Mittelwert [MPa]				8.8	58		8.5	43		9.1	70	
Prüfreihe(n)		1	2									
Anforderung		max. 4%	max. 5%									
Ergebnis: Anf.		nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt			nicht erfüllt			erfüllt		
n ungenügend		1	0	2			5			1		

### 6.4.2 Versuchsergebnisse der Prüfkörper (alle Klebfugen betrachtet)

Gemäss EN 391:2001 darf eine Delaminierung, die durch Äste verursacht wird nicht in die Auswertung einfließen. Bei der Scherprüfung gemäss EN 392:1995 werden Probekörper mit Ästen nicht ausgeschlossen. Weil es sich bei dieser Arbeit um einen Methodenvergleich handelt, werden hier die ungenügenden Scherprüfungswerte mit Ästen nicht berücksichtigt.

Tabelle 6.47: Versuchsergebnisse der Delaminierungsprüfung und der Scherprüfung der Klebfugen

Serie	Delaminierung						Scherprüfung <sup>1</sup>
	Verfahren B		Verfahren A		Verfahren C		Anforderung erfüllt
	Anforderung erfüllt		Anforderung erfüllt		Anforderung erfüllt		
1	ja		ja				ja
2		nein				nein	ja
3	ja		ja				ja
4		nein				nein	ja
5		nein				nein	ja
6	ja		ja				ja
7	ja		ja				ja
8	ja		ja				ja
9	ja		ja				ja
10		nein				nein	ja
11		nein				nein	ja
12	ja				ja		ja
13	ja				ja		ja
14		nein		nein			ja
15		nein		nein			nein
16	ja			nein			ja
17	ja		ja				ja
18	ja		ja				ja
19		nein		nein			nein

<sup>1</sup> nur Vergleichsproben aus Variante 1 (Lagerung 20°C / 65% rel. Luftfeuchte, nicht geklemmt)

### 6.4.3 Zusammenfassende Betrachtung

Die Tabelle 6.48 enthält eine Zusammenstellung der Versuchsergebnisse aller Prüfkörper. Die Tabelle 6.49 enthält nur die Versuchsergebnisse der Prüfkörper aus Nadelholz und die Tabelle 6.50 nur die Versuchsergebnisse der Prüfkörper aus Laubholz. Für den Vergleich der Versuchsergebnisse der beiden Prüfungen wurde der Mittelwert der Scherprüfungswerte je Fuge ermittelt und dieser Wert mit der Anforderung an den Einzelwert gemäss EN 386:2001 verglichen.

Von den Nadelholzproben konnte bei 11 von 12 geprüften Serien (= 92%) zwischen der Scherprüfung und der Delaminierungsprüfung Verfahren B eine Übereinstimmung festgestellt werden. Bei der Delaminierungsprüfung nach Verfahren A ist die Übereinstimmung mit 83% etwas geringer (siehe Tabelle 6.49). Bei den Laubholzproben wurde bei Prüfung nach dem Verfahren B und nach dem Verfahren C bei 2 von 7 geprüften Serien (= 29%) eine Übereinstimmung zwischen der Scherprüfung und der Delaminierungsprüfung festgestellt (siehe Tabelle 6.50).

*Tabelle 6.48: Zusammenfassender Vergleich sämtlicher Versuchsergebnisse aus der Scherprüfung und den Delaminierungsprüfungen gemäss Verfahren B, A und C*

	Scherprüfung - B	Scherprüfung - A	Scherprüfung - C
gesamt	19	12	7
Übereinstimmung	13	10	2
Widerspruch	6	2	5

*Tabelle 6.49: Zusammenfassender Vergleich der Versuchsergebnisse aus der Scherprüfung und den Delaminierungsprüfungen gemäss Verfahren B, A und C: Nadelholz*

	Scherprüfung - B	Scherprüfung - A	Scherprüfung - C
gesamt	12	12	0
Übereinstimmung	11	10	0
Widerspruch	1	2	0

*Tabelle 6.50: Zusammenfassender Vergleich der Versuchsergebnisse aus der Scherprüfung und den Delaminierungsprüfungen gemäss Verfahren B, A und C: Laubholz + Hybridprüfkörper*

	Scherprüfung - B	Scherprüfung - A	Scherprüfung - C
gesamt	7	0	7
Übereinstimmung	2	0	2
Widerspruch	5	0	5

## 6.5 Literatur zu Kapitel 6

1. Comité Européen de Normalisation CEN 2001: EN 391: Brettschichtholz – Delaminierungsprüfung von Leimfugen.
2. Comité Européen de Normalisation CEN 2001: EN 386: Brettschichtholz – Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung.
3. Comité Européen de Normalisation CEN 1995: EN 392: Brettschichtholz – Scherprüfung der Leimfugen.
4. Steiger R., Gehri E., Richter K. 2010: Quality control of glulam: shear testing of bondlines. European Journal of Wood and Wood Products 68(3): 243-256.
5. Comité Européen de Normalisation CEN 2002: EN 13183-1: Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren.



## 7 Schlussfolgerungen

### 7.1 Umfrage unter den Brettschichtholzherstellern

Die Umfrage hat ergeben, dass in den Betrieben grösstenteils (90% bis 100%) Brettschichtholz aus Fichten- und Tannenholz für den Einsatz in den Nutzungsklassen 1 und 2 produziert wird. Holzarten wie Lärche, Douglasie, Esche, Buche, Eiche, Kastanie sowie Tropenholz werden teilweise ebenfalls, aber eher selten verarbeitet. Zur Verklebung der Lamellen wird mehrheitlich Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz, aber auch Polyurethan, Resorcin-Formaldehydharz und Harnstoff-Formaldehydharz verwendet. Die Eigenüberwachung erfolgt je nach Betrieb durch Delaminierungsprüfungen (vor allem Verfahren B gemäss EN 391:2001 [1]) und/oder durch Blockscherprüfungen gemäss EN 392:1995 [2].

### 7.2 Delaminierungsprüfung gemäss EN 391:2001

Es wurden 19 Prüfkörper nach dem Verfahren B, 12 Prüfkörper nach dem Verfahren A und 7 Prüfkörper nach dem Verfahren C geprüft. Dabei wurden folgende Feststellungen gemacht:

- Die Verfahren B und A ergaben praktisch die gleichen Prüfergebnisse (11 Übereinstimmungen, 1 Widerspruch).
- Die Verfahren C und B ergaben durchwegs identische Prüferscheide (7 Übereinstimmungen, 0 Widersprüche). Allerdings ist zu bemerken, dass die Prüfkörper ohne Probleme einer klaren Qualität (erfüllt / nicht erfüllt) zugeordnet werden konnten, dass man also zur Qualitätskontrolle keine besonders trennscharfe Prüfmethode benötigte. Dieses Ergebnis hätte jedoch bei anderen Klebstofftypen durchaus anders ausfallen können. Es ist davon auszugehen, dass das Prüfverfahren B aufgrund des schärferen Trocknungsklimas grössere Delaminierungen erzeugt als die Prüfung nach dem Verfahren C.
- Die Versuche haben gezeigt dass es mit Brettschichtholz aus Eschenholz und einer Verklebung mit Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz möglich ist, die Anforderung der Prüfung nach dem Verfahren B zu erfüllen (Prüfkörper 12.1 und 13.1). Allerdings musste dazu die Verklebung optimiert werden.
- Innerhalb eines bestimmten Expositionszyklus sind bei Laubholz längere Trocknungszeiten bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte nötig als bei Nadelholz. Die in der Norm vorgegebenen Trocknungszeiten genügen daher strenggenommen als Kriterium, mit der Trocknung aufzuhören nicht. Man müsste auch hier die Massenänderung als Abbruchkriterium verwenden. Dies ist allerdings aus Sicht der Betriebe aufwändiger, da mit längeren Trocknungszeiten zu rechnen wäre.

### 7.3 Blockscherprüfungen gemäss EN 392:1995

Von 19 BSH-Trägern wurden Blockscherprüfkörper nach Vorlagerung bei verschiedenen Klimabedingungen auf deren Scherfestigkeit und Faserbruchanteil gemäss EN 392:1995 getestet. Die Versuche wurden mit unterschiedlichen Arten des Einbaus der Prüfkörper in die Prüfeinrichtung (Abheben durch Klemmung des Prüfkörpers verhindert, Abheben möglich) durchgeführt. Dabei wurden folgende Feststellungen gemacht:

- Bei Verwendung der Empa-Prüfeinrichtung mit geriffelter Prüfkörperauflage wurde zwischen den Scherfestigkeitswerten mit und ohne Klemmung der Prüfkörper kein signifikanter Unterschied festgestellt (Abbildungen 5.4 und 5.5). Diese Feststellung gilt nur bei geriffelter Ausbildung der Lagerplatte.
- Die Klima-Lagerungen der Blockscherproben vor der Festigkeitsprüfung beeinflussten zwar z. T. die Festigkeitswerte, führten jedoch zu keiner anderen Selektion (Abbildung 6.23 bis 6.25). Die

Proben aus dem Klima 20°C / 85% rel. Luftfeuchte ergaben tiefere Festigkeitswerte als die Vergleichsproben aus dem Klima 20°C / 65% rel. Luftfeuchte. Hingegen führte eine Stresslagerung bestehend aus Wässerung entsprechend dem Vorgehen bei der Delaminierungsprüfung und anschließender Trocknung bei 20°C / 35% rel. Luftfeuchte zu gleichen oder teilweise sogar leicht höheren Scherfestigkeitswerten als nach Lagerung der Prüfkörper bei 20°C / 65% rel. Luftfeuchte.

- Die Scherfestigkeitswerte der Klebfugen von Laubhölzern sind wesentlich höher als die Scherfestigkeitswerte der Klebfugen von Nadelhölzern.
- Von den geprüften Brettschichtholzträgern erfüllte nach Lagerung bei 20°C / 65% rel. Luftfeuchte (Serien 1.1 bis 19.1) nur ein Prüfkörper die Anforderungen an den Mittelwert (Tabelle 6.24, Prüfkörper 19.1) und ein Prüfkörper die Anforderungen an den Einzelwert einer Fuge (Tabelle 6.20, Prüfkörper 15.1, Fuge 4) nicht.

## 7.4 Vergleich der Versuchsergebnisse der Delaminierungsprüfungen und der Scherprüfungen

Aus den Versuchsergebnissen können folgende Aussagen abgeleitet werden:

- Die Versuchsergebnisse der Prüfkörper entnommen aus den Nadelholz-Brettschichtholzträgern weisen zwischen der Blockscher- und Delaminierungsprüfungen eine relativ gute Übereinstimmung auf: So wurde beim Delaminierungsverfahren B bei 11 von 12 Proben und beim Verfahren A bei 10 von 12 Proben eine Übereinstimmung festgestellt.
- Die Versuche an Proben entnommen aus Laubholz-Brettschichtholzträgern hingegen führten zu einem anderen Ergebnis: Bei den Verfahren B und C wurde bei nur 2 von 7 Proben eine Übereinstimmung festgestellt.
- Die Delaminierungsprüfungen haben sich im Vergleich zu den Blockscherprüfungen als aussagekräftiger erwiesen. So wurde bei der Blockscherprüfung der Anforderungswert an den Mittelwert bzw. an den Einzelwert je Klebfuge nur in je einem Fall nicht erfüllt. Bei der Delaminierungsprüfung dagegen erfüllten von 38 Prüfkörpern 17 Prüfkörper die Anforderungen nicht. Insbesondere bei Brettschichtholz aus Laubholz kann aus der Erfüllung der Anforderungswerte an die Blockscherfestigkeit nicht zuverlässig auf eine ausreichende Güte der Verklebung geschlossen werden.

## 7.5 Normen

- Bei den Delaminierungsverfahren erfolgt der Abbruch der Trocknung gemäss EN 391:2001 nur beim Verfahren B in Abhängigkeit des Probengewichtes. Bei den Verfahren A und C erfolgt der Abbruch der Trocknung unabhängig vom Zustand der Proben nach einer bestimmten Dauer der Trocknung. Weil der Feuchtegehalt der Proben jedoch einen wesentlichen Einfluss auf die Delaminierung der Klebfugen hat, sollte das Ende der Trocknung bei allen Verfahren nach identischen Kriterien erfolgen. Im aktuellen Normentwurf prEN 14080:2011 [3] ist nun wieder zumindest in den Prüfzyklen A und B die Massenänderung infolge der Trocknung der Prüfkörper als Abbruchkriterium vorgegeben.
- Das Delaminierungsverfahren C stellt mit seinem Sollklima von  $(27.5 \pm 2.5)^{\circ}\text{C}$  /  $(30 \pm 5)\%$  rel. Luftfeuchte grosse Anforderungen an die Kammersteuerung und dauert lange (Trocknungszeit 90 h). Falls das Ausgangsgewicht als Abbruchkriterium genommen wird, ist insbesondere bei Prüfkörpern aus Laubholzarten mit noch längeren Trocknungszeiten zu rechnen.
- Die in der Norm EN 391:2001 angegebenen Trocknungszeiten gelten für Fichtenholzproben. Bei anderen Holzarten muss teilweise mit längeren Trocknungszeiten gerechnet werden, bis das Ausgangsgewicht (100% bis 110%) wieder erreicht ist.
- Gemäss EN 386:2001 kann die Eigenkontrolle von Bauteilen der Nutzungsklasse 1 und 2 mit Delaminierungsprüfungen gemäss Verfahren B oder anhand von Blockscherprüfungen erfolgen.

Blockscherprüfungen wiederum können auch durch das Delaminierungsverfahren C ersetzt werden, was widersprüchlich erscheint.

- Auf Grund fehlender präziser Angaben in der Prüfnorm betreffend Ausbildung der Auflagerplatte (glatte oder geriffelte Oberfläche) und der Art der Prüfkörperlagerung (Abheben durch Klemmung des Prüfkörpers verhindert, Abheben möglich), führt die Prüfung der Blockscherfestigkeit gemäss EN 392:1995 je nach Ausbildung der Auflagerplatte und Lagerung des Prüfkörpers zu unterschiedlichen Versuchsergebnissen. Auf dieses Problem wurde bereits im WHFF-Projekt 2007.4 und in der daraus resultierenden Publikation [4] hingewiesen.
- In der SFH-Richtlinie zur Qualitätskontrolle von BSH finden sich nur sehr spärliche und unpräzise Angaben zur Delaminierungsprüfung. Auf Grund der Wichtigkeit dieser Art der Qualitätskontrolle von Klebfugen, sollten in der SFH-Richtlinie umfangreichere und präzisere Angaben gemacht werden bzw. auf die einschlägigen Europäischen Normen verwiesen werden. Dabei sollte auch die Qualitätskontrolle der Verklebung von Laubholz und von hybriden Querschnitten geregelt werden.  
Gemäss EN 386:2001 muss die Qualitätskontrolle bei Brettschichtholz, das in der Nutzungsklasse 3 eingesetzt wird, durch Delaminierungsprüfungen erfolgen. Entsprechende Anforderungen fehlen in der SFH-Richtlinie. Allerdings hat die Umfrage unter den SFH-Mitgliederfirmen ergeben, dass Brettschichtholz für die Nutzungsklasse 3 nur sehr selten hergestellt wird.

## 7.6 Gesamtfazit

Was die Angaben zur Qualitätskontrolle von Klebfugen in nationalen und internationalen Regelwerken betrifft ist folgendes anzumerken:

- Die Angaben in der EN 392:1992 zur Scherprüfung von Klebfugen sollten mit Angaben zur Oberflächenbeschaffenheit der Platte zur Auflagerung der Prüfkörper und zur Art der Prüfkörperlagerung (Abheben durch Klemmen des Prüfkörpers verhindert, Abheben möglich) ergänzt werden.
- Bei der Delaminierungsprüfung gemäss EN 391:2001 bzw. prEN 14080:2011, Anhang C sollte bei sämtlichen 3 Prüfverfahren als Abbruchkriterium für die Trocknung der Proben nicht die Dauer der Trocknung sondern die gemessene Masse in Bezug zur Ausgangsmasse vor der Trocknung verwendet werden.
- Delaminierungsversuche gemäss Verfahren C sind nur bedingt geeignet zur Prüfung von Klebfugen, welche mit Klebstoffen des Typs I gemäss EN 301:2006 [5] hergestellt wurden, da die Prüftemperatur von  $27.5 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$  im Delaminierungsversuch den Einsatzbereich des Klebstoffs bis  $50^{\circ}\text{C}$  oder gar  $60^{\circ}\text{C}$  nicht abdeckt. Hierzu ist eine Präzisierung der Norm nötig.
- Die Angaben zur Delaminierungsprüfung in der SFH-Richtlinie zur Qualitätskontrolle von BSH sind auszubauen und zu präzisieren.

Bei BSH aus Fichten- / Tannenholz sind zur Qualitätskontrolle der Klebfugen sowohl Scher- als auch Delaminierungsprüfungen möglich. Bei BSH aus anderen Nadelholzarten und aus Laubholz sowie bei Hybridverklebungen bietet die Delaminierungsprüfung eine schärfere und aussagekräftigere Qualitätskontrolle. Bei der Verklebung von anderen Holzarten und/oder erstmals verwendeten Klebstoffen werden Parallelprüfungen (Scherversuche und Delaminierungsversuche) empfohlen, um die geeignete Prüfmethode zu ermitteln.

Falls die Qualitätskontrolle mittels Delaminierungsprüfungen erfolgt, so sind für BSH aus Nadelholz die Verfahren B oder A anzuwenden. Das Verfahren C ist auf Grund seiner langen Versuchsdauer wenig praxisgerecht. Die geringen Trocknungsspannungen bedeuten eine wenig anforderungsreiche Hürde. Da die Prüftemperatur nur  $27.5 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$  beträgt, ist nur dieser Temperaturbereich im Praxiseinsatz des verklebten Bauteils testmässig abgesichert. Für BSH aus Laubholz mit Einsatz in der Nutzungsklasse 1 reicht das Verfahren C aus. In der Nutzungsklasse 2 ist auch für BSH aus Laubholz entweder das Verfahren B oder das Verfahren A zu verwenden. Im Falle von Hybridverklebung ist das Laubholz massgebend und es sind daher die Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Laubholzverklebungen zu befolgen.

## 7.7 Literatur zu Kapitel 7

1. Comité Européen de Normalisation CEN 2001: EN 391: Brettschichtholz – Delaminierungsprüfung von Leimfugen.
2. Comité Européen de Normalisation CEN 1995: EN 392: Brettschichtholz – Scherprüfung der Leimfugen.
3. Comité Européen de Normalisation CEN 2011: Entwurf prEN 14080: Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen.
4. Steiger R., Gehri E., Richter K. 2010: Quality control of glulam: shear testing of bondlines. European Journal of Wood and Wood Products 68(3): 243-256.
5. Comité Européen de Normalisation CEN 2006: EN 301: Klebstoffe für tragende Holzbauteile – Phenoplaste und Aminoplaste – Klassifizierung und Leistungsanforderungen.

# QUALITÄTSKONTROLLE VON BRETTSCHICHTHOLZ: VERGLEICH DER PRÜFVERFAHREN “BLOCKSCHERTEST” UND “DELAMINIERUNGSTEST”

## Anhang 1: Bilder Delaminierungsversuche

**Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung  
Projekt 2009.16**

**Empa  
Projekt 207760**

Steiger René  
Risi Walter

Empa, Abt. Holz  
Empa, Abt. Holz



### Querschnittscheiden Serie 1



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 3.5%

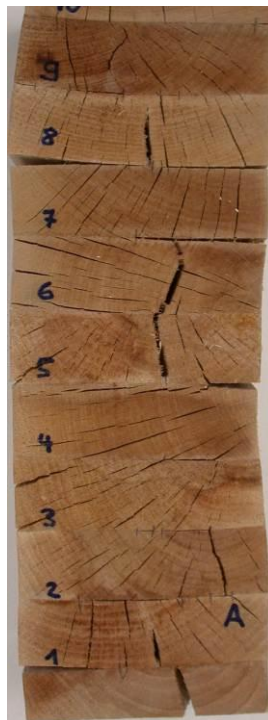


nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt= 6.0%

### Querschnittscheiden Serie 2 untere Lamellen



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 30.3%

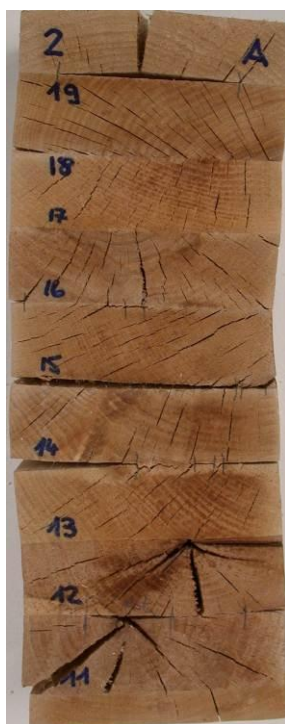


nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt= 9.9%

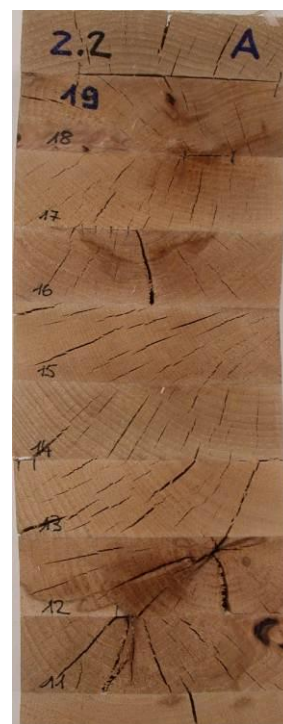
**Querschnittscheiben Serie 2 obere Lamellen**



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 30.3%



nach Prüfung Verfahren C;  
Delaminierung gesamt = 9.9%

**Querschnittscheiben Serie 3**



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 0.9%



nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt = 3.1%

#### Querschnittscheiben Serie 4



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 85.2%



nach Prüfung Verfahren C;  
Delaminierung gesamt= 40.1%

#### Querschnittscheiben Serie 5



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 23.9%



nach Prüfung Verfahren C;  
Delaminierung gesamt= 18.9%

### Querschnittscheiben Serie 6



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 0.8%



nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt= 3.4%

### Querschnittscheiben Serie 7



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 1.8%



nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt= 1.1%

### Querschnittscheiben Serie 8



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 1.5%



nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt= 0.1%

### Querschnittscheiben Serie 9



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 1.0%



nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt= 1.3%

### Querschnittscheiden Serie 10



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 19.3%



nach Prüfung Verfahren C;  
Delaminierung gesamt= 10.1%

### Querschnittscheiden Serie 11



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 10.9%



nach Prüfung Verfahren C;  
Delaminierung gesamt= 22.4%

### Querschnittscheiben Serie 12



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 0.2%



nach Prüfung Verfahren C;  
Delaminierung gesamt= 0.0%

### Querschnittscheiben Serie 13



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 0.7%



nach Prüfung Verfahren C;  
Delaminierung gesamt= 2.0%

**Querschnittscheiben Serie 14**



vor der Prüfung

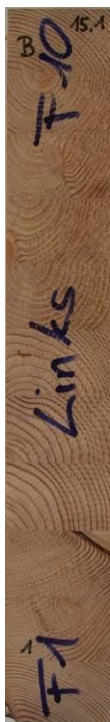


nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 5.0%



nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt= 10.7%

**Querschnittscheiben Serie 15**



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 12.2%



nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt= 10.1%

**Querschnittscheiden Serie 16**



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 5.0%



nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt= 10.1%

**Querschnittscheiden Serie 17**



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 4.0%



nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt=2.0%

### Querschnittscheiben Serie 18



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 0.0%



nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt= 0.2%

### Querschnittscheiben Serie 19



vor der Prüfung



nach Prüfung Verfahren B;  
Delaminierung gesamt = 14.7%



nach Prüfung Verfahren A;  
Delaminierung gesamt= 14.2%

# QUALITÄTSKONTROLLE VON BRETTSCHICHTHOLZ: VERGLEICH DER PRÜFVERFAHREN “BLOCKSCHERTEST” UND “DELAMINIERUNGSTEST”

## Anhang 2: Fragebogen Betriebserhebung

**Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung  
Projekt 2009.16**

**Empa  
Projekt 207760**

Steiger René  
Risi Walter

Empa, Abt. Holz  
Empa, Abt. Holz





## Rücksendung per Post / e-mail bis spätestens 17. 2. 2010 an:

Walter Risi, Empa, Abt. Holz, Ueberlandstrasse 129, 8600 Dübendorf  
 Tf.: 044 823 44 39, e-mail: walter.risi@empa.ch

### Fragebogen 1

Firma: .....  
 E-Mail: .....

Kontaktperson: .....  
 Tel.: .....

WHFF-Projekt Nr. 2009.16: Qualitätskontrolle von Brettschichtholz: Vergleich der Prüfverfahren „Blockscherfestigkeit“ und „Delaminierung“

Bitte machen Sie in untenstehender Tabelle Angaben zu den in Ihrer Firma ausgeführten BSH-Varianten und zugehörigen Prüfungen. Bezeichnen Sie im Feld Bemerkungen / Erfahrungen Kombinationen, welche Sie noch nicht ausführen, jedoch zukünftig ausführen wollen.

Holzarten – Kombination	Feuchte- klasse	Klebstofftyp <sup>1)</sup>	Mengenmässiger Anteil an der ge- samten BSH Produktion [%]	Interne Qualitätskontrolle				Bemerkungen / Erfahrungen
				Blockscherprüfung - Abheben		Delaminationsprüfung		
				möglich	verhindert	A	B	
Fichte / Tanne	1							
	2							
	3							
Lärche	1							
	2							
	3							
Dougalsie	1							
	2							
	3							
Esche	1							
	2							
	3							
Eiche	1							
	2							
	3							

Holzarten – Kombination	Feuchte- klasse	Klebstofftyp <sup>1)</sup>	Mengenmässiger Anteil an der ge- samten BSH Produktion [%]	Interne Qualitätskontrolle				Bemerkungen / Erfahrungen
				Blockscherprüfung - Abheben		Delaminationsprüfung		
				möglich	verhindert	A	B	
Buche	1							
	2							
	3							
Fichte / Lärche	1							
	2							
	3							
Fichte / Douglasie	1							
	2							
	3							
Fichte / Esche	1							
	2							
	3							
Fichte / Eiche	1							
	2							
	3							

<sup>1)</sup> Klebstofftypencode: RF = Resorcin-Formaldehyd, MUF = Melamin-Harnstoffformaldehyd, PUR = Polyurethan, EPI = Emulsion-Polymer-Isocyanat, UF = Harnstoffformaldehyd