

# **QUALITÄTSSICHERUNG VON BRETTSCHICHTHOLZ: OPTIMIERTE PRÜFMETHODE ZUR KONTROLLE DER SCHERFESTIGKEIT VON KLEBFUGEN**

**Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung  
Projekt 2007.04**

Steiger René	Empa, Abt. Holz
Risi Walter	Empa, Abt. Holz

---

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Einleitung</b> .....	<b>9</b>
2.1 Problembeschreibung .....	9
2.2 Ziele des Projekts .....	10
2.3 Bedeutung des Projekts für Praxis und Forschung .....	11
2.3.1 Bedeutung für die Praxis .....	11
2.3.2 Bedeutung für Forschung und Normung .....	11
2.4 Stand des Wissens auf dem Gebiet .....	12
2.4.1 Internationaler Stand des Wissens .....	12
2.4.2 Forschungsarbeiten und Wissen an der EMPA .....	12
2.5 Literatur zu Kapitel 2 .....	12
<b>3 Bisherige Methoden zur Bestimmung der Scherfestigkeit</b> .....	<b>15</b>
3.1 Unterschied zwischen Schub- und Scherbeanspruchung .....	15
3.2 Methoden zur Ermittlung der Scherfestigkeit von Holz .....	15
3.3 Blockscherntests an Klebfugen .....	17
3.3.1 Prinzipielle Vorgehensweise in verschiedenen Normen .....	17
3.3.2 Vorteile und Nachteile der Blockscherntests .....	19
3.4 Betrachtungen zum Kräftegleichgewicht am Prüfkörper .....	20
3.5 Verwendete Prüfgeräte der am Projekt beteiligten Hersteller .....	22
3.6 Literatur zu Kapitel 3 .....	24
<b>4 Neue Methode zur Bestimmung der Scherfestigkeit</b> .....	<b>27</b>
4.1 Ansatz .....	27
4.2 Zug- und Druckbeanspruchung schräg zur Faser .....	27
4.3 Prototyp einer neuen Prüfvorrichtung .....	29
4.4 Vorversuche mit dem Prototypen .....	30
4.5 Literatur zu Kapitel 4 .....	33
<b>5 Versuche: Methode und Material</b> .....	<b>35</b>
5.1 Methode .....	35
5.1.1 Generelles Konzept .....	35
5.1.2 Stichprobengrößen .....	35
5.1.3 Probenentnahme .....	36
5.1.4 Prüfung im Betrieb .....	37
5.1.5 Versuche an der Empa .....	37
5.2 Material .....	39
5.2.1 BSH .....	39
5.2.2 Lamellen .....	39
5.2.3 Klebstoff .....	39
5.2.4 Holzfeuchte .....	39
5.3 Literatur zu Kapitel 5 .....	39
<b>6 Versuche: Resultate</b> .....	<b>41</b>
6.1 Vorversuche zum Einfluss der Reibung am Auflagerpunkt der Prüfkörper .....	41
6.2 Darstellung der Resultate .....	45
6.2.1 Klebstoff .....	45
6.2.2 Scherfestigkeit: Vergleich der Einzelwerte .....	45
6.2.3 Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils .....	46
6.2.4 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz .....	46
6.2.5 Scherfestigkeit: Statistische Auswertung .....	46
6.2.6 Wertetabellen .....	46
6.3 Einsatzbereich der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF) .....	46
6.4 Versuchsergebnisse Hersteller A .....	47
6.4.1 Klebstoff .....	47
6.4.2 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse - Vergleich der Einzelwerte .....	47
6.4.3 Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils .....	47
6.4.4 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz .....	48
6.4.5 Scherfestigkeit: Statistische Auswertung .....	48
6.4.6 Einzelwerte und statistische Auswertung .....	49
6.4.7 Einsatz der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF) .....	49
6.5 Versuchsergebnisse Hersteller B .....	50
6.5.1 Klebstoff .....	50
6.5.2 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse - Vergleich der Einzelwerte .....	50
6.5.3 Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils .....	50
6.5.4 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz .....	51

6.5.5	Scherfestigkeit: Statistische Auswertung .....	51
6.5.6	Einzelwerte und statistische Auswertung .....	52
6.5.7	Einsatz der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF) .....	52
6.6	Versuchsergebnisse Hersteller C .....	53
6.6.1	Klebstoff .....	53
6.6.2	Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse - Vergleich der Einzelwerte .....	53
6.6.3	Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils .....	53
6.6.4	Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz .....	54
6.6.5	Scherfestigkeit: Statistische Auswertung .....	54
6.6.6	Einsatz der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF) .....	54
6.6.7	Einzelwerte und statistische Auswertung .....	55
6.7	Versuchsergebnisse Hersteller D .....	56
6.7.1	Klebstoff .....	56
6.7.2	Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse - Vergleich der Einzelwerte .....	56
6.7.3	Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils .....	56
6.7.4	Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz .....	57
6.7.5	Scherfestigkeit: Statistische Auswertung .....	57
6.7.6	Einzelwerte und statistische Auswertung .....	58
6.7.7	Einsatz der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF) .....	58
6.8	Versuchsergebnisse Hersteller E .....	59
6.8.1	Klebstoff .....	59
6.8.2	Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse - Vergleich der Einzelwerte .....	59
6.8.3	Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils .....	59
6.8.4	Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz .....	60
6.8.5	Scherfestigkeit: Statistische Auswertung .....	60
6.8.6	Einzelwerte und statistische Auswertung .....	61
6.8.7	Einsatz der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF) .....	61
6.9	Versuchsergebnisse Hersteller F .....	62
6.9.1	Klebstoff .....	62
6.9.2	Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse - Vergleich der Einzelwerte .....	62
6.9.3	Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils .....	62
6.9.4	Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz .....	63
6.9.5	Scherfestigkeit: Statistische Auswertung .....	63
6.9.6	Einzelwerte und statistische Auswertung .....	64
6.9.7	Einsatz der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF) .....	64
6.10	Versuchsergebnisse Hersteller G .....	65
6.10.1	Klebstoff .....	65
6.10.2	Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse - Vergleich der Einzelwerte .....	65
6.10.3	Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils .....	65
6.10.4	Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz .....	66
6.10.5	Scherfestigkeit: Statistische Auswertung .....	66
6.10.6	Einzelwerte und statistische Auswertung .....	67
6.10.7	Einsatz der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF) .....	67
6.11	Versuchsergebnisse Hersteller H .....	68
6.11.1	Klebstoff .....	68
6.11.2	Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse - Vergleich der Einzelwerte .....	68
6.11.3	Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils .....	68
6.11.4	Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz .....	69
6.11.5	Scherfestigkeit: Statistische Auswertung .....	69
6.11.6	Einzelwerte und statistische Auswertung .....	70
6.11.7	Einsatz der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF) .....	70
6.12	Erfahrungen mit dem neuen Prüfgerät an der Empa .....	71
6.13	Literatur zu Kapitel 6 .....	71
<b>7</b>	<b>Feststellungen, Empfehlungen und Fazit .....</b>	<b>73</b>
7.1	Feststellungen .....	73
7.1.1	Analyse der Betriebsdaten .....	73
7.1.2	Gemessene Scherfestigkeiten im Betrieb und an der Empa (herkömmliches Gerät) .....	73
7.1.3	Vergleich herkömmliches / neues Prüfgerät: Scherfestigkeiten .....	73
7.1.4	Vergleich herkömmliches / neues Prüfgerät: Handling .....	73
7.2	Empfehlungen .....	74
7.2.1	Empfehlungen für die Betriebsprüfungen .....	74
7.2.2	Empfehlungen für die Normierung .....	75
7.2.3	Verbesserungsvorschläge für das neue Prüfgerät .....	75
7.3	Fazit .....	75
7.4	Literatur zu Kapitel 7 .....	76
<b>Anhang 1: Holzfeuchtemessungen Empa: Hauptserien .....</b>		<b>77</b>
<b>Anhang 2: Holzfeuchtemessungen Empa: Vorversuche .....</b>		<b>79</b>

## Vorwort

Bei der Qualitätskontrolle von Brettschichtholz sind in den produzierenden Betrieben u. a. Scherprüfungen an Klebfugen durchzuführen. Die Vorgehensweise bei den Prüfungen ist in verschiedenen internationalen Normen, wie z. B. EN 392:1995 oder ISO 12579: 2006 festgelegt. Die Art der Erzeugung der Scherspannungen in den Klebfugen ist dabei meist lediglich durch eine Prinzipskizze angegeben. Basierend auf diesem Schema wurde durch Prüfmaschinen-Hersteller und Prüflabors eine Vielzahl von unterschiedlichen Prüfeinrichtungen für den Einsatz in den Labors, bei den Brettschichtholz- und bei den Klebstoff-Produzenten entwickelt. Je nach verwendeter Prüfeinrichtung, aber auch beeinflusst durch die Art und Weise der Prüfung, resultiert in der Klebfuge nicht ein Zustand reinen Schubs, sondern eine Kombination von Schub- und Normalspannungen. Im Falle von gleichzeitig wirkenden Querkzugspannungen, nehmen die im Versuch registrierten Schubspannungen deutlich ab, während gleichzeitig wirkende Querdrukspannungen zu einer Überschätzung der Scherfestigkeit der Klebfuge führen.

Vor diesem Hintergrund hat Prof. em. E. Gehri für die "Neue Holzbau Lungern" einen Prototypen eines neuen Scherprüfgerätes entwickelt. Die Prüfkörper werden in diesem Gerät einer klar definierten Druckscherspannung ausgesetzt. Zur Prüfung des neuen Geräts wurde von der Empa und von der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH ein Forschungsprojekt initiiert, welches vom Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung mit finanziellen Mitteln unterstützt wurde. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein zweiter Prototyp des Scherprüfgeräts durch die Empa-Abteilung Holz einer umfangreichen Testserie unterzogen, indem 3er-Gruppen von Prüfkörpern aus derselben Klebfuge in den Betrieben mit den dort vorhandenen Prüfgeräten und an der Empa mit dem bisherigen und dem neuen Scherprüfgerät vergleichend geprüft wurden. Als Industriepartner beteiligte sich die Schweizerische Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH am Projekt, zusammen mit den folgenden Mitgliederfirmen:

Charpentes VIAL SA  
Constructions en bois  
Passage du Querro 10  
Case Postale 48  
1724 Le Mouret  
[www.vialcharpentes.ch](http://www.vialcharpentes.ch)

Peter Holzbau AG  
Holzleimbau  
Thunstrasse 9  
3638 Blumenstein  
[www.peterholzbauag.ch](http://www.peterholzbauag.ch)

Hüsser Holzleimbau AG  
Ingenieur-Holzbau  
Oberebenestrasse 22  
5620 Bremgarten  
[www.huesser.com](http://www.huesser.com)

Roth & Co. AG  
Holzleimbau + Stahlbau  
Industrie Buchmatt  
3400 Burgdorf  
[www.rothburgdorf.ch](http://www.rothburgdorf.ch)

Max Rutishauser  
Holzbau AG  
Holzleimbau  
Schrofenstrasse 19  
8580 Amriswil

Schilliger Holz AG  
Holzleimwerk  
Haltikon  
6403 Küssnacht  
[www.schilliger.ch](http://www.schilliger.ch)

neue Holzbau AG  
Obseestrasse 11  
6078 Lungern  
[www.nh-lungern.ch](http://www.nh-lungern.ch)

Stuber + Cie AG Holzleimbau  
Holzbau  
3054 Schüpfen  
[www.stuber-holz.ch](http://www.stuber-holz.ch)

Das neue Scherprüfgerät wurde auf Basis von Konstruktionsskizzen von Prof. em. E. Gehri, Rüschklikon unter Berücksichtigung einiger Änderungs- und Ergänzungswünsche der Empa durch die als weitere Industriepartner im Projekt mitwirkende Firma

ZUM WALD  
Maschinen- & Apparatebau  
3762 Erlenbach i. S.  
[www.zum-wald.ch](http://www.zum-wald.ch)

produziert.

Die Arbeiten an der Abteilung Holz der Empa wurden ausgeführt durch

Walter Risi  
Daniel Heer  
Kurt Weiss  
Michael Strässle  
René Steiger.

Allen am Projekt Beteiligten gilt mein Dank für die erfolgreiche Zusammenarbeit!

Dübendorf, 1. Februar 2009

Dr. René Steiger (Projektleiter)

# 1 Zusammenfassung

Im Rahmen des vorliegenden, vom Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung finanzierten Forschungsprojekts „Qualitätssicherung von Brettschichtholz: Optimierte Prüfmethode zur Kontrolle der Scherfestigkeit von Klebfugen“ wurde ein von Prof. em. E. Gehri für die Neue Holzbau Lungern AG konstruiertes neuartiges Scherprüfgerät im Labor der Abteilung Holz der Empa getestet.

Die Herstellung von Brettschichtholz (BSH) erfolgt qualitätsgesichert nach bestimmten Normen. In der Schweiz sind die "Richtlinien für die Herstellung von Brettschichtholz" der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH massgebend. Die für die statische Berechnung anzusetzenden Bemessungswerte für BSH setzen laut Norm SIA 265:2003, Ziffer 3.4.1.3 ein BSH voraus, welches unter fremd kontrollierter Eigenüberwachung gemäss den erwähnten SFH-Richtlinien hergestellt wird. Im Rahmen der Eigenüberwachung in den BSH produzierenden Betrieben kommt der Scherprüfung von Klebfugen der Flächenverleimung der BSH-Lamellen eine zentrale Bedeutung zu. Diese Prüfung hat gemäss Norm EN 392:1995 zu erfolgen oder gemäss nationalen Normen, welche auf dieser EN aufbauen. Die zur Scherprüfung einzusetzende Prüfvorrichtung ist in der EN 392 nicht näher definiert, sondern lediglich mit einer Prinzipskizze beschrieben. Die SFH-Richtlinien verlangen die Prüfung der Druckscherfestigkeit in einem "geeigneten Prüfgerät".

Auf Basis dieser lediglich rudimentären Angaben wurde für den Einsatz in Materialprüfanstalten und in BSH-Produktionsbetrieben eine Vielzahl unterschiedlicher Prüfvorrichtungen konstruiert. Wenn, und dies ist bei den meisten Prüfgeräten gemäss EN 392 der Fall, die Wirkungslinien der Kräfte nicht zusammenfallen, entsteht in der Scherfuge nicht ein Zustand reiner Scherbeanspruchung, sondern je nach Prüfgerät (Aufbau, Geometrie, Lagerreibung) und Prüfperson (Blockierung der Prüfstange an deren Ende) eine Überlagerung der Schubspannung mit Druck- oder Zugspannungen senkrecht zur Faser. Im Falle von gleichzeitig wirkendem Querkzug kann dies zu einem dramatischen Absinken der Schubfestigkeit und bei Querdruck zu einer Überschätzung der effektiv vorhandenen Scherfestigkeit in der Klebfuge führen. Die effektive Qualität (d. h. Scherfestigkeit) der Klebfuge kann also nur ungenügend beurteilt werden und die Unterschiede bei Prüfung in verschiedenen Prüfgeräten können beträchtlich sein.

Mit 8 Betrieben der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH und dem Hersteller des Prototyps des neuen Prüfgeräts als Industriepartner wurde daher das eingangs erwähnte Forschungsprojekt gestartet. Im Rahmen des zur Förderung beantragten Projekts sollten

- die in der Schweiz durch Prüflaboratorien und BSH-Produzenten verwendeten Vorrichtungen zur Scherprüfung von Klebfugen dokumentiert werden;
- auf Basis eines bereits vorhandenen ersten Prototyps einer verbesserten Schervorrichtung anhand von Vergleichsversuchen Prototyp / herkömmliche Geräte Erfahrungen in der praktischen Anwendung des Geräts im Labor gesammelt werden;
- Vorschläge für eine allfällige Verbesserung des vorliegenden Prototyps entwickelt werden;
- internationale Normen- und Fachgremien auf die neue Testmethode aufmerksam gemacht werden;
- Initiativen zur Aufnahme der neuen Testmethode in die EN 392 eingeleitet werden, falls sich die Methode als geeignet erweist.

Tripel von aus derselben Klebfugen entnommen Prüfkörpern wurden vergleichend (1) im Produktionsbetrieb mit den dort verwendeten Prüfgeräten des Typs Lübbert und an der Empa mit (2) dem herkömmlichen Prüfgerät sowie mit (3) dem Prototypen des neuen Prüfgeräts geprüft. Auf Basis der Resultate von insgesamt mehr als 1500 Scherversuchen sowie einer Ergänzungsserie an der Empa zum Studium des Einflusses der Reibung bei der Auflage der Prüfkörper, konnte folgendes Fazit gezogen werden:

Die derzeitige Situation, was die Bestimmung von Scherfestigkeiten betrifft, ist unbefriedigend. Die mittels konstruktiv unterschiedlichen Scherprüfgeräten ermittelten Scherfestigkeiten und Faserbruchanteile sind nicht miteinander vergleichbar. Ob die in der Anforderungsnorm für die BSH-

Herstellung EN386:2001 angegebenen Zielwerte der Scherfestigkeit und des entsprechenden Mindestfaserbruchanteils auf sämtliche Arten der Scherprüfung (gemäss Prinzipskizze in der EN 392:1995) anwendbar sind, ist fragwürdig. Anstrengungen zur Verbesserung der Situation sind sowohl auf der Ebene der Normierung (Präzisierung vorhandener Normvorschriften, Einschränkung der Gültigkeit von Anforderungswerten, Zulassung von alternativen Methoden) als auch in der Weiterentwicklung der Prüfmethoden zu unternehmen.

Die Druckscherprüfung unter einem Kraft- zur Faserwinkel von 14° stellt eine gute Alternative zur herkömmlichen Scherprüfung gemäss Prinzipskizze in der EN 392:1995 dar. Die beiden bis anhin hergestellten Prototypen einer solchen Prüfeinrichtung sind bereit, um für die Eigenüberwachung in den Betrieben eingesetzt zu werden und bieten gegenüber den herkömmlichen Geräten eine höhere Prozesssicherheit. Allerdings sind einzelne Verbesserungen (u. a. grösserer Hub, damit die Proben vollständig abgeschert werden können) wünschenswert. Unklar ist zur Zeit die Anwendbarkeit der Zielwerte der Anforderungsnorm EN 386:2001. Dies müsste an Hand weiterer Untersuchungen geprüft werden.

Für die Eigenüberwachung im Betrieb sind ausserdem folgende Punkte beachtenswert:

- Anwendung eines in der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau einheitlichen Prüfgerätes mit identischer konstruktiver Ausbildung und identischer Kraftaufbringung sowie -messung;
- Bestimmung der Holzfeuchte der Prüfkörper (erlaubter Bereich: 8% bis 13%);
- Regelmässige Wartung, Kontrolle und Kalibrierung der verwendeten Prüf- und Messgeräte;
- Messung der Kraft mit ausreichender Präzision (erlaubter Fehler:  $\pm 3\%$ );
- Verhindern von Öldruckspitzenwerten kurz vor dem Bruch durch Verwendung von servo-hydraulischen Systemen anstelle von Handpumpen;
- Bestimmung des Holzbruchanteils auch bei Scherfestigkeiten oberhalb von  $6 \text{ N/mm}^2$ , um eine wertvolle Zusatzinformation betreffend Verklebungsqualität zu erhalten.



## 2 Einleitung

### 2.1 Problembeschreibung

Auf Grund grösserer realisierbarer Spannweiten und besserer Masshaltigkeit wird in Holztragwerken häufig Brettschichtholz (BSH) eingesetzt. BSH ist ein bewährter Baustoff mit hervorragenden Eigenschaften. Die Herstellung erfolgt qualitätsgesichert nach bestimmten Normen. In der Schweiz sind die "Richtlinien für die Herstellung von Brettschichtholz" [1] der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau (SFH) massgebend. 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 fremd kontrollierter Eigenüberwachung gemäss den erwähnten SFH-Richtlinien hergestellt wird.

Im Rahmen der Qualitätskontrolle von BSH kommt der Klebfugen-Scherprüfung der Flächenverleimung der BSH-Lamellen eine zentrale Bedeutung zu. Diese Prüfung hat gemäss Norm EN 392:1995 [3] zu erfolgen oder gemäss nationalen Normen, welche auf dieser EN aufbauen. Die zur Scherprüfung einzusetzende Prüfvorrichtung ist in der EN 392 nicht näher definiert. Es ist lediglich eine Prinzipskizze (siehe Bild 2.1) angegeben, wie sie auch bereits früher, z. B. in der deutschen Norm DIN 52187:1979 [4] vorhanden war. Die SFH-Richtlinien verlangen die Prüfung der Druckscherfestigkeit in einem "geeigneten Prüfgerät". Auf Basis dieser lediglich rudimentären Angaben wurde für den Einsatz in Materialprüfanstalten und in BSH-Produktionsbetrieben eine Vielzahl unterschiedlicher Prüfvorrichtungen konstruiert bzw. angeschafft.

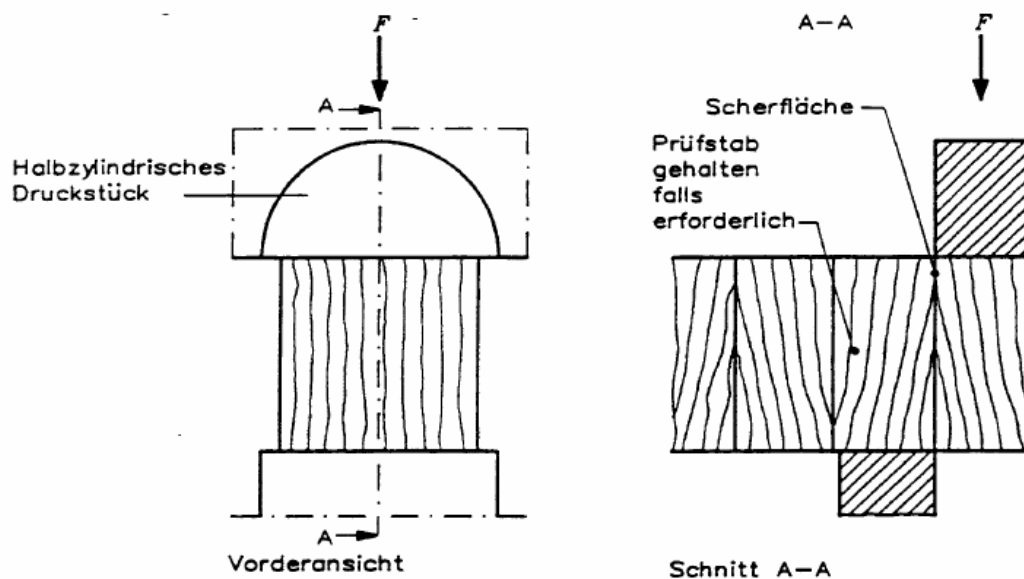


Bild 2.1: Prinzipskizze zur Scherprüfung von Leimfugen gemäss EN 392:1995 [3]

Wenn, und dies ist bei den meisten Prüfgeräten gemäss EN 392 der Fall, die Wirkungslinien der Kräfte nicht zusammenfallen, entsteht in der Scherfuge nicht ein Zustand reiner Scherbeanspruchung, sondern je nach Prüfgerät (Aufbau, Geometrie, Lagerreibung) und Prüfperson (Blockierung der Prüfstange an deren Ende) eine Überlagerung der Schubspannung mit Druck- oder Zugspannungen senkrecht zur Faser. Wie Bild 2.2 aus [5] zeigt, kann dies im Falle von gleichzeitig wirkendem Querzug zu einem dramatischen Absinken der Schubfestigkeit und bei Querdruck zu einer Überschätzung der effektiv vorhandenen Scherfestigkeit in der Klebfuge führen. Die effektive Qualität (d. h. Scherfestigkeit) der Klebfuge kann also nur ungenügend beurteilt werden und die Unterschiede bei Prüfung in verschiedenen Prüfgeräten können beträchtlich sein.

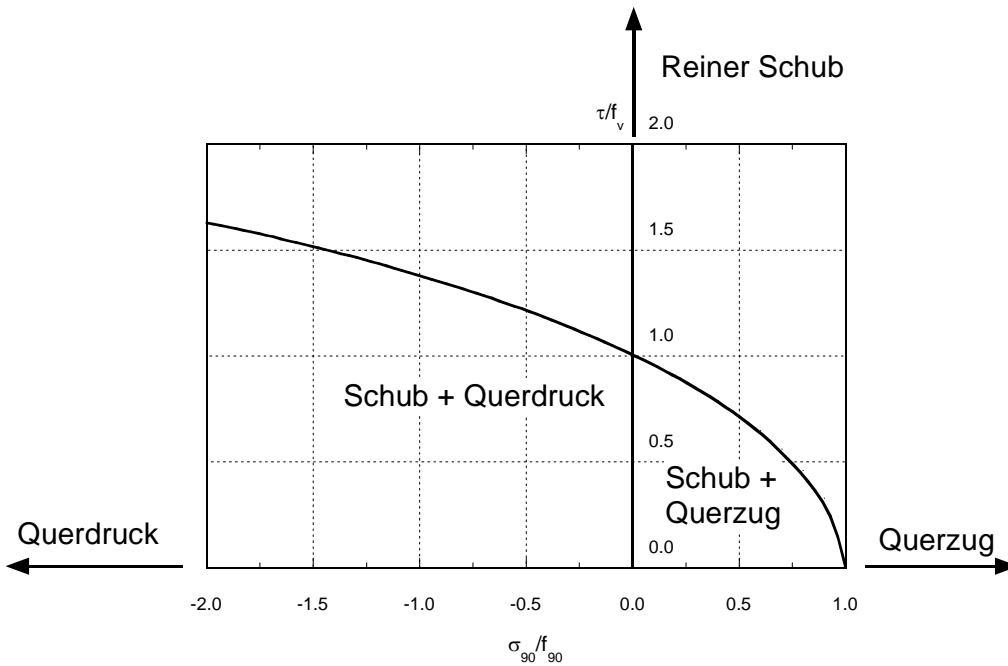


Bild 2.2: Interaktion von Schub- und Normalspannung [5] ( $\tau$  = wirkende Schubspannung,  $f_v$  = Schubfestigkeit,  $\sigma_{90}$  = wirkende Druck- bzw. Zugspannung senkrecht zur Faser,  $f_{90}$  = Druck- bzw. Zugfestigkeit senkrecht zur Faser)

## 2.2 Ziele des Projekts

Im Rahmen des zur Förderung beantragten Projekts sollen

- die in der Schweiz in den Prüfinstituten und in den SFH-Mitgliederfirmen vorhandenen Vorrichtungen zur Scherprüfung von Klebfugen dokumentiert werden;
- auf Basis eines bereits vorhandenen ersten Prototyps einer verbesserten Schervorrichtung (siehe Bild 2.3 und [6]) anhand von Vergleichsversuchen Prototyp / vorhandene Geräte Erfahrungen in der praktischen Anwendung des Geräts im Labor gesammelt werden;
- Vorschläge für eine allfällige Verbesserung des vorliegenden Prototyps entwickelt werden;
- internationale Normen- und Fachgremien auf die neue Testmethode aufmerksam gemacht werden;
- Initiativen zur Aufnahme der neuen Testmethode in die EN 392 eingeleitet werden, falls sich die Methode als geeignet erweist.



Bild 2.3: Prototyp einer neuen Prüfeinrichtung für Scherversuche [6]

## 2.3 Bedeutung des Projekts für Praxis und Forschung

### 2.3.1 Bedeutung für die Praxis

Auf Basis innovativer Ideen und Technologien werden im modernen Ingenieurholzbau Tragwerke mit Signalwirkung für den Einsatz von Holz als Baustoff errichtet. In Verbindung damit wachsen die Ansprüche an das Material und an die Qualitätssicherung im Rahmen von Produktion und Montage. Mit Inkrafttreten der neuen europäischen und nationalen Holzbaunormen werden vermehrt auch Vollholz- und verleimte Produkte höherer Festigkeitsklassen eingesetzt. Genügen die eingesetzten Baustoffe den Anforderungen bezüglich Festigkeit, Steifigkeit und Dauerhaftigkeit nicht, so besteht die Gefahr von Schadensfällen, welche im besten Fall Mängelrügen, im schlechtesten Fall jedoch Einstürze von Tragwerken nach sich ziehen können. Während Baumängel kaum je an die breite Öffentlichkeit kommen, schädigen Einstürze von Holzbauten, wie sie im Winter 2005/2006 in Nachbarländern aber auch in der Schweiz aufgetreten sind, den Ruf von Holz als Baustoff nachhaltig. Neben gut geplanten Marketingstrategien sind daher Anstrengungen zur Verbesserung der Qualität und der Qualitätssicherung im Holzbau von grösster Wichtigkeit, wenn es darum geht, den Baustoff Holz zu fördern. Massnahmen zur Sicherung der Qualität im Holzbau generell und seiner Schlüsselemente für Tragwerke, wie sie Bauteile aus BSH im Besonderen darstellen, stärken das Vertrauen in die Zuverlässigkeit des Baustoffs Holz und fördern dessen Einsatz auch in hochbeanspruchten Tragwerken.

Der moderne Holzbau kommt ohne verleimte Bauteile, wie z. B. BSH nicht aus. Die Qualität solcher meist für Haupttragelemente eingesetzter Halbfabrikate ist dabei von grosser Wichtigkeit. Wie die Untersuchungen der Schadensfälle des Winters 2005/2006 gezeigt haben, spielt die Qualität der Verleimungen (Flächenverklebungen, Keilzinkungen) eine zentrale Rolle [7, 8]. Wenn es gelingt, eine Scherprüfung von Klebfugen mit klar definierter Beanspruchung der Fuge zu entwickeln, in der Schweiz zu etablieren und allenfalls später sogar in die Europäische Normierung hineinzutragen, bedeutet dies einen grossen Gewinn auf dem Gebiet der Qualitätssicherung und der Materialprüfung von BSH.

Die zuverlässige Beurteilung der Scherfestigkeit ist nicht nur für die Festigkeitskontrolle von Bedeutung, sondern wird zunehmend auch bei der Beurteilung der Klebfugenqualität von bereits beanspruchten Verklebungen notwendig. Im Rahmen der Bauwerkserhaltung ist bei Rissen in Biegeträgern die Restschubtragfähigkeit für den Ingenieur von Interesse. Nur wenn man in der Lage ist, eine klar definierte Scherfestigkeit in einer Klebefuge zu bestimmen, kann die Frage nach allfällig notwendigen Verstärkungsmassnahmen schlüssig beantwortet werden, bzw. können unnötige Trägerverstärkungen vermieden werden.

### 2.3.2 Bedeutung für Forschung und Normung

Scherprüfungen werden auch in der Forschung eingesetzt, z. B. bei der Weiterentwicklung von Klebstoffen oder bei Untersuchungen zum Verhalten von Klebstoffen bei unterschiedlichen Temperaturen und Holzfeuchten, aber auch bei der Optimierung der Klebewirkung durch die Applikation von Primern [9]. Nur wenn die Druckscherung im Versuch klar definiert ist, können im Rahmen von Parameterstudien die oftmals feinen Unterschiede identifiziert und daraus Aussagen beispielsweise zum Feuchte- und Temperatureinfluss oder zur Wirkung von Primern abgeleitet werden.

Im Rahmen der CE-Kennzeichnung von Produkten könnte es sich ausserdem als Vorteil erweisen, eine national und international einheitliche Prüfmethode zu haben, womit die Vergleichbarkeit und gegenseitige Akzeptanz der Prüfwerte sichergestellt wäre.

## 2.4 Stand des Wissens auf dem Gebiet

### 2.4.1 Internationaler Stand des Wissens

Einhergehend mit der Etablierung der Verklebungstechnik im Holzbau wurden Scherprüfungen eingeführt. Diese waren und sind einerseits nötig, um die Klebstoffe und die Applikationstechniken weiter zu entwickeln, aber auch um die Qualität der verklebten Produkte zu kontrollieren und zu garantieren [10, 11].

Wissenschaftliche Untersuchungen zu Scherprüfungen existieren einige. Als Beispiele seien [12, 13] genannt. Mit der DIN 52187 [4] und der EN 392:1995 [3] sind zwei in der Praxis etablierte Normen vorhanden, welche die Scherprüfung zum Thema haben. Auch neuere Normen aus dem ISO-Bereich [14, 15] bauen auf der Schemabelastungsskizze der EN 392 und DIN 52187 auf bzw. übernehmen diese direkt. Es existieren einige publizierte Alternativen zur EN 392-Methode [16-18]. Diese sind jedoch lediglich anwendbar für Forschungszwecke und nicht tauglich für die Qualitätskontrolle von BSH in Produktionsbetrieben.

Erstaunlich ist die Tatsache, dass die Unzulänglichkeit existierender Prüfeinrichtungen z. T. erkannt wurde, dass jedoch in den Prüflaboratorien und BSH-Produktionsbetrieben immer noch praktisch ausschliesslich Scherprüfungen auf Basis der EN 392-Schemaskizze verwendet werden. In [19] findet sich z. B. folgender Textabschnitt zum Thema "Standard shear test":

*"The standard shear test for wood uses two normal forces of equal magnitude but directed oppositely and with their lines of action offset slightly. The eccentric loading which results, not only introduces orthogonal shear stresses but also introduces additional forces necessary to resist rotation. Although ignored, the magnitude of error introduced by these forces can be substantial."*

### 2.4.2 Forschungsarbeiten und Wissen an der EMPA

Die Empa hat es stets als eine ihrer Kernaufgaben betrachtet, neue Verfahren für die Materialprüfung zu entwickeln und bestehende zu verbessern bzw. geeignete Alternativen vorzuschlagen. Die Abteilung Holz der Empa hat sich im Rahmen von Festigkeitsprüfungen an Holz schon in früher Zeit mit Scherprüfungen befasst. Erwähnt seien hier die Arbeiten von Roš [20-22], von Staudacher [23] und von Kühne [24]. Die Empa hat auch Richtlinien für die Prüfung von Holz erarbeitet [25, 26], welche nach wie vor Gültigkeit haben und auf welchen modernere Prüfnormen aufgebaut sind. In einem 1977 in der Schweizerischen Bauzeitung erschienen, auf den Arbeiten von Prof. Stüssi [27-29] aufbauenden Artikel hat Meierhofer [30] eine spezielle Prüfeinrichtung für Scherversuche präsentiert, welche heute noch an der Empa vorhanden ist, und welche die Idee der Druckscherprüfung unter einem Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung umsetzt. Bei dieser Prüfeinrichtung kann der Kraft-zur Faserwinkel sogar variiert werden.

## 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 (1995): EN 392: Brettschichtholz - Scherprüfung der Leimfugen.
4. Deutsches Institut für Normung DIN (1979): DIN 52187: Bestimmung der Scherfestigkeit in Faserrichtung. DIN,
5. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2003): Dokumentation D 0185: Holzbau - Einführung in die Norm SIA 265. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Zürich.
6. Abplanalp B., Bogusch W. (2007): Die Baustoffqualität als Basis für die Sicherheit von Holztragwerken. Schweizer Holzbau 73 (1) 52-57.
7. Bogusch W. (2006): Zum Einsturz der Eishalle in Bad Reichenhall: Ursachen und Folgerungen. Schweizer Holzbau 72 (9) 4-9.

8. Richter K. (2006): Qualitätskontrolle im Holzbau - koordiniertes Wirken ist notwendig. Schweizer Holzbau 72 (9) 48-51.
9. Richter K., Steiger R. (2005): Thermal stability of wood-wood and wood-FRP bonding with polyurethane and epoxy adhesives. Advanced Engineering Materials 7 (5) 419-426.
10. Gustafsson P. J. (2002): Tests and Test Results on Mechanical Properties of Adhesive Bond Lines. In: Cost Action E13. State of the art report Vol 2, Luxembourg.
11. v.d. Kuilen J. W., Cruz H. (2002): Test Methods and Prediction of Performance. In: Cost Action E13. State of the art report - Vol 1, Luxembourg.
12. Müller U., Sretenovic A., Vincenti A., Gindl W. (2005): Direct measurement of strain distribution along a wood bond line. Part 1. Shear strain concentration in a lap joint specimen by means of electric speckle pattern interferometry. Holzforschung 59 300-3006.
13. Serrano E. (2004): A numerical study of the shear-strength-predicting capabilities of test specimens for wood-adhesive bonds. International Journal of Adhesion & Adhesives 24 23-35.
14. International Organization for Standardization ISO (2001): International Standard ISO 6238: Adhesives - Wood-to-wood adhesive bonds - Determination of shear strength by compressive loading.
15. International Organization for Standardization ISO (2006): Draft International Standard ISO 12579.2: Timber structures - Glued laminated timber - Method of test for shear strength of glue lines.
16. Arcan M., Hashin Z., Voloshin A. (1978): Method to Produce Uniform Plane-Stress States with Applications to Fiber-Reinforced Materials. Experimental Mechanics 18 (4) 141-146.
17. Liu J. Y. (1984): New Shear-Strength Test for Solid Wood. Wood and Fiber Science 16 (4) 567-574.
18. Walrath D. E., Adams D. F. (1983): The Iosipescu Shear Test as Applied to Composite-Materials. Experimental Mechanics 23 (1) 105-110.
19. Bodig J., Jayne B. A. (1993): Mechanics of Wood and Wood Composites. Krieger Publishing Company,
20. 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. Zürich.
21. Roš M. (1936): Das Holz als Baustoff.
22. 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. Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie Bauwesen und Gewerbe, Zürich.
23. 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. s.n., Zürich.
24. Empa (1955): Über den Einfluss von Wassergehalt, Raumgewicht, Faserstellung und Jahrringstellung auf die Festigkeit und Verformbarkeit schweizerischen Fichten-, Tannen-, Lärchen-, Rotbuchen- und Eichenholzes. EMPA, Zürich.
25. Empa (1950): Richtlinien zur Untersuchung von Holz - 1. Teil: Allgemeine Bezeichnungen und Begriffe. Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie Bauwesen und Gewerbe, Zürich.
26. Empa (1950): Richtlinien zur Untersuchung von Holz - 2. Teil: Untersuchungen zur materialtechnischen Charakterisierung von Rundholz und Schnittware. Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie Bauwesen und Gewerbe, Zürich.
27. Stüssi F. (1945): Zum Einfluss der Faserrichtung auf die Festigkeit und den Elastizitätsmodul von Holz. Schweizerische Bauzeitung 126 (22) 247-248.
28. Stüssi F. (1946): Holzfestigkeit bei Beanspruchung schräg zur Faser. Schweizerische Bauzeitung 128 (20) 251-252.
29. Stüssi F. (1949): Holzfestigkeit schräg zur Faser. Schweizerische Bauzeitung 67 (6) 90.
30. Meierhofer U. A. (1977): Zur Beanspruchung von Holz schräg zur Faser. Schweizerische Bauzeitung 95 (38) 671-676.



### 3 Bisherige Methoden zur Bestimmung der Scherfestigkeit

#### 3.1 Unterschied zwischen Schub- und Scherbeanspruchung

Schubspannungen können durch verschiedene Arten der Beanspruchung entstehen. Ihr Verlauf und die Maximal- und Minimalwerte sind von der Beanspruchungsart abhängig. Daher ist in begrifflicher Hinsicht zwischen Scher- und Schubspannungen zu unterscheiden. Scherspannungen  $f_{v,a}$  entstehen, wenn ein paralleles entgegengesetzt gerichtetes Kräftepaar geringen Abstandes auf eine Fläche (z. B. eine Klebfuge) einwirkt und zu einer relativen Verschiebung der an diese Fläche angrenzenden Zonen führt. Schubspannungen  $f_v$  dagegen resultieren aus Biegebeanspruchungen und werden kontinuierlich über einen grösseren Bereich in das Material eingeleitet. Die Schubfestigkeit  $f_v$  eines Baustoffs kann also nicht mit einem Scherversuch bestimmt werden, wohl aber die Scherfestigkeit  $f_{v,a}$ .

#### 3.2 Methoden zur Ermittlung der Scherfestigkeit von Holz

Zur Bestimmung der Scherfestigkeit von Holz und Holzwerkstoffen existieren diverse unterschiedliche Testverfahren. In [1] sind z. B. Blockscherterests, Torsionsversuche an prismatischen Stäben, antiklastische Biegung [2], Iosipescu-Test, Mehrfachbiegung, exzentrische Zug- oder Druckversuche und Scherung zusammen mit jeweils relevanten Literaturstellen erwähnt. Zusätzlich existieren Scherversuche in Plattenebene (Panel shear tests) [3, 4], Biegeversuche an rechteckigen und seitlich ausgenommen Trägern mit kurzer Spannweite [5, 6] sowie der Arcan-Test [7]. Mit allen diesen Prüfmethode wird versucht, einen klar definierten und gleichmässigen Zustand reiner Schubbeanspruchung in einer vorgegeben Prüfzone bzw. -fläche zu erreichen. Dieses Ziel zu erreichen hat sich jedoch als äusserst schwierig erwiesen [6, 8, 9].

Was die Qualitätskontrolle von Klebfugen in den Betrieben betrifft, werden in der Praxis einfache einseitige Blockscherversuche als geeignetste Methode zur Bestimmung der Scherfestigkeit betrachtet, da die Prüfkörper einfach herzustellen sind und der Versuch im Ablauf keine grossen Schwierigkeiten bietet [10-13]. Früher wurden neben einseitigen (Bild 3.1) auch zweiseitige Blockscherversuche durchgeführt, dies an Prüfkörpern unterschiedlichster Form und Grösse [14-16] (Bild 3.2).

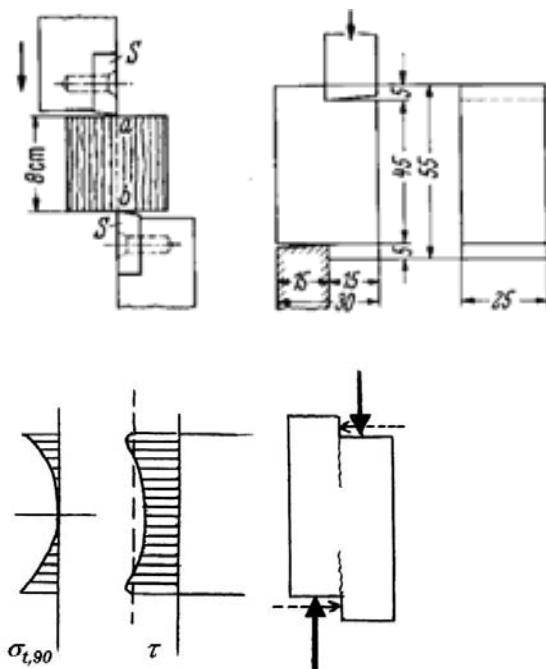


Bild 3.1: Einseitiger Blockscherversuch nach Bauschinger (1883) und resultierende Schub- und Querszugbeanspruchung am Prüfkörper (erwähnt in [13])

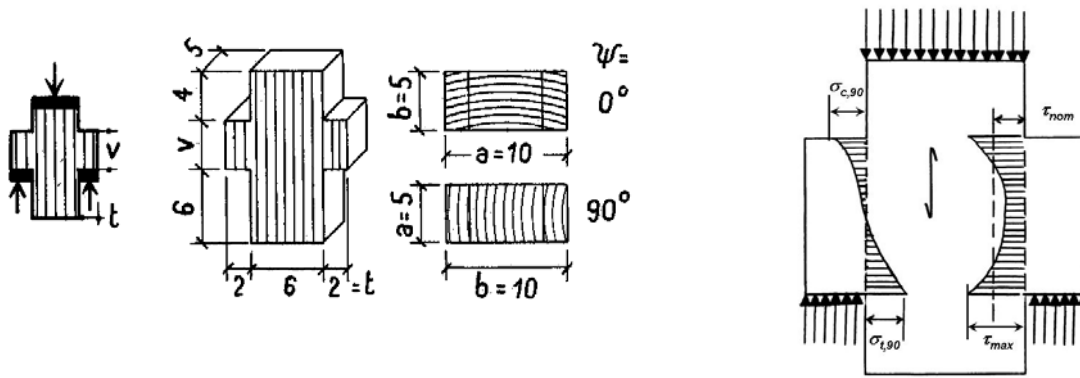


Bild 3.2: Prüfkörpergeometrie nach [16] zur Durchführung von zweiseitigen Scherversuchen (Kreuzscherversuchen) (links) mit resultierender Verteilung der Schubspannungen  $\tau$  und der Spannungen senkrecht zur Faser  $\sigma_{t,90}$  bzw.  $\sigma_{c,90}$  (rechts)

Auch beim zweiseitigen Scherversuch ist die Schubspannungsverteilung in der Prüffläche ungleichmässig. Daher hängen, wie beim einseitigen Versuch, die Prüfergebnisse sehr stark von den geometrischen Abmessungen des Prüfkörpers ab. Zusätzlich entstehen in Abhängigkeit der Reibungseigenschaften der Kräfteinleitungspunkte (Lagerplatten und Kontaktzone zwischen Prüfkörper und Stempel) während des Versuchs erhebliche Spannungen senkrecht zur Faser. In Bild 3.3 ist ein Vergleich zwischen einem zweiseitigen Scherversuch bei Rollenlagerung des Prüfkörpers und bei reibungsbehafteter Lagerung desselben dargestellt [17]. Die Differenz zwischen den festgestellten Scherfestigkeiten ist grösser als Faktor 2! Roš versuchte die sich ergebende Zugspannung senkrecht zur Faser mittels Vorspannung der Prüfkörper in Querrichtung zu kompensieren, um auf diese Weise ein vorzeitiges Aufspalten der Prüfkörper zu verhindern [18, 19] (Bild 3.4). Der Hauptnachteil des zweiseitigen Versuchs liegt darin, dass von zwei geprüften Scherflächen immer nur die schwächere bricht. Man erhält ein „biased“ (= verzerrtes) Resultat, indem man über mehr Informationen im unteren Teil der Scherfestigkeitsverteilung verfügt als im oberen.

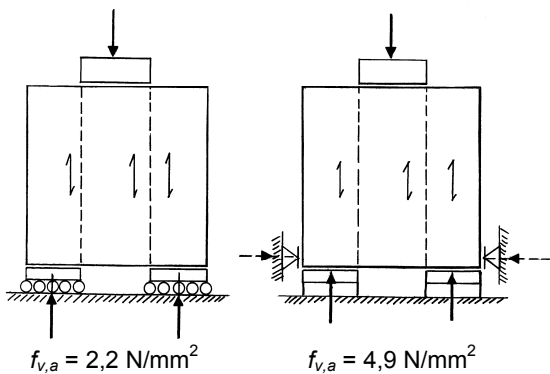


Bild 3.3: Einfluss der Lagerungsart auf die im zweiseitigen Scherversuch ermittelte Scherfestigkeit [17]

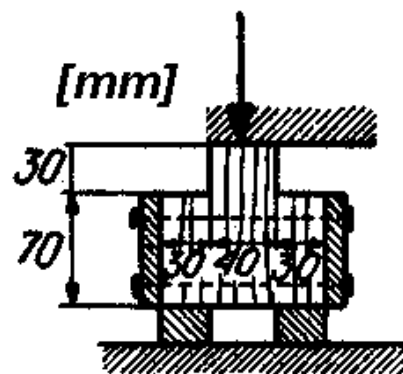
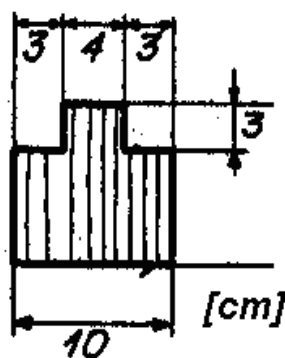


Bild 3.4: Verhinderung des vorzeitigen Aufspaltens der Prüfkörper im zweiseitigen Scherversuch [18, 19]



### 3.3 Blockscherterests an Klebfugen

#### 3.3.1 Prinzipielle Vorgehensweise in verschiedenen Normen

##### 3.3.1.1 Europäische Normen EN

In Europa sind die Anforderungen an Brettschichtholz in der EN 14080:2005 [20] definiert. Die Klebfugenfestigkeit muss in Form eines Klebfugenintegritätstests gemäss den Vorgaben in der EN 386:2001 [21] geprüft werden. Dort werden einerseits Delaminationstests nach EN 391:2001 [22] und andererseits Blockscherterests nach EN 392:1995 [11] verlangt. Laut EN 386:2001 muss die Scherfestigkeit jeder einzelnen Klebfugen mindestens 6 N/mm<sup>2</sup> betragen. Bei Nadelhölzern und Pappel ist eine Scherfestigkeit von 4 N/mm<sup>2</sup> (Tabelle 3-1, Einzelwerte) nur als annehmbar anzusehen, wenn der Faserbruchanteil 100% beträgt. Der von der Norm geforderte Mindestfaserbruchanteil in Funktion der in den Versuchen erzielten Scherfestigkeit ist in Bild 3.5 graphisch dargestellt.

Scherfestigkeit $f_{v,a}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Durchschnittswerte			Einzelwerte		
	6	8	$f_{v,a} \geq 11$	$4 \leq f_{v,a} < 6$	6	$f_{v,a} \geq 11$
Mindestfaserbruchanteile [%] <sup>1)</sup>	90	72	45	100	74	20

Bei Zwischenwerten ist linear zu interpolieren.

1) Bei Durchschnittswerten ist der Mindestfaserbruchanteil in %:  $114 - 9 \cdot f_{v,a}$ . Bei der Scherfestigkeit  $f_{v,a} \geq 6$  N/mm<sup>2</sup> betragen die Einzelwerte der Mindestfaserbruchanteile in %:  $153.3 - 13.3 \cdot f_{v,a}$ .

Tabelle 3-1: Mindestfaserbruchanteile bezogen auf die Scherfestigkeit  $f_{v,a}$  gemäss EN 392:1995 [21]

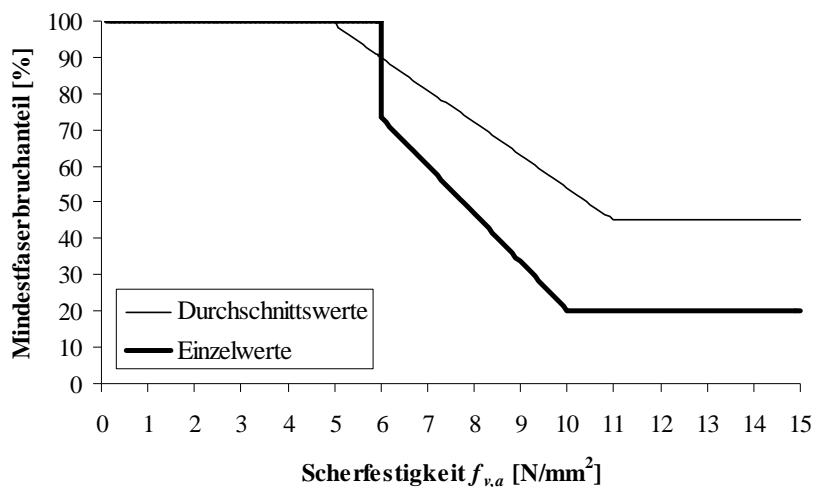
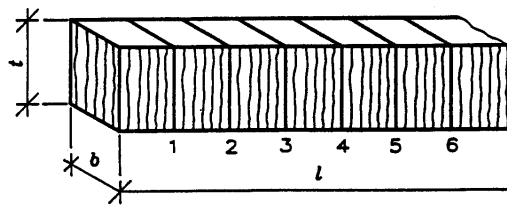


Bild 3.5: Mindestfaserbruchanteile bezogen auf die Scherfestigkeit  $f_{v,a}$  gemäss EN 386:2001 [21]

Die Blockscherterests müssen, wie bereits erwähnt, gemäss EN 392:1995 [11] durchgeführt werden. Diese Norm ist für die Anwendung im Rahmen der kontinuierlichen Qualitätskontrolle von Klebfugen vorgesehen. Das durch die verwendete Prüfeinrichtung auf die Prüfkörper aufzubringende Lastschema ist in der Norm durch eine Prinzipskizze festgehalten (siehe Bild 2.1). Die Kraft soll dabei mittels halbzyklindrischen Druckstücken so eingeleitet werden, dass sich die Prüflast automatisch zentriert und der Prüfkörper auf einer Stirnseite in Richtung der Breite gleichmässig belastet wird. Die Klebfuge darf an keiner Stelle mehr als 1 mm von der Scherfläche abweichen. Der Prüfkörper muss die in Bild 3.6 dargestellte Form und Abmessung aufweisen. Bei der Herstellung ist insbesondere sicherzustellen, dass die belasteten Flächen eben und parallel zueinander sowie rechtwinklig zur Faserrichtung sind.



Masse: Länge  $l$   
 Breite  $b$ : 40 mm bis 50 mm  
 Dicke  $t$ : 40 mm bis 50 mm

Bild 3.6: Prüfkörper zur Ermittlung der Scherfestigkeit von Klebfugen gemäss EN 392:1995 [11]

Die Scherfestigkeit  $f_{v,a}$  wird nach folgender Formel berechnet:

$$f_{v,a} = k \frac{F_u}{A} \quad (3.1)$$

$$k = 0.78 + 0.0044 \cdot t \quad (3.2)$$

$A$  ist dabei die Scherfläche ( $b \cdot t$ ),  $F_u$  die maximale Last bzw. Bruchlast und  $k$  ein Korrekturfaktor, mit welchem die ermittelte Scherfestigkeit von Prüfkörpern korrigiert wird, bei denen die Dicke  $t$  (in mm) der Scherfläche in Faserrichtung kleiner als 50 mm ist.

Die Prüfkörper sind vor der Scherprüfung im Normklima 20/65 nach ISO-Norm 554:1976 [23], d. h. bei einer Temperatur von  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  und einer relativen Luftfeuchte von  $(65 \pm 5)\%$  so lange zu klimatisieren, bis sich die Gleichgewichtsfeuchte eingestellt hat. Für die Eigenüberwachung in Betrieben muss die Holzfeuchte gleichmässig über den Prüfkörper verteilt sein und innerhalb eines Bereichs von 8% bis 13% liegen. (Dies ist schwierig nachzuweisen und wird wohl auch selten geprüft.)

### 3.3.1.2 Amerikanische Normen ASTM

In den Vereinigten Staaten haben Brettschichtholzproduzenten die Qualitätskontroll-Vorschriften nach den Normen ANSI/AITC 190.1-2002 [24] und ANSI/AITC 200-2004 [25] zu befolgen. Die Scherfestigkeitsprüfung von Klebfugen erfolgt im Rahmen des AITC Tests T107. Dort ist betreffend Blockscherversuch auf die Norm ASTM D 905-03 [10] verwiesen. In letzterer wird der Prüfer darauf hingewiesen, dass „die mit der in dieser Norm aufgeführten Prüfmethode die wahre Scherfestigkeit von Klebfugen nicht ermittelt werden kann“ weil „viele Faktoren die Messung beeinflussen, so z. B. die Holzfestigkeit, die Prüfkörper-Geometrie und -Form, die Prüfeinrichtung und die Belastungsgeschwindigkeit“. Es ist ebenfalls erwähnt, dass „Spannungskonzentrationen bei Kerben im Prüfkörper zu tieferen Scherfestigkeitswerten führen können“, dies im Gegensatz zu der Prüfmethode beschrieben in ASTM D 143 [26] wo (fälschlicherweise) gesagt wird, dass „diese Effekte sich selbst korrigieren und die Messwerte daher nahe an der korrekten Scherfestigkeit von Holz liegen. Von der zu verwendenden Prüfvorrichtung wird verlangt, dass sie über eine automatisch die Prüfkraft zentrierende Lagerung mit entsprechender gleichmässiger Lastverteilung verfügen muss. Die Prüfeinrichtung, welche in Bild 3.7 dargestellt ist, wird von den Amerikanischen Normen als geeignet erachtet. Die Abmessungen der zugehörigen Prüfkörper sind in Bild 3.8 gezeigt.

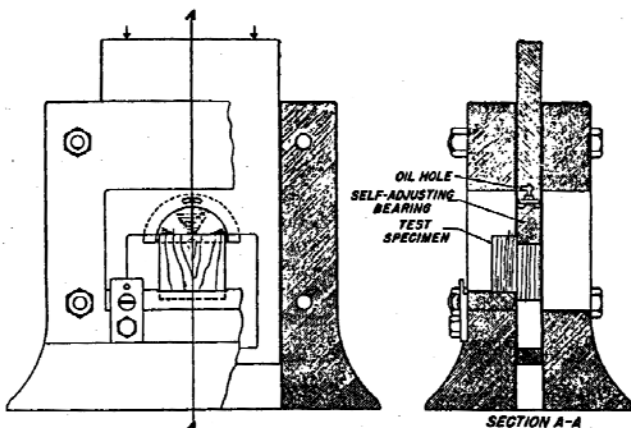


Bild 3.7: Scherprüfeinrichtung gemäss Amerikanischer Norm ASTM D 905-03 [10]

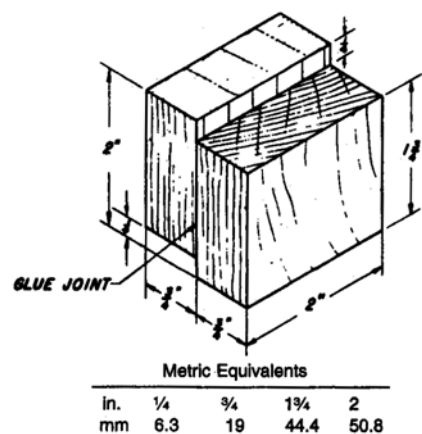


Bild 3.8: Prüfkörper zur Ermittlung der Scherfestigkeit von Klebfugen gemäss ASTM D 905-03 [10]

### 3.3.1.3 ISO-Normen

Innerhalb der ISO-Normenreihe behandelt die Norm ISO 12578 [27] die Leistung von Bauteilen und die Anforderungen an die BSH-Produktion. Die Formulierungen in dieser Norm sind ähnlich wie in der korrespondierenden Europäischen Norm EN 386:2001. In Analogie zur letzteren wird als eine der Möglichkeiten zur Bestimmung der Scherfestigkeit von Klebfugen der Blockscherversuch erwähnt. Diesbezüglich wird dann auf die Norm ISO 12579 [12] verwiesen, welche eine Kombination der Vorschriften aus den Norm EN 392 und ASTM D 905 bezüglich Versuchsdurchführung und Prüfkörper-Geometrie darstellt. Was die Prüfeinrichtung zur Durchführung der Scherversuche betrifft, gibt auch diese Norm (wie die EN 392) nur eine schematische Prinzipskizze an. In der ISO-Norm 6238:2001 [28] schliesslich findet sich ein Bild einer Prüfvorrichtung für Blockscherversuche ähnlich derjenigen in der amerikanischen Norm ASTM D 905-03 (Bild 3.7).

### 3.3.2 Vorteile und Nachteile der Blockschertests

Der beschriebene Blockschertest hat den Vorteil der Einfachheit was die Prüfkörper-Herstellung, das erforderliche Prüfgerät und den gesamten Versuchsablauf inklusive Datenauswertung betrifft. Es sind allerdings auch einige Nachteile bekannt:

- Wie mittels experimentellen und theoretischen Spannungsanalysen [6, 9] gezeigt wurde, treten in der Klebfuge ungleichmässige Spannungsverteilungen mit Spannungsspitzen bei den Lasteinleitungszonen auf (Bild 3.1). Die solchermassen mit Gleichung 3-1 abgeleitete Scherfestigkeit ist daher nur ein Nominalwert.
- Die Testresultate werden durch die aktuell verwendete Prüfeinrichtung, d. h. durch die Materialisierung der Prinzipskizze zur Lasteinleitung gemäss EN 392 (Bild 2.1) beeinflusst, sowie durch die Person, welche den Test durchführt (siehe dazu Abschnitt 3.4). In Bild 3.9 sind als Beispiel drei durch verschiedene Prüfinstitute und BSH-Produktionsfirmen verwendete Scherprüfeinrichtungen dargestellt.

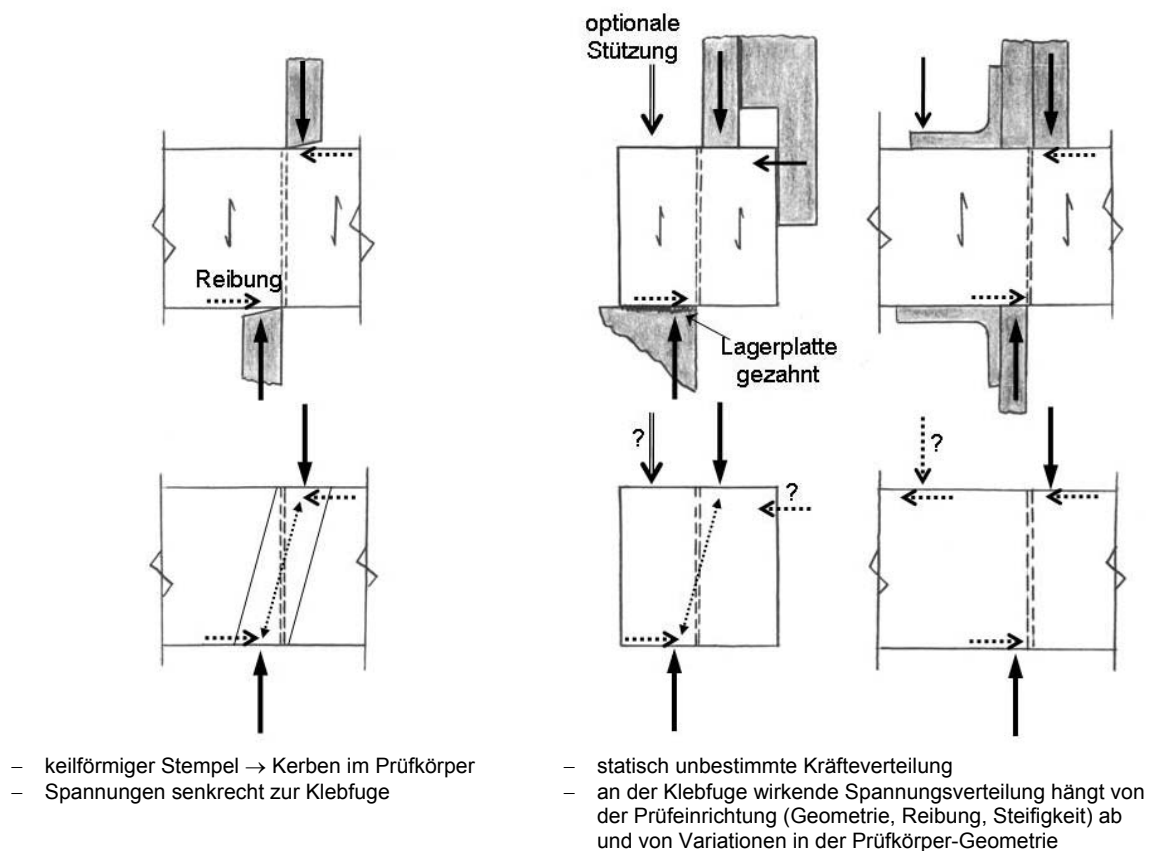


Bild 3.9: Drei Beispiele von Scherprüfeinrichtungen aus verschiedenen Prüfinstituten und BSH-Produktionsfirmen

- Während des Scherversuchs entstehen im Prüfkörper Schubverformungen. In den meisten existierenden Scherprüfeinrichtungen sind diese Schubverformungen mit anderen wirkenden Spannungen überlagert (Bild 3.9), was die Versuchsergebnisse in unbekannter Art beeinflusst.
- Mit Scherprüfeinrichtungen unterschiedlicher Bauart ermittelte Prüfdaten können nicht unmittelbar verglichen werden. Genaugenommen dient ein solcher Versuch also dem Brettschichtholz-Hersteller nur als Warnzeichen, wenn die Prüfwerte unter eine bestimmte Grenze fallen.

### 3.4 Betrachtungen zum Kräftegleichgewicht am Prüfkörper

Das sich in einem Prüfkörper bei einem Scherversuch nach EN 392:1995 einstellende Kräftegleichgewicht ist in Bild 3.10 dargestellt. Die Scherkräfte  $A_v$  weisen nicht dieselbe Wirkungslinie auf, sondern wirken mit einer Exzentrizität  $e$ , welche abhängig ist von den Abmessungen der Stempel  $\ell_A$  der verwendeten Prüfeinrichtung. Dadurch entsteht ein Biegemoment  $A_v \cdot e$ , das durch ein gleich grosses Reaktionsmoment  $h \cdot A_h$  kompensiert werden muss. Sowohl die Exzentrizität  $e$  als auch das Reaktionsmoment sind abhängig von der verwendeten Prüfeinrichtung. Wenn man z. B. im Versuch eine Scherfestigkeit von  $f_{v,a} = 6 \text{ N/mm}^2$  erzielt, ergibt sich für die Scherkraft in einer Klebfuge mit den Abmessungen von  $50 \cdot 45 \text{ mm}^2$  ein Wert von  $A_v = 13.5 \text{ kN}$  und die aus Gleichgewichtsgründen nötige Reibungskraft  $A_h$  beträgt dann  $3 \text{ kN}$ . Dies wiederum entspricht einer Reibungsspannung von  $6 \text{ N/mm}^2$ . Die Breite der Stempel muss  $7$  bis  $10 \text{ mm}$  betragen, wenn man von einer maximal auf Druck parallel zur Faserrichtung einleitbaren Spannung von  $f_{c,0} = 30 - 40 \text{ N/mm}^2$  ausgeht.

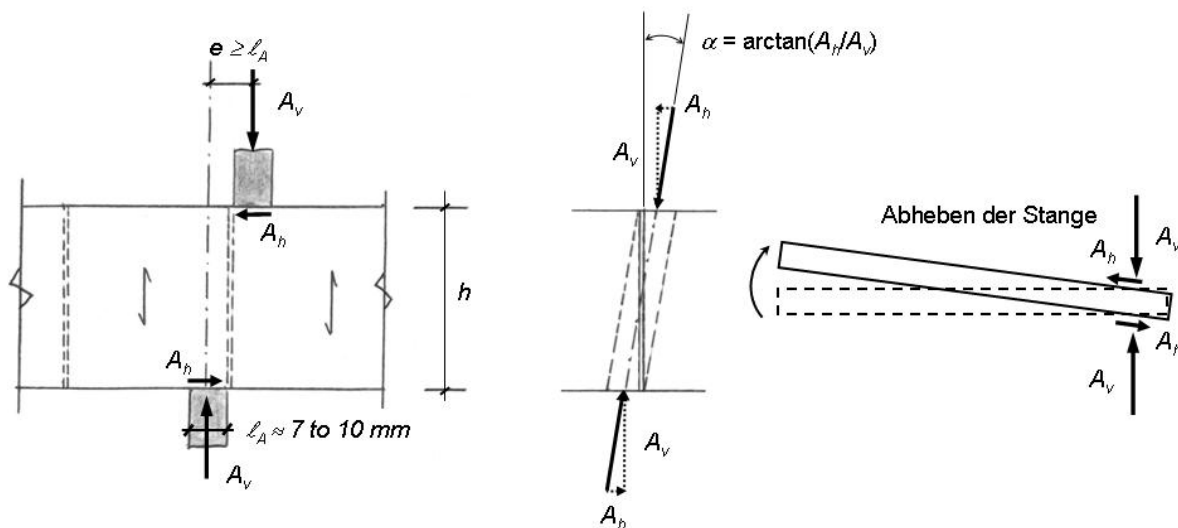


Bild 3.10: Prüfkörper zur Ermittlung der Scherfestigkeit von Klebfugen gemäss EN 392:1995 [11]

Effektiv herrscht in der Prüfzone ein Druckspannungszustand schräg zur Faser mit einem Kraft- zur Faserwinkel von  $\alpha \approx \arctan(A_h/A_v) = \arctan(3/13.5) = \arctan 0.22 = 12.5^\circ$  und das Reaktionsmoment beginnt sich aufzubauen, wenn am Ort der maximalen Druckspannung Deformationen auftreten. Diese Deformation ihrerseits führt zu einem Abheben des Prüfstabs. Wenn dieses Abheben behindert wird, z. B. dadurch, dass der Prüfer den Prüfstab hinunterdrückt, so entstehen neben den in der Klebfuge wirkenden Scherspannungen signifikante Biegezug- und Biegedruckspannungen. Dies kann zu einem frühzeitigen Versagen des Prüfkörpers bei vergleichsweise geringen Scherspannungen führen. Solches ist effektiv bei einem Schweizer Brettschichtholz-Produzenten beobachtet worden: Die Person, welche bis anhin die Scherprüfung der Klebfugen durchführte wurde pensioniert. In der Folge wurde ein merkbarer Abfall in den Prüfergebnissen festgestellt, welcher für die Firma zunächst nicht erklärbar war, da an der Produktion nichts geändert worden war. Eine detaillierte Analyse ergab dann, dass der jüngere, kräftigere Nachfolger des Prüfers bei der Scherprüfung den Prüfstab bedeutend stärker hinunter drückte als sein Vorgänger.

Bekannterweise beeinflussen gleichzeitig wirkende Spannungen senkrecht zur Faser die in einem Holzquerschnitt aufnehmbaren Schubspannungen (Bild 3.11). Während simultan wirkende Zugspannungen senkrecht zur Faser  $f_{t,0}$  zu einem Absinken des Schubwiderstands führen, bewirken Druckspannungen senkrecht zur Faser  $f_{c,0}$  einen höheren Schubwiderstand. Dieser Sachverhalt ist in am Beispiel der Krafteinleitung aus einer Dachstrebe in einen Zugbalken in Abhängigkeit des Strebenwinkels aufgezeigt. Die aktuelle Schweizer Holzbaunorm SIA 265:2003 [29] gibt für solche Spannungs-kombinationen ein spezielles Bemessungskriterium an (Bild 3.12).

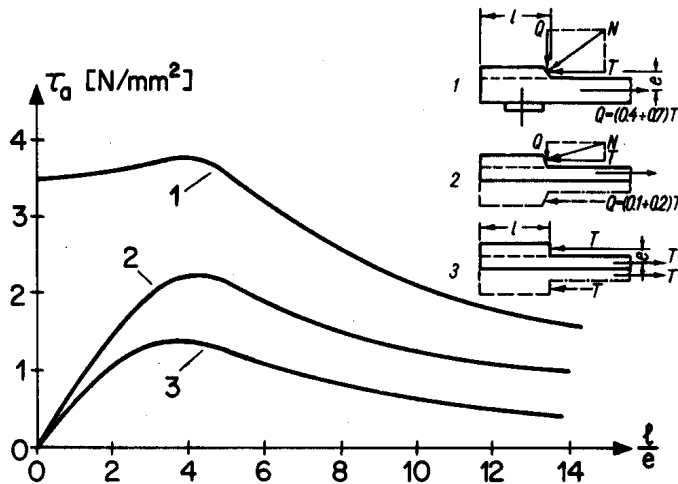
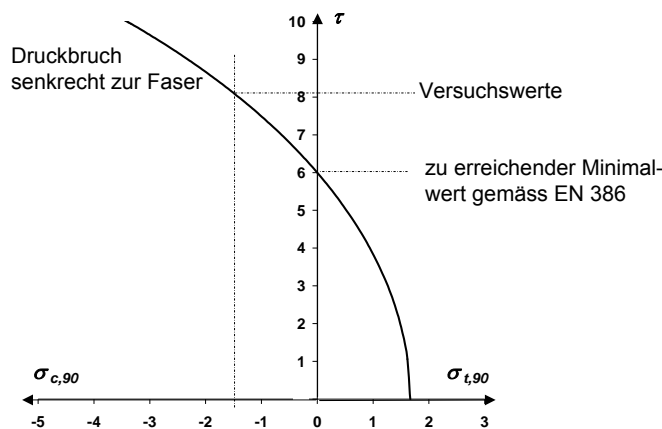


Bild 3.11: Einfluss von Spannungen senkrecht zur Faser auf die Schubfestigkeit [30]



$$\left( \frac{f_{c,90,d} + \sigma_{90,d}}{f_{c,90,d} + f_{t,90,d}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2 \left[ 1 - \left( \frac{f_{c,90,d}}{f_{c,90,d} + f_{t,90,d}} \right)^2 \right] \leq 1 \quad (3.3)$$

Bild 3.12: Bemessungskriterium für simultan wirkende Schubspannungen und Spannungen senkrecht zur Faserrichtung [29, 31]

Unter der Annahme, dass bei einer mittleren Scherfestigkeit von  $f_{v,a} = 6 \text{ N/mm}^2$  gemäss EN 386:2001 [21] die verwendete Prüfeinrichtung in der Lage ist, die Scherfestigkeit korrekt zu bestimmen, muss davon ausgegangen werden, dass sämtliche diesen Mittelwert übersteigenden Werte der Scherfestigkeit von einer gleichzeitig wirkenden Druckspannung senkrecht zur Faser beeinflusst werden. Diese Druckspannungskomponente verfälscht das Versuchsergebnis, indem die gemessene Scherfestigkeit zu hoch ausfällt. Optisch erkennbar wird die wirkende Druckspannungskomponente senkrecht zur Faser bei sehr hohen Versuchswerten, indem dort Druckbrüche senkrecht zur Faser, d. h. Quetschungen im Prüfkörper auftreten können.

Dass diese theoretischen Überlegungen korrekt sind, wurde mittels einer kleinen Versuchsserie gezeigt. Untersucht wurde der Einfluss der Reibung beim Auflager der Prüfkörper, indem vergleichende Versuche mit dem herkömmlichen Prüfgerät der Empa mit Auflagerung der Prüfkörper auf (1) gekerbter Stahlplatte (= Normalsituation), (2) auf glatter Stahlplatte und (3) auf Teflonfolie durchgeführt wurden. Die entsprechenden Resultate sind im Kapitel 6 beschrieben.

### 3.5 Verwendete Prüfgeräte der am Projekt beteiligten Hersteller

Wie weiter oben gezeigt wurde, sind die gemessenen Werte der Scherfestigkeit abhängig von der konstruktiven Ausbildung des Prüfgeräts, aber auch von der Art der Kraftaufbringung und der Messung derselben. Vorerst wurde daher bei den am Projekt mitwirkenden BSH-Herstellerfirmen eine Erhebung der verwendeten Prüfgeräte gemacht, mit dem Ergebnis, dass sämtliche am Projekt mitwirkende Firmen dasselbe, von der Firma Lübbert Warenhandel GmbH & Co. KG ([www.luebbert-warenhandel.de](http://www.luebbert-warenhandel.de)) hergestellte Prüfgerät (Bild 3.14) verwenden. Die Kraft wird hydraulisch mittels einer Handpumpe erzeugt und an einem analogen Öldruckmesser (Manometer) abgelesen. Bild 3.13 zeigt Detailaufnahmen der Prüfzone und Bild 3.14 eine Gesamtansicht.

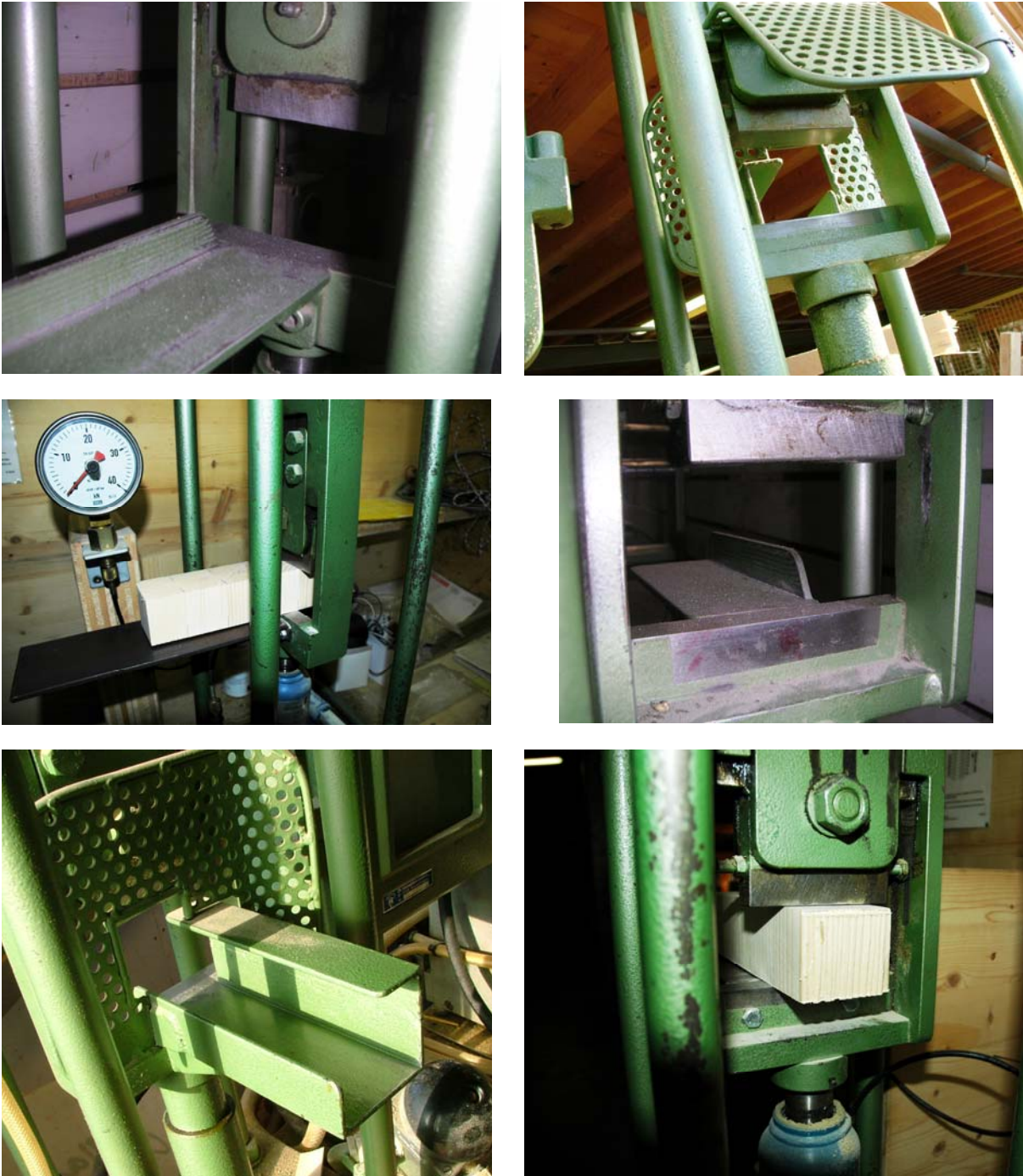


Bild 3.13: Scherprüfgerät der Firma Lübbert Warenhandel GmbH: Detailaufnahmen des Prüfbereichs (Auflagerungen ohne/mit Sicherung des Prüfkörpers gegen Abheben in der linken Bildspalte und Stempel ohne/mit Prüfkörper rechts)



Bild 3.14: Scherprüfgerät der Firma Lübbert Warenhandel GmbH: Gesamtansichten

Mit einer Ausnahme wurden sämtliche im vorliegenden Bericht erfassten Eigenüberwachungsdaten der Betriebe mit dem Lübbert-Prüfgerät (Bild 3.14) ermittelt. Ein Betrieb setzte den von Herrn Prof. em. E. Gehri entwickelten Protopy (Bild 4.4) ein. Seit Abschluss des Forschungsprojekts haben die meisten SFH-Betriebe das in Bild 3.15 dargestellte Universalprüfgerät zur Qualitätsprüfung von BSH mit Servo-Hydraulik der Firma Howial ([www.howial.de](http://www.howial.de)) angeschafft.



Bild 3.15: Universalprüfgerät für die Qualitätskontrolle von BSH, hergestellt durch die Firma Howial (Bild: E. Schliiger)

Die Scherprüfung wird mit der im Bild 3.16 dargestellten Zusatzvorrichtung durchgeführt. Die Prüfkörper werden auf eine glatte Stahlplatte aufgelegt und automatisch positioniert und fixiert (Abheben verhindert). Der Stempel ist rechteckig (ohne Schneide) ausgebildet. Die Kraft wird maschinengesteuert servo-hydraulisch erzeugt und mittels PC gemessen.

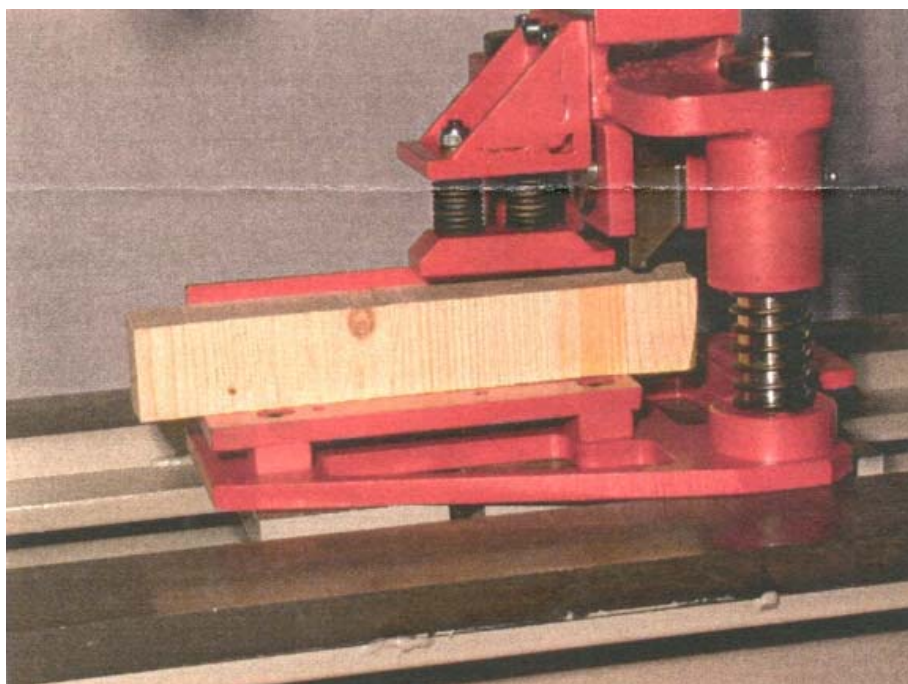


Bild 3.16: Scherprüfgerät Howial

### 3.6 Literatur zu Kapitel 3

1. Yoshihara H., Matsumoto A. (2005): Measurement of the shearing properties of wood by in-plane shear test using a thin specimen. *Wood Science and Technology* 39 (2) 141-153.
2. Ferguson A., Andrews J. P. (1928): An experimental study of the anticlastic bending of rectangular bars of different cross-sections. *The Proceedings of The Physical Society* 41 (226)
3. Comité Européen de Normalisation CEN (2003): EN 408: Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften. Comité Européen de Normalisation CEN,
4. Feldborg T. (1991): Determination of some mechanical properties of timber in structural sizes. In: 1991 International Timber Engineering Conference, Timber Research and Development Association TRADA, 2, London
5. Larsen H. J. (1987): Determination of shear strength and strength perpendicular to grain. In: *Proceedings of CIB-W18 Meeting Twenty*, Dublin, Ireland
6. Radcliffe B. M., Suddarth S. K. (1955): The notched beam shear test for wood. *Forest Products Journal* 5 (2) 131-135.
7. Arcan M., Hashin Z., Voloshin A. (1978): Method to Produce Uniform Plane-Stress States with Applications to Fiber-Reinforced Materials. *Experimental Mechanics* 18 (4) 141-146.
8. Bodig J., Jayne B. A. (1993): *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Krieger Publishing Company,
9. Coker E. G., Coleman G. P. (1935): *Photo-elastic investigations of shear-tests of timber*. Institution of Civil Engineers, London.
10. American Society for Testing and Materials ASTM (2003): ASTM D 905-03: Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. American Society for Testing and Materials ASTM,
11. Comité Européen de Normalisation CEN (1995): EN 392: Brettschichtholz - Scherprüfung der Leimfugen.



12. International Organization for Standardization ISO (2006): Draft International Standard ISO 12579.2: Timber structures - Glued laminated timber - Method of test for shear strength of glue lines.
13. Kollmann F. F. P., Côté Jr. W. A. (1968): Principles of wood science and technology. Springer, Berlin.
14. 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. Zürich.
15. Empa (1950): Richtlinien zur Untersuchung von Holz - 2. Teil: Untersuchungen zur materialtechnischen Charakterisierung von Rundholz und Schnittware. Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie Bauwesen und Gewerbe, Zürich.
16. 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 waldfrisches Holz der Fichte, Tanne, Lärche, Buche und Eiche. s.n., Zürich.
17. Henrici D., Scheicher U. (1988): Shear-strength of glued lap joints in test specimens with frictionless support. Holz als Roh- und Werkstoff 46 (1) 33-33.
18. Roš M. (1925): S.I.A.-Normen für Holzbauten - Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen an der E.M.P.A. mit Bauhölzern, in den Jahren 1924/25 als Grundlage für die Normen des S.I.A. Eidgenössische Materialprüfungsanstalt der E.T.H. in Zürich, Zürich.
19. Roš M. (1936): Das Holz als Baustoff.
20. Comité Européen de Normalisation CEN (2005): EN 14080: Holzbauwerke - Brettschichtholz - Anforderungen. Comité Européen de Normalisation CEN,
21. Comité Européen de Normalisation CEN (2001): EN 386: Brettschichtholz - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung. Comité Européen de Normalisation CEN,
22. Comité Européen de Normalisation CEN (2001): EN 391: Brettschichtholz - Delaminierungsprüfung von Leimfugen. Comité Européen de Normalisation CEN,
23. International Organization for Standardization ISO (1976): International Standard ISO 554: Standard atmospheres for conditioning and/or testing; Specifications.
24. American Institute of Timber Construction (2002): AITC Standard 190.1-2002: American National Standard - Structural Glued Laminated Timber. American Institute of Timber Construction,,
25. American Institute of Timber Construction (2004): AITC Standard 200-2004: Inspection Manual for Structural Glued Laminated Timber. American Institute of Timber Construction,,
26. American Society for Testing and Materials ASTM (2000): ASTM D 143-94: Standard test methods for small clear specimens of timber. American Society for Testing and Materials ASTM,
27. International Organization for Standardization ISO (2007): Draft International Standard ISO 12578.2: Timber structures - Glued laminated timber - Component performance and production requirements.
28. International Organization for Standardization ISO (2001): International Standard ISO 6238: Adhesives - Wood-to-wood adhesive bonds - Determination of shear strength by compressive loading.
29. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2003): Norm SIA 265 - Holzbau. Sia, Zürich.
30. Karlsen G. G., Goodman W. L. (1967): Wooden structures. Mir, Moscow.
31. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2003): Dokumentation D 0185: Holzbau - Einführung in die Norm SIA 265. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Zürich.



## 4 Neue Methode zur Bestimmung der Scherfestigkeit

### 4.1 Ansatz

Bekannterweise kann man die Scherfestigkeit auch mit einem Druckversuch schräg zur Faser bestimmen. Dies ist in 4.2 erklärt und wird z. B. in der EN 408:2003 [1] umgesetzt. Dort wird ein Winkel von 14° zwischen Kraft- und Faserrichtung verwendet. Die konkrete Versuchsdurchführung sieht vor, dass abgeschrägte Stahlplatten mittels eines Epoxydharz-Klebstoffes an den Holzprüfkörper geklebt werden müssen. Dies ist ziemlich aufwändig und für die Qualitätskontrolle von Klebfugen im BSH-Produktionsbetrieb ungeeignet. Trotzdem kann die Idee eines Druckscherversuchs schräg zur Faser aufgegriffen und für die Klebfugen-Qualitätskontrolle geeignet umgesetzt werden.

### 4.2 Zug- und Druckbeanspruchung schräg zur Faser

Spannungs- bzw. Krafteinleitungen in Holz bei denen die Kraft- von der Faserrichtung abweichen, können beispielsweise mit der Hankinson-Formel [2] analysiert werden (siehe Bild 4.3). Dieser Zusammenhang wurde unabhängig auch von Kollmann [3] gefunden, dies basierend auf kristallphysikalischen Überlegungen durch Horig [4]. Die Hankinson-Formel gibt allerdings nur Informationen zur resultierenden Spannung schräg zur Faser, nicht jedoch zu in Abhängigkeit des Kraft- zur Faserwinkels auftretenden Brucharten.

Stüssi zeigte in [5] und [6], dass für ein Scheibenelement mit isotropem Materialverhalten ein Spannungsgleichgewicht zwischen Normalspannungen  $\sigma$  und Schubspannungen  $\tau$  gefunden werden kann, für den Fall, dass eine Spannung  $\sigma_\alpha$  unter einem Winkel  $\alpha$  zur Faserrichtung auf das Element einwirkt. Die Hauptspannungen  $\sigma_1$  und  $\sigma_2$  ergeben sich dann zu:

$$\sigma_1 = \sigma_\alpha \quad (4.1)$$

$$\text{und} \quad \sigma_2 = 0 \quad (4.2)$$

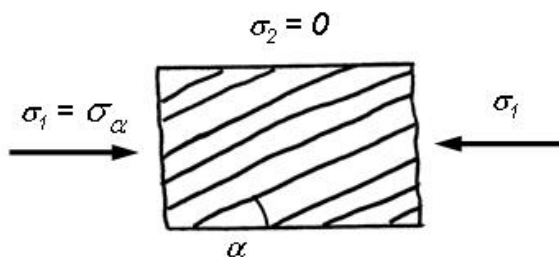


Bild 4.1: Spannungen an einem isotropen Scheibenelement bei Beanspruchung durch eine gegenüber der Faserrichtung um den Winkel  $\alpha$  geneigte Spannung  $\sigma_\alpha$ .

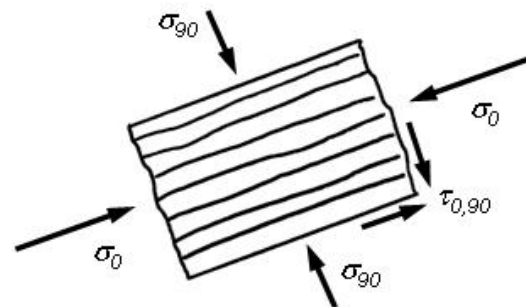


Bild 4.2: Dem Bild 4.1 entsprechender Spannungszustand an einem isotropen Scheibenelement mit Spannungskomponenten parallel und rechtwinklig zur Faser

Durch Drehen des Scheibenelements um den Winkel  $\alpha$  (Bild 4.2) können die dieser Situation entsprechenden Spannungen parallel und rechtwinklig zur Faser, sowie die Schubspannung mit den Gesetzen der Festigkeitslehre berechnet werden zu:

$$\text{Spannung parallel zur Faser:} \quad \sigma_0 = \sigma_\alpha \cdot \cos^2 \alpha \quad (4.3)$$

$$\text{Spannung rechtwinklig zur Faser:} \quad \sigma_{90} = \sigma_\alpha \cdot \sin^2 \alpha \quad (4.4)$$

$$\text{Schubspannung:} \quad \tau_{0,90} = \sigma_\alpha \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \quad (4.5)$$

In Abhängigkeit des Kraft- zur Faserwinkels können drei verschiedene Brucharten auftreten

- Überschreiten der Druckfestigkeit parallel zur Faser: 
$$\sigma_{\alpha} = \frac{\sigma_0}{\cos^2 \alpha} \quad (4.6)$$

- Schubbruch: 
$$\sigma_{\alpha} = \frac{\tau_{0,90}}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} \quad (4.7)$$

- Überschreiten der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faser: 
$$\sigma_{\alpha} = \frac{\sigma_{90}}{\sin^2 \alpha} \quad (4.8)$$

Ylinen zeigte in [7] durch Lösen der zur Beschreibung des Spannungszustandes in einer Scheibe verwendeten Airy'schen Spannungsfunktion, dass die obigen Formeln auch für orthotropes Material (d. h. für Holz) gültig sind. Der Verlauf der Druckspannung schräg zur Faser  $\sigma_{\alpha}$  in Funktion des Kraft- zur Faserwinkels  $\alpha$  ist in Bild 4.3 dargestellt.

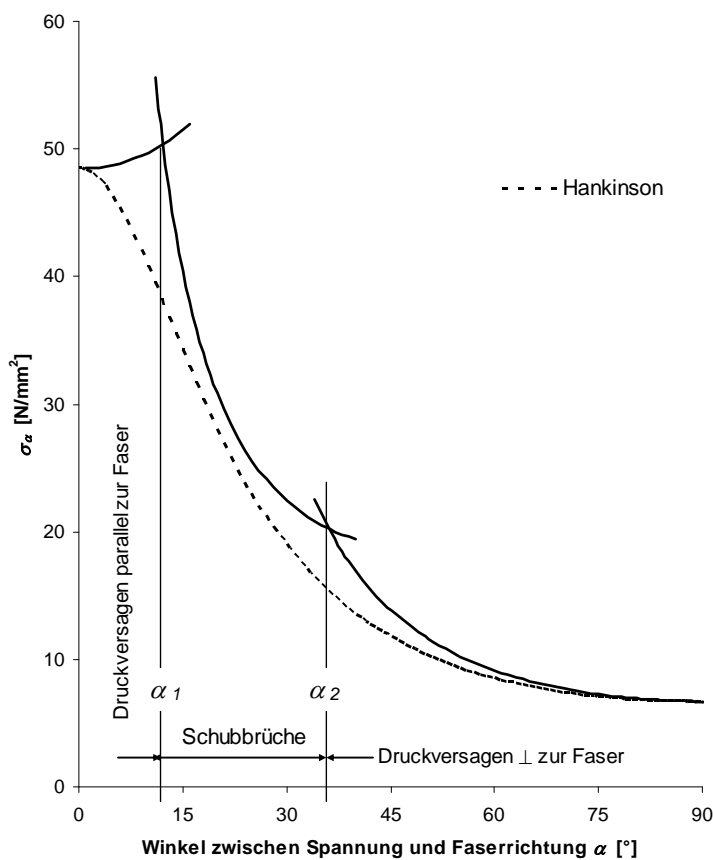


Bild 4.3: Einfluss des Winkels zwischen Kraft und Faser auf die Druckfestigkeit von Holz (nach Stüssi [5, 6])

Man kann daraus folgern, dass:

- die Schubfestigkeit  $f_{v,0,90}$  mittels Druckscherversuchen schräg zur Faser ermittelt werden kann, wie die Umformung von Gleichung 4.7 zeigt:

$$f_{v,0,90} = f_{c,\alpha} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \quad (4.9)$$

- Schubbrüche bei Kraft- zur Faserwinkeln von ca.  $\alpha_1 = 13^\circ$  bis  $\alpha_2 = 34^\circ$  zu erwarten sind (siehe Bild 4.3).
- bei Kraft- zur Faserwinkeln von  $\alpha < 13^\circ$  vermehrt mit Druckversagen rechtwinklig zur Faser gerechnet werden muss und für  $\alpha > 34^\circ$  zunehmend Druckbrüche parallel zur Faser auftreten.

Dass diese Überlegungen nicht nur theoretischer Natur sind, zeigte Stüssi [5] durch Vergleich seiner Ansätze mit Versuchsergebnissen von Baumann [8] und Kraemer [9]. Ausserdem informierte Stüssi die Fachwelt nachträglich [6], dass die vom ihm in [5, 10] publizierten Zusammenhänge bereits 1920 durch Robertson [11] erkannt worden waren. Eine übersichtliche Darstellung über die historische Entwicklung der experimentellen und theoretischen Untersuchungen über die Festigkeit und Steifigkeit von Holz und Holzwerkstoffen in Abhängigkeit des Kraft- zur Faserwinkels ist in [12] zu finden.

### 4.3 Prototyp einer neuen Prüfvorrichtung

Auf den obigen Überlegungen aufbauend hat Prof. em. E. Gehri 2006 zusammen mit der Firma Zum Wald Maschinen- und Apparatebau, Erlenbach im Simmental für die neue Holzbau AG, Lungern einen Prototyp einer Prüfeinrichtung für Druckschertests schräg zur Faser entwickelt [13] (Bild 4.4). Gewählt wurde ein Kraft- zur Faserwinkel von  $14^\circ$ , wie er auch in der EN 408:2003 [1] für Versuche an Scheibenelementen zur Bestimmung der Schubfestigkeit verwendet wird.  $14^\circ$  entspricht einer Neigung von 1:4. Versuche im Rahmen der Entwicklung der Prüfeinrichtung zeigten, dass steilere Winkel von 1:5 oder 1:6 nicht gewählt werden konnten, da die Prüfkörper dann mehrheitlich wegen Überschreitens der Druckfestigkeit parallel zur Faser versagten. Mit einem Winkel von  $14^\circ$  wurden bei Tests an Nadelholz-Prüfkörpern Scherfestigkeiten von  $10 - 12.5 \text{ N/mm}^2$  registriert. Die dazu nötige Prüfkraft bewirkte Druckspannungen parallel zur Faser unter dem Stempel von  $40 - 50 \text{ N/mm}^2$ . Bei der Prüfung von Laubhölzern akzentuiert sich das Problem noch, da bei diesen Hölzern mit zunehmender Qualität die Schub- bzw. Scherfestigkeit stärker zunimmt als die Druckfestigkeit parallel zur Faser.



Bild 4.4: Prototyp einer neuen Prüfeinrichtung für Druckschertests schräg zur Faser, entwickelt durch Prof. em. E. Gehri und Zum Wald Maschinen- und Apparatebau, Erlenbach im Simmental für die neue Holzbau AG, Lungern [13]

Kräfte- und Spannungsgleichgewicht an der Scherfläche bzw. am Prüfkörper sind in Bild 4.5 dargestellt. Bild 4.6 zeigt die apparatebauliche Umsetzung. Wie man in Bild 4.6 erkennen kann und auch experimentell in [14] gezeigt wurde, entsteht während des Scherversuchs eine Schiebung. Diese Schiebung darf nicht behindert sein, wenn man korrekte Scherfestigkeiten bestimmen will. Daher ist sowohl der obere als auch der untere Druckstempel gelenkig gelagert. Um den Anforderungen der EN 392:1995 [15] gerecht zu werden, lässt eines der Gelenke Rotationen in zwei Richtungen zu.

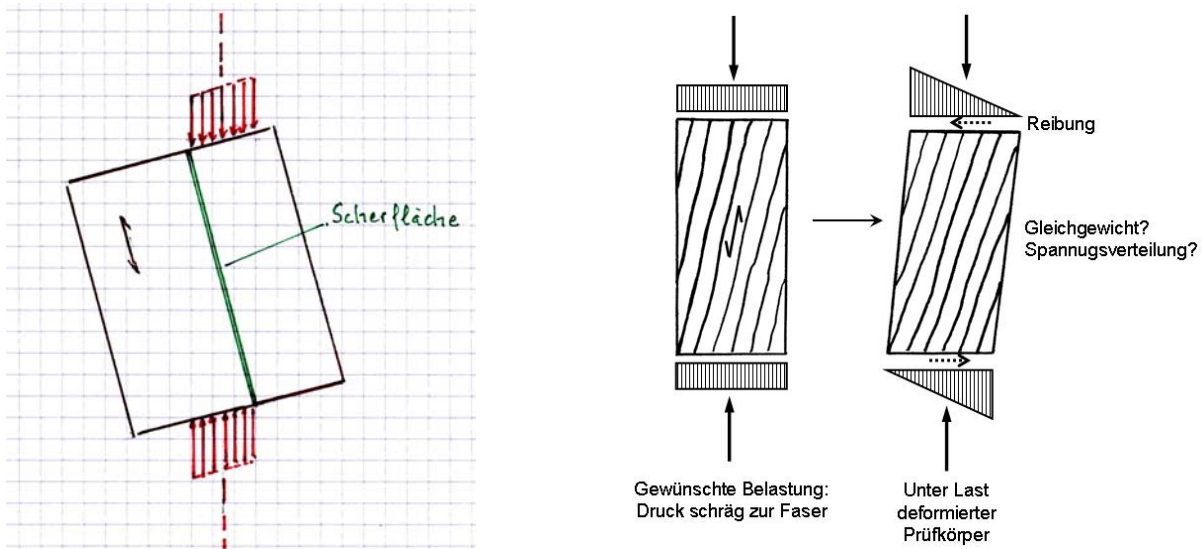
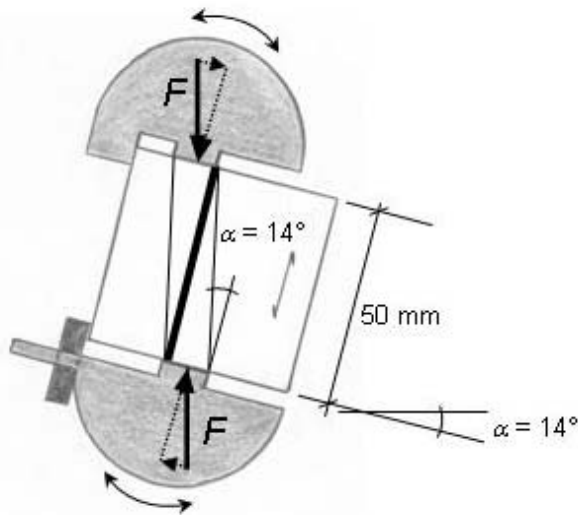


Bild 4.5: Druckbelastung des Prüfkörpers schräg zur Faser (links) und resultierende Betrachtungen zum Spannungsgleichgewicht am undeformierten und am deformierten Prüfkörper (rechts)



$$f_{v,a} = \frac{F_u \cos \alpha}{A} \quad (4.10)$$

Bild 4.6: Apparatetechnische Umsetzung des Druckscherversuchs unter einem Kraft- zur Faserwinkel von 14° an einem Prüfkörper mit der Höhe 50 mm. Die Druckstempel sind gelenkig gelagert. Eines der Lager kann in 2 Richtungen rotieren (Kugelgelenk).

#### 4.4 Vorversuche mit dem Prototypen

Um Erfahrungen mit dem Prototyp zu sammeln, wurden 2006 bei der neuen Holzbau AG, Lungern während 5 Monaten umfangreiche Vorversuche durchgeführt [16]. Dabei wurden die Scherfestigkeiten und die Faserbruchanteile mit der herkömmlichen (Bild 4.7) und mit der neuen Prüfeinrichtung ermittelt und verglichen. Insgesamt wurden ca. 160 Prüfkörper aus 40 verschiedenen BSH-Trägern entnommen und geprüft. Bei den BSH-Trägern handelt es sich ausnahmslos um solche aus Fichtenholz (*Picea abies* Karst.). Als Klebstoff für die Flächenverklebungen wurde ein Formaldehyd-Melaminharz-Klebstoff (MUF) verwendet. Die direkte Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse ermittelt mit der herkömmlichen und mit der neuen Prüfeinrichtung war dadurch gegeben, dass die mit den jeweiligen Prüfeinrichtungen zu prüfenden Stangen als direkt nebeneinander liegende Paare aus den BSH-Trägern entnommen wurden (siehe Bild 4.8).

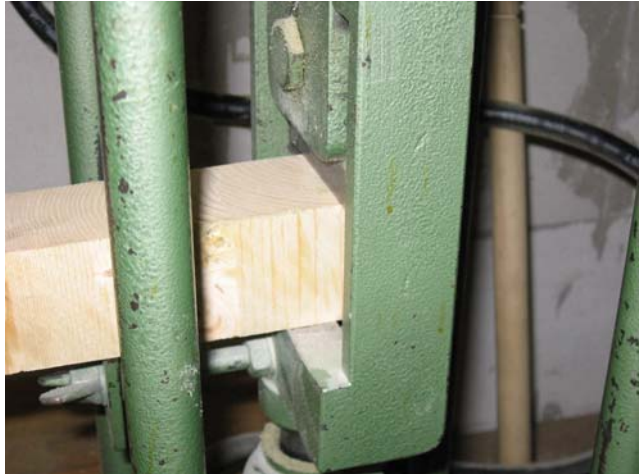


Bild 4.7: Herkömmliche Prüfeinrichtung der neuen Holzbau AG, Lungern zur Durchführung der Scherprüfung von Klebfugen gemäss EN 392: 1995.

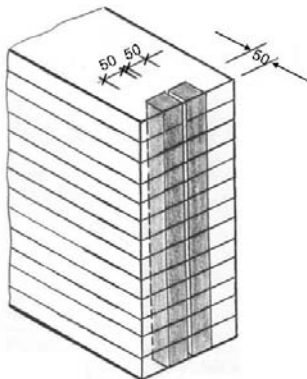
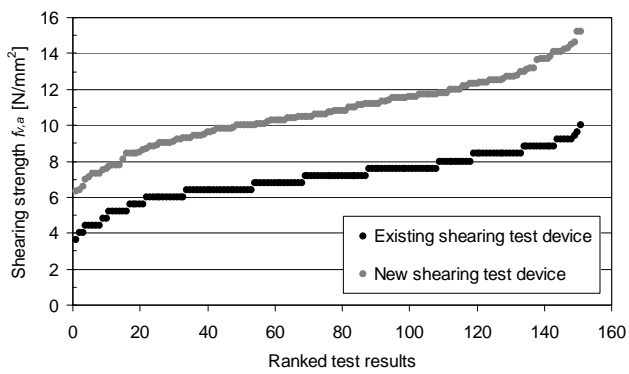


Bild 4.8: Entnahme von Prüfstangenpaaren für vergleichende Scherversuche nach EN 392: 1995 mit der herkömmlichen und der neuen Prüfeinrichtung der neuen Holzbau AG, Lungern

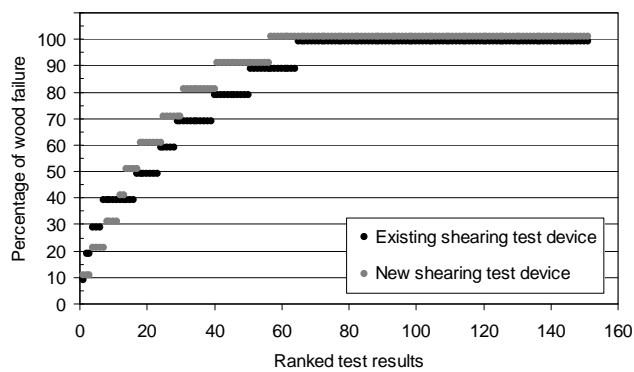
Bild 4.9 und Bild 4.10 geben einen Überblick über die Versuchsergebnisse. Verglichen mit der neuen Prüfeinrichtung waren die ermittelten Scherfestigkeiten bei der herkömmlichen Prüfeinrichtung deutlich geringer. Dies ist auf die bei der herkömmlichen Prüfeinrichtung wirkenden Zugspannungen rechtwinklig zur Faser zurückzuführen. Während die Versuchsergebnisse mit  $f_{v,a,min} = 3.6 \text{ N/mm}^2$  nach herkömmlicher Prüfung die Vorgaben der Norm 386: 2001 [17] (siehe auch Tabelle 3-1) von  $6 \text{ N/mm}^2$  nicht erfüllen, sind die paarweisen Vergleichswerte ermittelt mit der neuen Prüfeinrichtung mit  $f_{v,a,min} = 6.3 \text{ N/mm}^2$  in Ordnung. Was die Faserbruchanteile betrifft, sind keine grossen Unterschiede zwischen den beiden Prüfeinrichtungen feststellbar, obwohl die mit der neuen Prüfeinrichtung ermittelten Scherfestigkeiten ca. 50% grösser waren, als diejenigen ermittelt mit der herkömmlichen Prüfeinrichtung.

In Bild 4.11 sind die erzielten Scherfestigkeitswerte nach Faserbruchanteilen geordnet und für die beiden Prüfeinrichtungen vergleichend dargestellt. Bei der neuen Prüfeinrichtung nimmt der Faserbruchanteil mit zunehmender Scherfestigkeit zu. Dabei war es auch nach exaktem Studium der massgebenden Normen unklar, ob im Rahmen der Qualitätskontrolle im Betrieb der Faserbruchanteil überhaupt hätte bestimmt werden müssen, wenn die gemessenen Scherfestigkeiten grösser sind als  $6 \text{ N/mm}^2$ . Die zugehörigen Paarwerte ermittelt mit der herkömmlichen Prüfeinrichtung erfüllen weder die Anforderungen an die minimale Scherfestigkeit (keine Werte unter  $4 \text{ N/mm}^2$ ) noch ist ein ausreichender Faserbruchanteil bei den tiefen Scherfestigkeiten vorhanden.



	Prüfeinrichtung	
[N/mm <sup>2</sup> ]	herkömmliche	neue
Max	10	15,2
Min	3,6	6,3
Mittel	7,1	10,7
COV	18 %	18 %

Bild 4.9: Vergleich der Scherfestigkeiten in den Klebfugen ermittelt mit der herkömmlichen und mit der neuen Scherprüfvorrichtung der neuen Holzbau AG, Lungern



	Prüfeinrichtung	
[%]	herkömmliche	neue
Max	100	100
Min	10	10
Mittel	84.8	86.7
COV	27 %	27 %

Bild 4.10: Vergleich der Faserbruchanteile in den Klebfugen ermittelt mit der herkömmlichen und mit der neuen Scherprüfvorrichtung der neuen Holzbau AG, Lungern

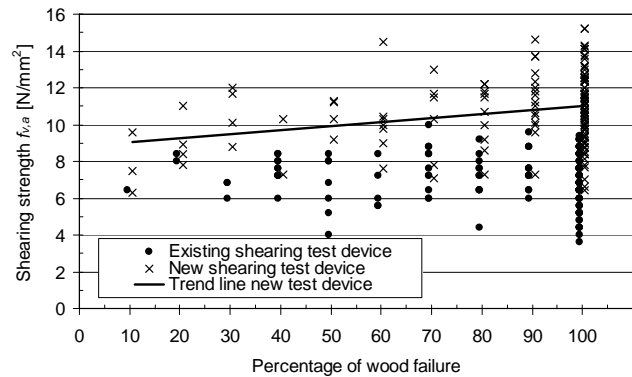


Bild 4.11: Vergleich der herkömmlichen und der neuen Scherprüfeinrichtung der neuen Holzbau AG, Lungern: Scherfestigkeiten gruppiert nach Faserbruchanteil

Aus den Vorversuchen konnten die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

- anstelle von konventionellen Scherversuchen nach EN 392:1995 können im Rahmen der Qualitätskontrolle von BSH-Klebfugen Druckscherversuche schräg zur Faser mit einem Kraft- zur Faserwinkel von 14° durchgeführt werden.
- Mit dem Prototyp der neuen Prüfeinrichtung, welcher die Anforderungen der EN 392:1995 erfüllt und der sich im Praxistest bei der neuen Holzbau AG, Lungern bewährt hat, können zuverlässige und reproduzierbare Scherfestigkeitswerte ermittelt werden, welche nicht durch die Prüfperson beeinflusst sind. Das Prüfkörper-Handling hat sich als nicht komplizierter im Vergleich zur herkömmlichen Prüfmethode erwiesen.



- Die mit der neuen Prüfeinrichtung ermittelten Scherfestigkeiten sind höher als bei der herkömmlichen. Alle Prüfergebnisse liegen über  $6 \text{ N/mm}^2$ .
- Bei der herkömmlichen Prüfeinrichtung beeinflussen Faktoren wie die Konstruktion der Prüfeinrichtung (apparatetechnische Umsetzung der Prinzipskizze aus der EN 392:1995, siehe Figur 2.1), die Prüfperson, die Belastungsgeschwindigkeit, etc. die Messresultate.

Die aus den Vorversuchen gewonnenen Erkenntnisse sollten jedoch durch umfangreichere Versuche eines anerkannten Prüflabors unter Einbezug anderer BSH-Hersteller verifiziert werden. Dabei müssen neben MUF auch andere Klebstoffe untersucht werden. Um Einflüsse unterschiedlicher Belastungsgeschwindigkeit oder unpräziser Kraftmessung auszuschliessen, müssen die Versuche auf einer Universalprüfmaschine durchgeführt werden.

Obige Forschungsaufgabe ist Kernthema des vorliegenden Forschungsberichts. Die durchgeführten Experimente, die Auswertung und die Schlussfolgerungen sind in den folgenden Kapiteln 5 – 7 beschrieben.

## 4.5 Literatur zu Kapitel 4

1. Comité Européen de Normalisation CEN (2003): EN 408: Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften. Comité Européen de Normalisation CEN,
2. Hankinson R. L. (1921): Investigation of crushing strength of spruce at varying angles of grain. U. S. Air Service Information Circular Vol. 3 (Circular No. 259)
3. Kollmann F. (1934): Die Abhängigkeit der Festigkeit und der Dehnungszahl der Hölzer vom Faserverlauf. Der Bauingenieur 15 (19/20) 198-200.
4. Horig H. (1931): Zur Elastizität des Fichtenholzes. Zeitschrift für technische Physik 12 (8) 369-379.
5. Stüssi F. (1946): Holzfestigkeit bei Beanspruchung schräg zur Faser. Schweizerische Bauzeitung 128 (20) 251-252.
6. Stüssi F. (1949): Holzfestigkeit schräg zur Faser. Schweizerische Bauzeitung 67 (6) 90.
7. Ylinen A. (1963): A comparative study of different types of shear test of wood. Helsinki.
8. Baumann R. (1922): <<Die>> bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfungsanstalt an der TH Stuttgart. Berlin.
9. Kraemer O. (1929): Untersuchungen über den Einfluss von Aufbau und Faserverlauf auf Zugfestigkeit, Biegung und Dehnung an Birkenfurnieren und Birkenspertholz. Berlin-Adlersdorf.
10. Stüssi F. (1945): Zum Einfluss der Faserrichtung auf die Festigkeit und den Elastizitätsmodul von Holz. Schweizerische Bauzeitung 126 (22) 247-248.
11. Robertson A. (1920): Report on Materials of Construction used in Aircraft and Aircraft Engines. London.
12. Gehri E., Steurer T. (1979): Holzfestigkeit bei Beanspruchung schräg zur Faser. In: SAH Bulletin, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH,
13. Abplanalp B., Bogusch W. (2007): Die Baustoffqualität als Basis für die Sicherheit von Holztragwerken. Schweizer Holzbau 73 (1) 52-57.
14. Keylwerth R. (1951): Die anisotrope Elastizität des Holzes und der Lagenhölzer. Düsseldorf.
15. Comité Européen de Normalisation CEN (1995): EN 392: Brettschichtholz - Scherprüfung der Leimfugen.
16. Steiger R., Gehri E. (2007): Quality control of glulam: Shear tests of glue lines. In: Proceedings of CIB-W18 Meeting Fourty, Bled, Slovenia
17. Comité Européen de Normalisation CEN (2001): EN 386: Brettschichtholz - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung. Comité Européen de Normalisation CEN,



## 5 Versuche: Methode und Material

### 5.1 Methode

#### 5.1.1 Generelles Konzept

Für im Rahmen der Qualitätskontrolle von BSH durchzuführende Scherprüfungen an Klebfugen gemäss EN 392:1995 [1] sollten die resultierenden Scherfestigkeitswerte und Faserbruchanteile bei Verwendung der folgenden 3 Prüfgeräte verglichen werden:

- A) Prüfung an der Empa mit dem herkömmlichen Prüfgerät (Bild 5.2)
- B) Prüfung im Produktionsbetrieb mit der dort vorhandenen Prüfeinrichtung
- C) Prüfung an der Empa mit dem neuen Prüfgerät (Bild 5.3)

Dabei musste durch entsprechende Positionierung der Prüfstangen und geeignete Nummerierung (Identifikation der Klebfugen) der Prüfkörper sichergestellt werden, dass die für die jeweiligen Prüfkörper-Tripel ermittelten Versuchsdaten überhaupt verglichen werden können.

#### 5.1.2 Stichprobengrössen

##### 5.1.2.1 Mitwirkende BSH-Produzenten

Laut Norm SIA 265:2003, Ziffer 3.4.1.3 setzen die in der Norm angegebenen Bemessungswerte der Festigkeit und Steifigkeit ein BSH voraus, das unter einer fremdkontrollierten Eigenüberwachung gemäss SFH-Richtlinien [2] hergestellt wird. Die Einhaltung dieser Richtlinien wird laufend geprüft und entsprechend den Prüfergebnissen den Firmen ein Attest erteilt. Ursprünglich geplant war, dass sämtliche 10 Attestbetriebe der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau ([www.glulam.ch](http://www.glulam.ch)) am Projekt mitwirken. Letztlich sind bei der Empa Prüfkörper und Betriebsversuchsdaten der folgenden 8 Attestbetriebe eingegangen:

Charpentés VIAL SA  
Constructions en bois  
Passage du Querro 10  
Case Postale 48  
1724 Le Mouret  
[www.vialcharpentés.ch](http://www.vialcharpentés.ch)

Peter Holzbau AG  
Holzleimbau  
Thunstrasse 9  
3638 Blumenstein  
[www.peterholzbauag.ch](http://www.peterholzbauag.ch)

Hüsser Holzleimbau AG  
Ingenieur-Holzbau  
Oberebenestrasse 22  
5620 Bremgarten  
[www.huesser.com](http://www.huesser.com)

Roth & Co. AG  
Holzleimbau + Stahlbau  
Industrie Buchmatt  
3400 Burgdorf  
[www.rothburgdorf.ch](http://www.rothburgdorf.ch)

Max Rutishauser  
Holzbau AG  
Holzleimbau  
Schrofenstrasse 19  
8580 Amriswil

Schilliger Holz AG  
Holzleimwerk  
Haltikon  
6403 Küssnacht  
[www.schilliger.ch](http://www.schilliger.ch)

neue Holzbau AG  
Obseestrasse 11  
6078 Lungern  
[www.nh-lungern.ch](http://www.nh-lungern.ch)

Stuber + Cie AG Holzleimbau  
Holzbau  
3054 Schüpfen  
[www.stuber-holz.ch](http://www.stuber-holz.ch)

Die Herkunft der Prüfkörper wurde anonymisiert durch Bezeichnung der BSH-Produzenten mit „Hersteller A“ – „Hersteller H“. (Die Reihenfolge A – H entspricht nicht der obigen alphabetischen Liste der Produzenten!)

### 5.1.2.2 Anzahl geprüfte BSH-Träger

Pro Betrieb wurden 4 BSH-Träger aus 2 unterschiedlichen Produktionswochen in die Untersuchung einbezogen.

### 5.1.2.3 Anzahl Prüfkörper pro BSH-Träger

Von jedem BSH-Träger wurden 3 hintereinander liegende Scheiben mit je 10 Klebfugen entnommen. Die Scheiben wurden mit A, B und C beschriftet und der Prüfung gemäss 5.1.1 zugeführt. Aus den Scheiben wurden jeweils 2 Prüfstangen (Rand / Mitte, siehe Bild 5.1) entnommen. Es standen also insgesamt 20 Prüfkörper pro Scheibe zur Verfügung

### 5.1.2.4 Resultierende Gesamt-Stichprobengrösse

Pro BSH-Träger wurden insgesamt 3 Scheiben mit 2 Prüfstangen (Rand / Mitte) umfassend je 10 Klebfugen geprüft. Dies ergibt bei 4 BSH-Trägern pro Betrieb und 8 am Projekt mitwirkenden Betrieben Gesamt-Stichprobengrössen von:

- Serien A, B und C je:  $2 \times 10 \times 4 \times 8 = 640$  Scherversuche
- Total:  $3 \times 640 = 1920$  Scherversuche

### 5.1.3 Probenentnahme

Um sicherzustellen, dass die Versuchsdaten der Serien A, B und C mit einander vergleichbar sind, wurden die Prüfstangen-Tripel aus 3 direkt hintereinander liegenden Scheiben gemäss Bild 5.3 entnommen.

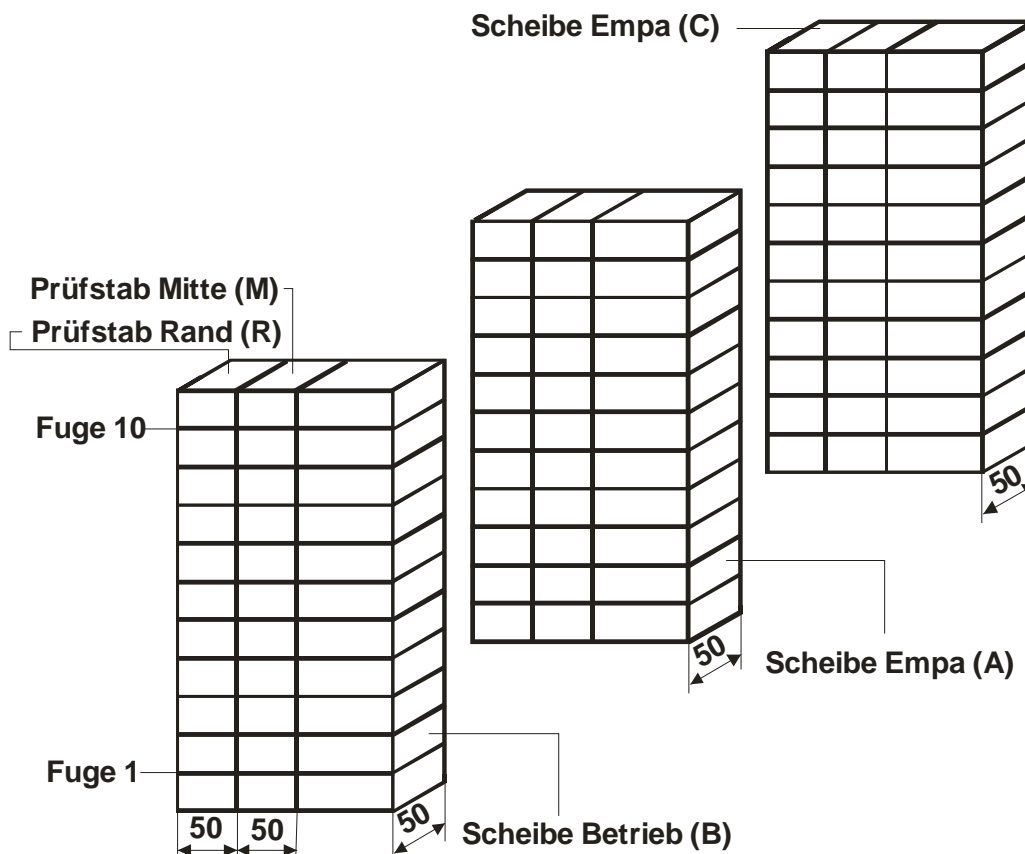


Bild 5.1: Probeentnahme aus den BSH-Trägern

Bei der Entnahme der Prüfkörper wurde darauf geachtet, dass die Klebfugen rechtwinklig zu den Schnittflächen verlaufen. Die Scheiben A – C wurden nach folgendem Schema beschriftet:

- Hersteller: codiert A / B / C / D / E / F / G / H
- BSH-Träger: 1 / 2 / 3 / 4
- Scheibe: A / B / C
- Prüfstab: R (für Rand) / M (für Mitte)
- Fugen-Nummer: 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 7 / 8 / 9 / 10.

Die Abmessungen der Scherflächen betragen 50 x 50 mm. Für die Prüfung mit dem neuen Prüfgerät an der Empa wurden aus den Prüfstangen kubische Prüfkörper mit den Abmessungen 50 x 50 x 50 mm geschnitten.

#### 5.1.4 Prüfung im Betrieb

Die Prüfkörper aus der Scheibe B wurden in den Produktionsbetrieben mit den dort üblicherweise verwendeten Scherprüfeinrichtungen geprüft. Aus den B-Scheiben wurden dafür, vom beschrifteten Rand ausgehend, zwei Prüfstäbe geschnitten. Die Betriebe hatten folgende Angaben zu machen:

- Klebstoff
- Datum der Prüfung
- Einzelmesswerte (mit Angaben des BSH-Trägers, des Prüfstabs und der Fugen-Nr.) von:
  - Abmessungen der Scherfläche
  - Scherfestigkeit [ $\text{N/mm}^2$ ]
  - Faserbruchanteil [%]
  - Holzfeuchte [%]
- Verwendete Prüfeinrichtung.

#### 5.1.5 Versuche an der Empa

##### 5.1.5.1 Versuche mit dem herkömmlichen Prüfgerät

Die Scheiben der A-Serie wurden mit dem herkömmlichen Prüfgerät der Empa (Bild 5.2) auf der 100 kN Universalprüfmaschine Zwick geprüft. Die Versuchsgeschwindigkeit betrug 3mm/min.



Bild 5.2: Herkömmliches Prüfgerät der Empa zur Durchführung von Scherversuchen gemäss EN 392:1995

### 5.1.5.2 Versuche mit dem neuen Prüfgerät

Die C-Scheiben wurden mit dem neuen Prüfgerät der Empa (Bild 5.3) geprüft. Eingesetzt wurde wiederum die 100 kN Universalprüfmaschine Zwick. Die Prüfgeschwindigkeit betrug wiederum 3mm/min.

Der 2. Prototyp des neuen Prüfgeräts wurde wiederum durch die Firma Zum Wald hergestellt:

- Zum Wald  
Maschinen- & Apparatebau  
3762 Erlenbach im Simmental

Gegenüber dem von Prof. em. E. Gehri 2006 für die neue Holzbau AG, Lungern konstruierten Prototyp weist der 2. Prototyp folgende Unterschiede auf:

- Anschlag für Prüfkörper-Positionierung fix 16 mm
- verbesserte Rückstellung der Drehlager nach dem Versuch durch austauschbare Blattfedern
- Material-Veredelung: promatverzinkt
- Krafteinleitungsstempel angepasst auf Universalprüfmaschine Zwick
- Hebelsystem zum einfacheren Ausbau des Prüfkörpers nach dem Versuch
- Gravierte Zentrierhilfen zur einfacheren Ausrichtung von Prüfkörpern mit Breiten < 50 mm
- Aufgeraute Druckplatten, um Rutschen der Probe während des Versuchs zu verhindern
- Bohrungen  $d = 12.5$  mm zur Befestigung des Prüfgeräts auf der Universalprüfmaschine



Bild 5.3: Neues Prüfgerät der Empa zur Durchführung von Scherversuchen gemäss EN 392:1995

### 5.1.5.3 Ermittlung des Faserbruchanteils

Die Flächenermittlung zur Beurteilung des Anteils Holzfaserverbruch und Klebstoffbruch wurde einerseits konventionell, d. h. mittels einer visuellen Schätzung gemacht. Zusätzlich wurde ein im Rahmen des durch den Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung unterstützten Projektes 2006.05 „Automatische Bestimmung des prozentualen Faserbruchanteils bei der industriellen Klebfestigkeitsprüfung“ entwickeltes Verfahren angewandt. Sämtliche angegebenen Faserbruchanteile wurden nach der automatischen Methode bestimmt.

## 5.2 Material

### 5.2.1 BSH

Geprüft wurden Probekörper aus für tragende Zwecke bestimmtes BSH, welche gemäss den SFH-Richtlinien [2] produziert wurde. Vom Hersteller wurde der Einsatzbereich (Feuchteklasse 1, 2 ,3 gemäss Norm SIA 265:2003 [3]) der BSH-Träger sowie deren Festigkeitsklassen gemäss Norm SIA 265/1:2003 [4] erfragt.

### 5.2.2 Lamellen

Bei den zur Herstellung des BSH verwendeten Lamellen handelte es sich ausschliesslich um Fichten- / Tannenholz. Die Lamellendicken schwankten zwischen 38 und 42 mm.

### 5.2.3 Klebstoff

Bezüglich Klebstoff wurden den BSH-Herstellern keine Auflagen gemacht. Er sollte der üblichen Produktion entsprechen. Der verwendete Klebstoff war jeweils anzugeben. Die letztlich geprüften Klebstoffe umfassten Melamin-Formaldehyd-Harze (MUF), Polyurethane (PUR), Resorcin-Formaldehyd-Harze (RF), Harnstoff-Formaldehyde (UF) und polymere Isocyanate (EPI).

### 5.2.4 Holzfeuchte

Nach Eingang an der Empa wurden die Prüfkörper in einem Klimaraum bei einer Temperatur von 20°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65% gelagert. Dies lässt bei Fichte/Tanne eine Holzfeuchte von 12% erwarten. Stichprobenweise nach ISO-Norm 3130:1975 [5] durchgeführte Kontrollmessungen der Holzfeuchte nach den Scherversuchen ergab für die Versuchsreihe „Empa – Herkömmliches Prüfgerät“ einen Mittelwert von 11.5% (Maximalwert 12.5%, Minimalwert 9.8%) und für die Versuchsreihe „Empa – Neues Prüfgerät“ einen Mittelwert von 12.3% (Maximalwert 13.3%, Minimalwert 11.3%). Der Unterschied in der Holzfeuchte von ca. 0.8% rührt daher, dass die Prüfkörper der beiden Serien nicht gleich lange im Klimaraum lagerten. Die Prüfkörper der ersten Serie waren demzufolge nicht vollständig auskonditioniert. Der Einfluss dieses HF-Unterschieds auf die Scherfestigkeiten ist allerdings vernachlässigbar gering. Die einzelnen Prüfwerte sind im Anhang 1 tabelliert.

## 5.3 Literatur zu Kapitel 5

1. Comité Européen de Normalisation CEN (1995): EN 392: Brettschichtholz - Scherprüfung der Leimfugen.
2. Schweizerische Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH (2006): Richtlinien für die Herstellung von Brettschichtholz.
3. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2003): Norm SIA 265 - Holzbau. Sia, Zürich.
4. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2003): Norm SIA 265/1 - Holzbau - Ergänzende Festlegungen. Sia, Zürich.
5. International Organization for Standardization ISO (1975): International Standard ISO 3130: Wood -- Determination of moisture content for physical and mechanical tests.





## 6. Versuche: Resultate

### 6.1 Vorversuche zum Einfluss der Reibung am Auflagepunkt der Prüfkörper

In einer kleinen, im Rahmen des Forschungsprojekts an der Empa durchgeführten Versuchsserie wurde der Einfluss der Reibung (vgl. Bild 3.9) am Auflageort der Prüfkörper untersucht. Die dazu verwendete herkömmliche Prüfeinrichtung, mit welcher auch die übrigen Versuche durchgeführt wurden, ist in Bild 6.1 dargestellt. Bild 6.2 zeigt den Kräfteinleitungsbereich im Detail.



Bild 6.1: Herkömmliche Prüfeinrichtung der Empa zur Durchführung von Scherversuchen



Bild 6.2: Scherprüfeinrichtung der Empa: Nahaufnahme des Lasteinleitungsbereichs

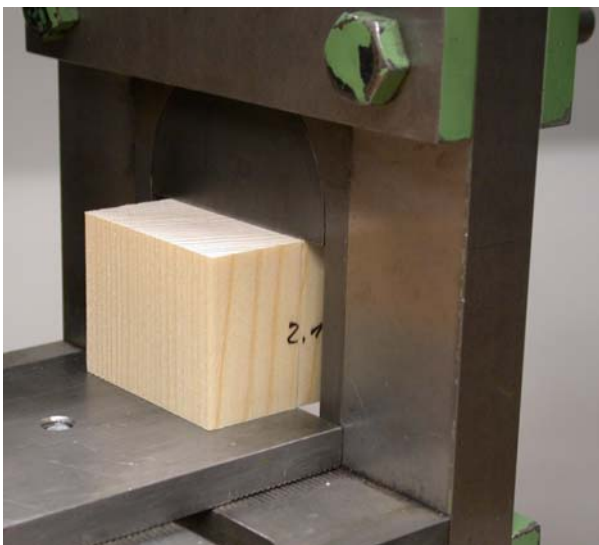


Bild 6.3: Prüfkörper aufgelegt auf glatter Stahlplatte

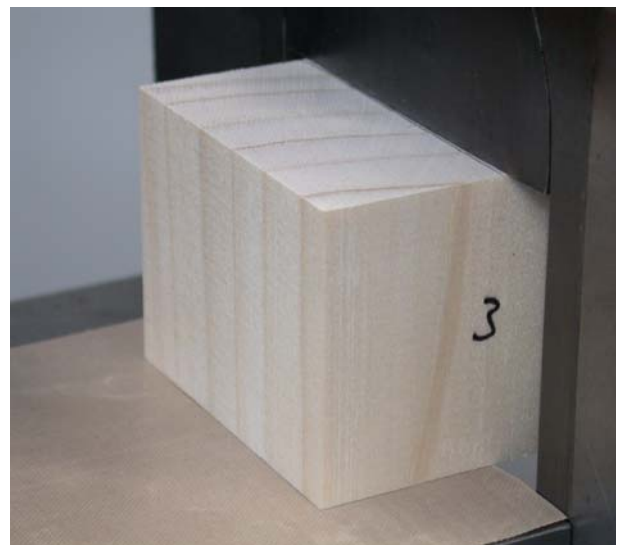


Bild 6.4: Teflonlage zwischen Prüfkörper und glatter Stahlplatte

Es wurden 3 unterschiedliche Auflagerreibungen untersucht:

- Auflage der Prüfkörper auf gekerbter Stahlplatte gemäss Bild 6.2. Dies entspricht dem Normalzustand der Prüfeinrichtung und auch den Verhältnissen, bei denen die in den Kapiteln 5 und 6 beschriebenen Versuche im Rahmen des Projekts durchgeführt wurden.
- Auflage der Prüfkörper auf einer glatten Stahlplatte gemäss Bild 6.3
- Teflonfolie zwischen Prüfkörper und glatter Stahlplatte gemäss Bild 6.4.

Die Versuche wurden an 2 Serien von Prüfkörpern unterschiedlicher Dichte bei einer Holzfeuchte von im Mittel 11.3% durchgeführt. Bei den Prüfkörpern handelte es sich um Fichtenholzquader (*Picea abies* Karst.) mit den Nennabmessungen 40 x 50 x 50 mm<sup>3</sup>. Entsprechend hatte die Scherfuge Abmessungen von 40 x 50 mm<sup>2</sup> und somit eine Fläche von 2000 mm<sup>2</sup>. Die Abmessungen und die Rohdichten der Prüfkörper beider Gruppen sind im Anhang 2 zusammengestellt.

Letztlich resultierten pro Rohdichtegruppe 3 Stichproben à je 15 Prüfkörper, welche mit den 3 unterschiedlichen Lagerungsbedingungen geprüft wurden. Die registrierten Scherfestigkeiten sind in der Tabelle 6-1 angegeben. In Bild 6.5 und Bild 6.6 sind die Versuchsdaten in einem Wahrscheinlichkeitsplot aufgetragen. (Erklärungen zu dieser Art der Darstellung siehe Abschnitt 6.2)

Prüfling	Scherfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]					
	Stichprobe mit höherer Rohdichte			Stichprobe mit geringerer Rohdichte		
	Auflage			Auflage		
	Stahl geriffelt	Stahl glatt	Teflon	Stahl geriffelt	Stahl glatt	Teflon
1	13.0	12.6	8.2	11.7	11.9	6.4
2	13.3	13.8	7.9	11.7	11.2	6.0
3	11.6	10.0	7.8	11.2	10.9	5.8
4	12.0	12.9	7.9	11.0	10.9	5.8
5	12.9	12.9	7.8	11.9	11.2	5.8
6	12.5	12.7	7.7	11.3	10.9	6.2
7	13.5	12.8	8.0	11.1	11.3	6.0
8	11.9	11.8	7.8	11.3	11.4	5.9
9	13.1	12.9	7.6	12.1	11.9	6.1
10	12.4	12.4	7.5	12.0	11.7	6.6
11	12.8	12.5	7.5	12.5	11.7	6.3
12	12.6	12.1	7.8	12.4	11.8	6.1
13	12.5	12.9	7.2	12.6	11.6	5.7
14	12.3	12.2	8.1	12.2	11.6	5.8
15	9.7	10.3	7.8	12.0	11.8	5.7
n	15	15	15	15	15	15
Mittelwert	12.4	12.3	7.8	11.8	11.4	6.0
Standardabw.	0.91	0.99	0.26	0.52	0.36	0.27
Variationsk.	7.3%	8.0%	3.4%	4.4%	3.2%	4.5%
Minimalwert	9.7	10.0	7.2	11.0	10.9	5.7
Maximalwert	13.5	13.8	8.2	12.6	11.9	6.6

Tabelle 6-1: Scherfestigkeit in Abhängigkeit der Reibung am Auflager für 2 Prüfkörpergruppen unterschiedlicher Rohdichte

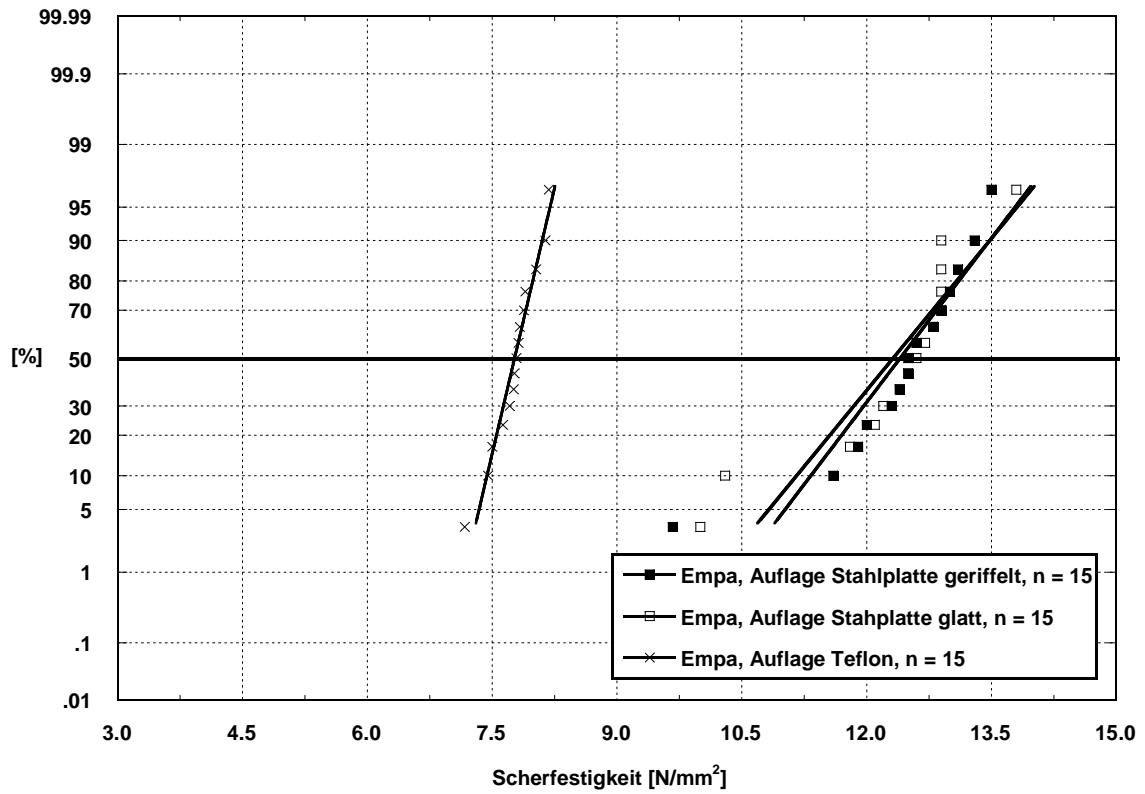


Bild 6.5: Scherfestigkeit in Abhängigkeit der Reibung am Auflager für die Prüfkörpergruppe höherer Rohdichte

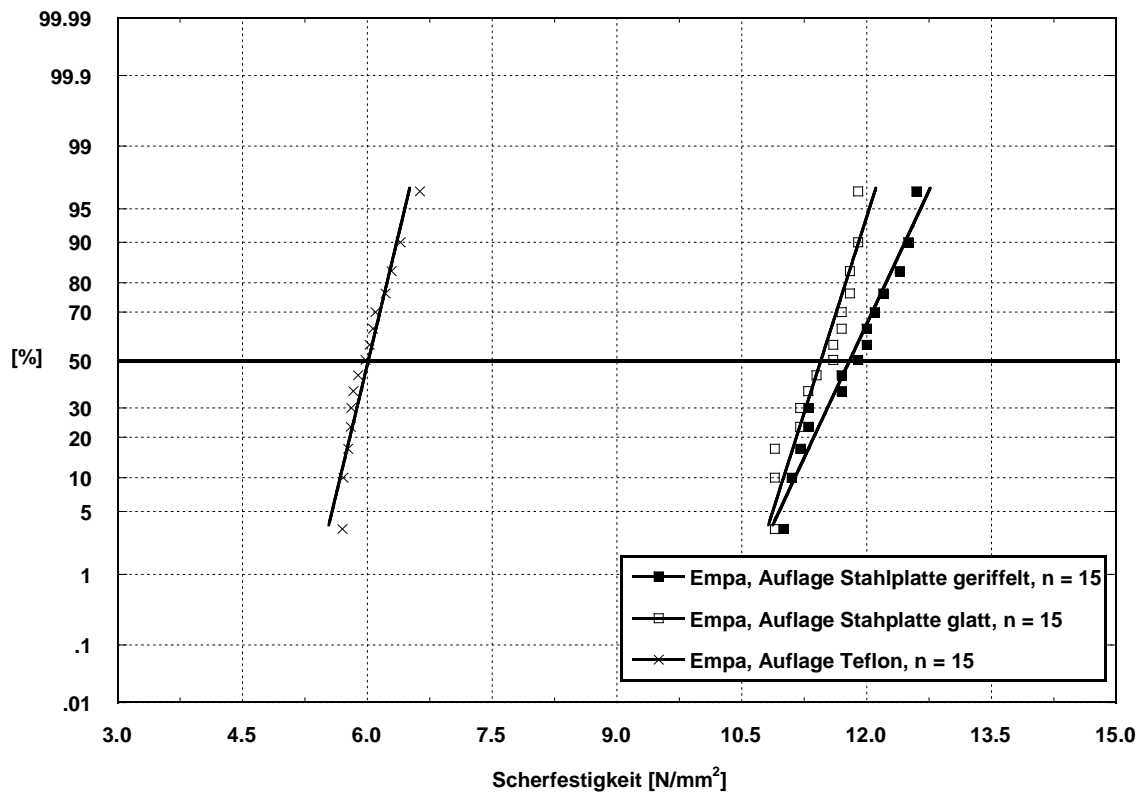


Bild 6.6: Scherfestigkeit in Abhängigkeit der Reibung am Auflager für die Prüfkörpergruppe geringerer Rohdichte

Sowohl bei der Prüfserie „Auflagerung auf glatter Stahlplatte“ als auch (und dies noch ausgeprägter) bei der Serie „Auflagerung auf glatter Stahlplatte mit Teflon-Zwischenlager“ war im Laufe des Versuchs mit zunehmender Kraft ein Abheben des Prüfkörpers zu beobachten. Dies ist in Bild 6.7 und in Bild 6.8 deutlich erkennbar. Ebenfalls deutlich erkennbar ist, dass die Grösse der Auflagefläche des Prüfkörpers in beiden Situationen unterschiedlich ist. Dieser Sachverhalt ist auch in Bild 6.9, Bild 6.10, Bild 6.11, und Bild 6.12 bei der herkömmlichen Prüfeinrichtung, d. h. bei Auflage des Prüfkörpers auf der geriffelten Stahlplatte erkennbar. Allerdings ist die Tendenz des Abhebens hier am geringsten und die Lasteinleitungsfläche verändert sich nur geringfügig.



Bild 6.7: Abheben eines Prüfkörpers der Versuchsserie „Auflage auf glatter Stahlplatte“

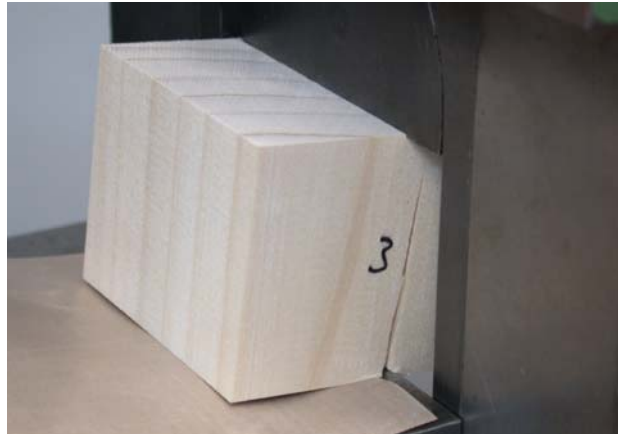


Bild 6.8: Abheben eines Prüfkörpers der Versuchsserie „Auflage auf glatter Stahlplatte mit Teflon-Zwischenlage“

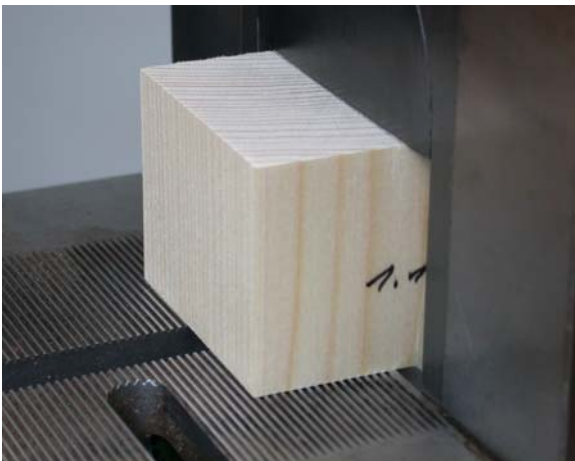


Bild 6.9: Auflage auf geriffelter Stahlplatte: Versuchsbeginn



Bild 6.10: Auflage auf geriffelter Stahlplatte: Bruchzustand



Bild 6.11: Detailaufnahme bei Versuchsbeginn



Bild 6.12: Abheben des Prüfkörpers während des Versuchs (linke Seite) und Eindrückungen (rechte Seite)

Aus den vergleichenden Versuchen zum Einfluss der Reibung bei der Auflagerung der Prüfkörper auf die gemessene Scherfestigkeit kann folgendes festgestellt werden:

- Die Scherfestigkeiten bei der Versuchsreihe mit Teflonzwischenlage sind für beide Dichtegruppen markant niedriger als diejenigen der Versuchsreihen „Auflage auf Stahl geriffelt“ und „Auflage auf Stahl glatt“. Ein statistischer Nachweis dieser Tatsache erübrigt sich.
- Führt man zum Mittelwertsvergleich der Versuchsreihen „Auflage auf Stahl geriffelt“ und „Auflage auf Stahl glatt“ einen  $t$ -Test durch, so stellt man für die Serien mit Prüfkörpern geringerer Dichte einen auf dem 5%-Niveau signifikanten Unterschied der Mittelwerte ( $P$ -Wert = 0.02) fest. Bei den Versuchsserien mit Prüfkörpern höherer Dichte hingegen ist der Unterschied der Mittelwerte nicht signifikant ( $P$ -Wert = 0.40).
- Mit Ausnahme der Versuchsreihen „Auflage auf Stahl geriffelt“ und „Auflage auf Stahl glatt“ bei den Prüfkörpern höherer Dichte, wurden ähnliche Variationskoeffizienten von im Mittel 3.9% festgestellt. Bei den Ausnahmereihen betragen die Variationskoeffizienten 7.3% respektive 8%.
- Bei sämtlichen Versuchen ist im Laufe des Versuches ein Abheben des Prüfkörperendes feststellbar. Deutlich erkennbar ist dieses Abheben bei den Versuchsreihen „Auflage auf Stahlplatte glatt“ und „Auflage auf Stahlplatte glatt mit Teflon-Zwischenlage“. Aber auch auf der geriffelten Stahlplatte geprüfte Proben heben mit zunehmender Scherkraft auf Grund der Deformation des Auflagerbereichs bei der Einleitung der Scherkraft ab. Das Abheben bewirkt eine während des Versuchs laufend kleiner werdende Auflagefläche des Prüfkörpers. Dadurch steigt die Längsdruckspannung im Prüfkörper überproportional an, was seinerseits auf Grund von Längsdruckstauchungen den zuvor beschriebenen Effekt des Abhebens vergrößert. Letztlich äussert sich die im Lauf des Versuchs geringer werdende Auflagefläche in einer fortwährenden Änderung der Neigung der Resultierenden der während des Versuchs wirkenden Kräfte (siehe Bild 3.10). Bei der Auflage des Prüfkörpers auf die geriffelte Stahlplatte ist der Effekt des Abhebens, wie bereits erwähnt, zwar feststellbar, jedoch gering. Da die Längsdruckfestigkeit abhängig ist von der Rohdichte, zeigt sich eine Verkleinerung der Auflagefläche während des Versuchs v. a. bei der Versuchsreihe mit Prüfkörpern geringerer Dichte.

Dies lässt die folgenden Schlussfolgerungen zu:

- Die Kräfteverhältnisse in der Klebfuge sind abhängig von der konstruktiven Ausbildung der Scherprüfeinrichtung im Allgemeinen und von der Reibung am Auflagerort der Prüfkörper im Besonderen.
- Während des Versuchs verringert sich (auch bei Auflage auf geriffeltem Stahl) die Auflagefläche der Prüfkörper laufend, was zu einer Änderung der Neigung der Resultierenden der wirkenden Kräfte führt. Die Neigung der Kräfte resultierenden ist dabei abhängig von der Dichte des Prüfkörpers (Längsdruckfestigkeit!) und vom Kraftniveau. Unterschiedliche Neigungen der Kräfte resultierenden bedeuten auch unterschiedliche Kräftekomponenten was die Scherung und die Kräfte senkrecht dazu betreffen.

Die aus der beschriebenen Versuchsserie gewonnen Erkenntnisse werden nachfolgend an Hand von theoretischen Überlegungen weiter vertieft.

## 6.2 Darstellung der Resultate

### 6.2.1 Klebstoff

Es werden Angaben zum verwendeten Klebstofftyp gemacht.

### 6.2.2 Scherfestigkeit: Vergleich der Einzelwerte

Die einzelnen Versuchswerte der Prüfkörper-Tripel (siehe 5.1.3) werden in einer Ganglinie in Funktion des jeweiligen BSH-Trägers und der Klebfuge dargestellt. Anhand dieser Darstellung kann auf einfache Weise geprüft werden, ob die Werte über oder unter dem von der EN 386:2001 [1] geforderten Minimalwert der Scherfestigkeit von  $f_{v,a} = 6 \text{ N/mm}^2$  liegen.

### 6.2.3 Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Die Darstellung des Holzbruchanteils in Funktion der Scherfestigkeit ermöglicht die Kontrolle der Anforderungen der Norm EN 386:2001 [1], welche im Detail im Abschnitt 3.3.1.1 erklärt sind. In den Graphiken sind sämtliche Einzelwerte zusammen mit einer Linie, welche die EN386-Anforderungen an diese Einzelwert beschreibt (siehe Bild 3.5), dargestellt. Um den Normanforderungen zu genügen, müssen die einzelnen Versuchswerte oberhalb der dick ausgezogenen Linie liegen, welche den Mindestfaserbruchanteil in Funktion der Scherfestigkeit darstellt.

### 6.2.4 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz

Die Darstellung der Versuche in einem Wahrscheinlichkeitsnetz lässt auf einfache Weise eine erste statistische Auswertung und einen Vergleich der Versuchsreihen zu [2]. Die Abszisse (x-Achse) im gewählten Wahrscheinlichkeitsnetz entspricht der Werteachse (Scherfestigkeit in  $\text{N/mm}^2$ ). Die Ordinate (y-Achse) gehorcht einer Normalverteilung. Liegen die im Wahrscheinlichkeitsnetz eingetragenen Datenreihen auf einer Geraden, so sind sie normal verteilt. Die Steigung der Ausgleichsgeraden visualisiert die Streuung der Daten, der Schnittpunkt mit der Horizontalen bei einer Summenhäufigkeit von 50% den Mittelwert. Je steiler die Ausgleichsgeraden verlaufen, desto geringer ist die Streuung der Daten.

### 6.2.5 Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

Tabelliert sind für jeden Datensatz Stichprobenumfang, Maximal-, Minimal- und Mittelwert sowie die Standardabweichung und der Variationskoeffizient. Letzterer errechnet sich durch Division der Standardabweichung durch den Mittelwert. Angegeben sind ebenfalls die Anzahl der Werte, welche den Anforderungen der EM 386:2001 nicht genügen, sowie die Anzahl der Prüfkörper, welcher mit der neuen Prüfeinrichtung mangels ausreichenden Hubs nicht zu Bruch gebracht werden konnten.

### 6.2.6 Wertetabellen

Es sind sämtliche Versuchswerte tabelliert, zusammen mit wichtigen Feststellungen zum Versuchsablauf und zu den Prüfkörpern, z. B. Äste, Risse etc.

## 6.3 Einsatzbereich der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF)

Angaben bzw. Messwerte zur Holzfeuchte (HF) der Scherprüfkörper wurden nicht immer gemacht. Die HF der Scherprüfkörper kann jedoch auch aus dem geplanten Einsatzbereich der BSH-Träger, d. h. aus der Feuchteklasse abgeleitet werden:

Gemäss Norm SIA 265:2003 [3] entspricht dabei die Feuchteklasse 1 einem Umgebungsklima, welches im Holz zu einer Ausgleichsfeuchte von  $w \leq 12\%$ . In der Feuchteklasse 2 stellen sich Holzfeuchten zwischen 12% und 20% ein und in Feuchteklasse 3 beträgt die HF mehr als 20%.

Die Prüfkörper, welche an der Empa geprüft wurden, lagerten vor den Versuchen, in Plastikfolie verpackt, im Klimaraum bei einer Temperatur von  $20^\circ$  und einer relativen Luftfeuchte von 65%. Nach den Scherversuchen wurde an insgesamt 36 Prüfkörpern pro Versuchsreihe die Holzfeuchte mittels einer Darrprobe gemäss ISO-Norm 3130 [4] bestimmt (Werte siehe Anhang 1). Die mittlere Holzfeuchte bei der Prüfreihe „Empa – Herkömmliches Prüfgerät“ betrug 11.5% (Schwankungsbereich 9.8 – 12.5%) und bei der Prüfreihe „Empa – Neues Prüfgerät“ 12.3% (Schwankungsbereich 11.3 – 13.3%). Der Unterschied der Holzfeuchte-Mittelwerte der beiden Prüfreiheiten war also geringer als 1%. Er rührt daher, dass die Prüfkörper der beiden Serien nicht gleich lange im Klimaraum lagerten. Die Prüfkörper der ersten Serie waren demzufolge nicht vollständig auskonditioniert. Der Einfluss dieses HF-Unterschieds auf die Scherfestigkeiten ist allerdings vernachlässigbar gering. Die einzelnen Prüfwerte sind im Anhang 1 tabelliert.

## 6.4 Versuchsergebnisse Hersteller A

### 6.4.1 Klebstoff

BSH 1 und 2: Resorcin-Formaldehydharz (RF), BSH 3 und 4: Harnstoff-Formaldehydharz (UF)

### 6.4.2 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse – Vergleich der Einzelwerte

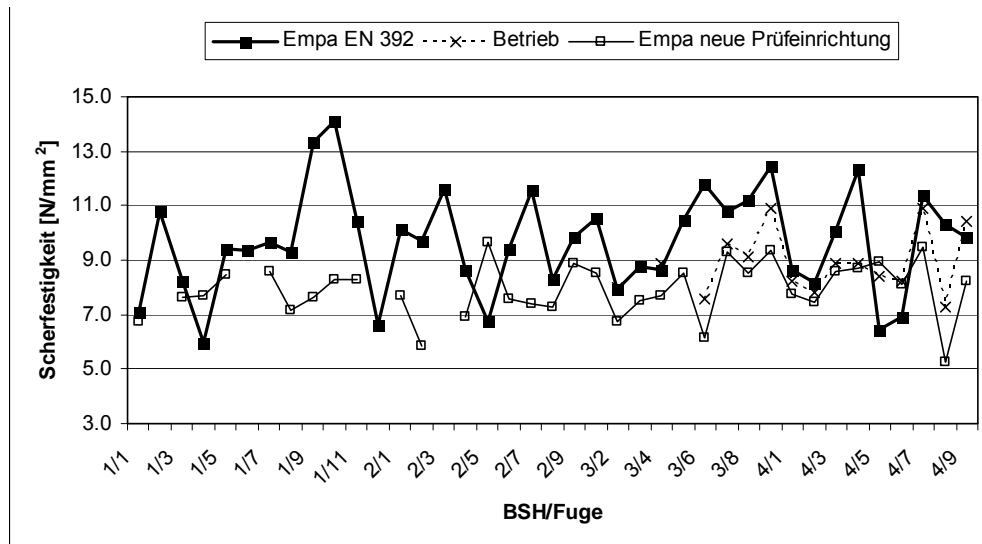


Bild 6.13: Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse – Vergleich der Einzelwerte

### 6.4.3 Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

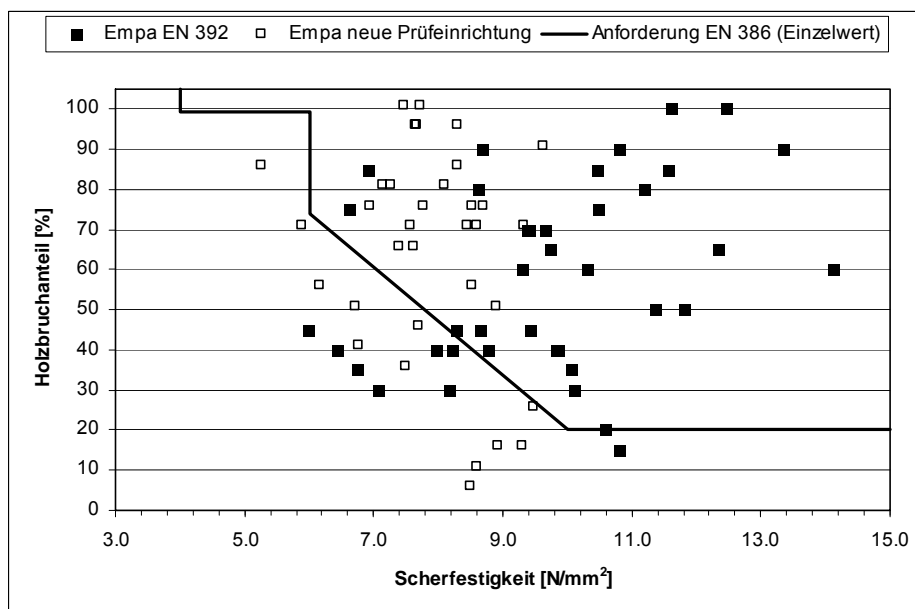


Bild 6.14: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Bemerkung: Angaben zum Holzbruchanteil wurden durch den Betrieb keine gemacht, da die gemessenen Scherfestigkeiten in der Regel  $> 6 \text{ N/mm}^2$  waren.

### 6.4.4 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz

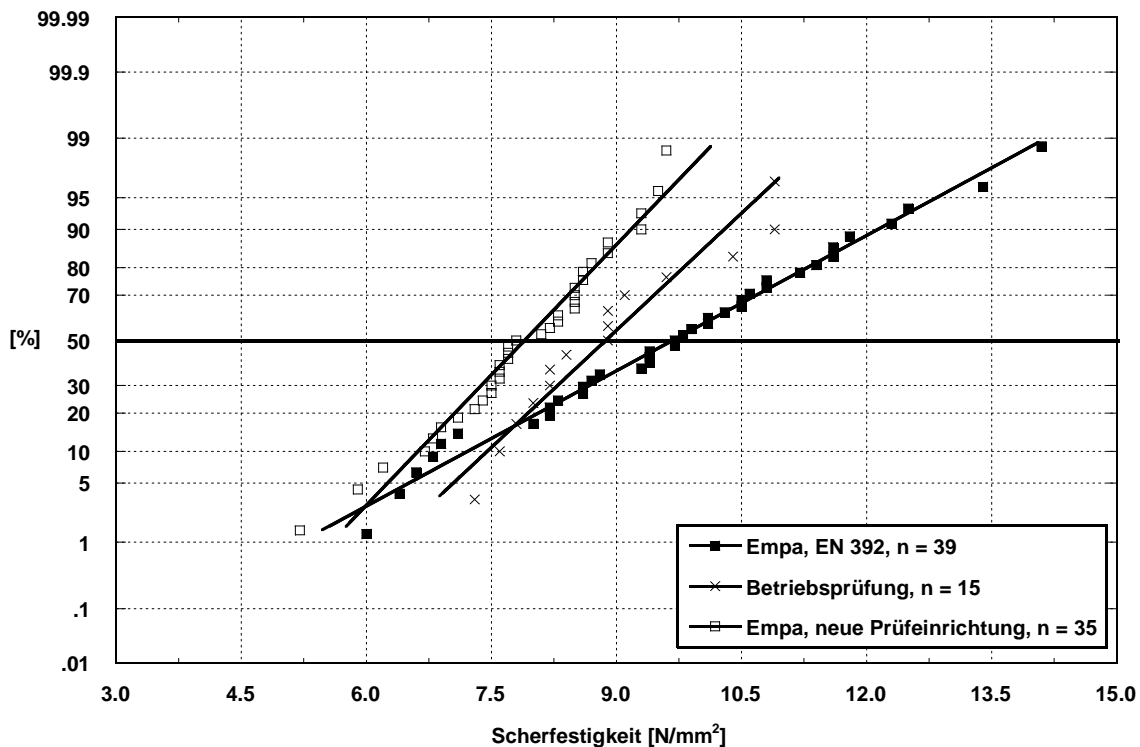


Bild 6.15: Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz (Ordinatenachse mit Gauss-Verteilung)

### 6.4.5 Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

Tabelle 6-2: Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

	Einheit	Empa, EN 392	Betrieb	Empa, neue Prüfeinrichtung
Scherfläche L x B	[mm]	50 x 50	45 x 50	50 x 50
Anzahl Werte	-	39	15	35
Maximalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	14.1	10.9	9.6
Minimalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	6.0	7.3	5.3
<b>Mittelwert</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>9.7</b>	<b>8.9</b>	<b>7.9</b>
Standardabweichung	[N/mm <sup>2</sup> ]	1.92	1.14	1.01
Variationskoeffizient	[%]	19.9	12.9	12.8
Anzahl ungenügender Werte nach EN 386	-	8	k. A. zu Holzbruchanteil	12
Anzahl Werte ohne Bruch (zu grosse Verformung)	-	-	-	4



### 6.4.6 Einzelwerte und statistische Auswertung

BSH/Fuge	Empa EN 392			Betrieb (45 x 50)mm		Empa neue Prüfeinrichtung		
	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Bem.	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Bemerkung
1/1	<b>7.07</b>	<b>30</b>				<b>6.71</b>	<b>50</b>	
1/2	10.81	90				/ 6.9		max. Dehnung 4.0 mm
1/3	<b>8.21</b>	<b>40</b>				7.63	65	
1/4	<b>5.98</b>	<b>45</b>	Ast			7.71	100	
1/5	9.42	45				8.45	70	
1/6	9.37	70				/ 8.1		max. Dehnung 4.0 mm
1/7	9.66	70				8.61	70	Ast
1/8	9.30	60				7.14	80	Ast
1/9	13.35	90				7.64	95	
1/10	14.11	60				8.31	85	
1/11	10.45	85				8.30	95	
1/12	6.62	75				/ 7.7		max. Dehnung 4.5 mm
2/1	10.10	30				7.67	95	
2/2	9.72	65				<b>5.88</b>	<b>70</b>	
2/3	11.61	100				/ 7.6		max. Dehnung 4.5 mm
2/4	8.62	80				6.95	75	Ast
2/5	<b>6.75</b>	<b>35</b>	Ast			9.64	90	
2/6	9.39	70				7.57	70	
2/7	11.57	85	Ast			7.38	65	
2/8	8.28	45				7.26	80	
2/9	9.86	40				8.89	50	
3/1	10.57	20				<b>8.50</b>	<b>5</b>	Ast
3/2	<b>7.96</b>	<b>40</b>	Riss	8.00		<b>6.75</b>	<b>40</b>	Ast
3/3	8.78	40				<b>7.49</b>	<b>35</b>	
3/4	8.67	90		8.89		<b>7.69</b>	<b>45</b>	
3/5	10.47	75	Ast			8.52	75	
3/6	11.81	50	Ast	7.56		<b>6.17</b>	<b>55</b>	Ast und Riss
3/7	<b>10.80</b>	<b>15</b>	Ast	9.56		<b>9.31</b>	<b>15</b>	
3/8	11.19	80		9.11		8.53	55	Ast
3/9	12.47	100		10.89		9.33	70	
4/1	8.64	45		8.22		7.77	75	
4/2	<b>8.17</b>	<b>30</b>		7.78		7.46	100	Ast
4/3	10.05	35		8.89		<b>8.61</b>	<b>10</b>	
4/4	12.33	65		8.89		8.70	75	Ast
4/5	<b>6.43</b>	<b>40</b>	Ast	8.44		<b>8.93</b>	<b>15</b>	
4/6	6.91	85		8.22		8.10	80	Ast
4/7	11.35	50		10.89		9.48	25	
4/8	10.31	60		7.33		<b>5.25</b>	<b>85</b>	
4/9	9.83	40		10.44		<b>8.20</b>	<b>15</b>	Ast
n	39	39		15		35	35	
n ungenügend	8			k.A. zu Holzbruchanteil		12		
n ohne Bruch	-			-		4		
<b>Mittelwert</b>	<b>9.7</b>	<b>58.2</b>		<b>8.9</b>		<b>7.9</b>	<b>62.3</b>	
Standardabw.	1.92	23.1		1.14		1.01	27.6	
Variationsk. [%]	19.9	39.7		12.9		12.8	44.2	
Minimalwert	5.98	15		7.33		5.25	5	
Maximalwert	14.11	100		10.89		9.64	100	

### 6.4.7 Einsatzbereich der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF)

BSH 1: GL24h für Feuchtekategorie 3; keine Messwerte vorhanden

BSH 2: GL24h für Feuchtekategorie 3; keine Messwerte vorhanden

BSH 3: GL24h für Feuchtekategorie 1; HF-Mittelwert = 10.3%, HF-Max = 11.8%, HF-Min = 9.1%

BSH 4: GL24h für Feuchtekategorie 1; HF-Mittelwert = 8.7%, HF-Max = 9.4%, HF-Min = 8.2%

## 6.5 Versuchsresultate Hersteller B

### 6.5.1 Klebstoff

Polyurethan (PUR)

### 6.5.2 Scherfestigkeit: Versuchsresultate – Vergleich der Einzelwerte

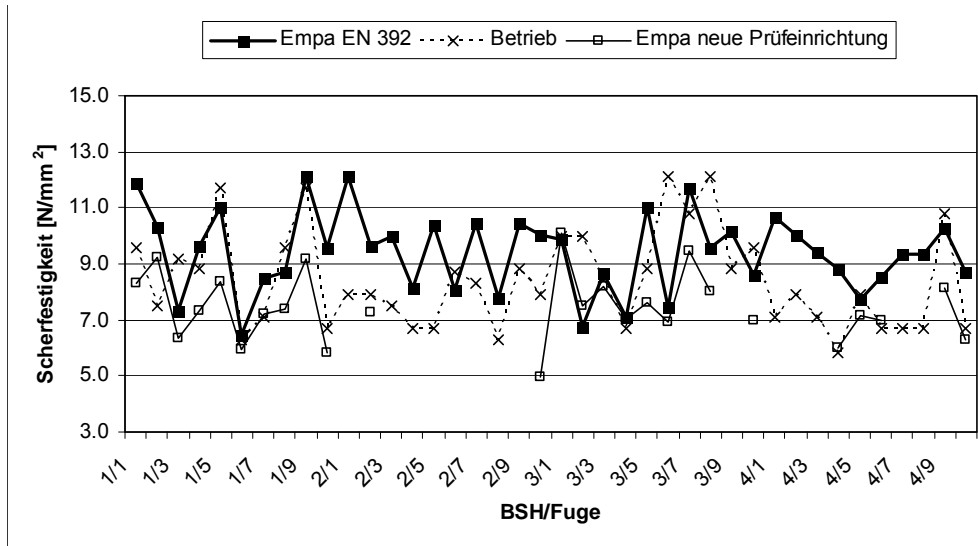


Bild 6.16: Scherfestigkeit: Versuchsresultate – Vergleich der Einzelwerte

### 6.5.3 Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

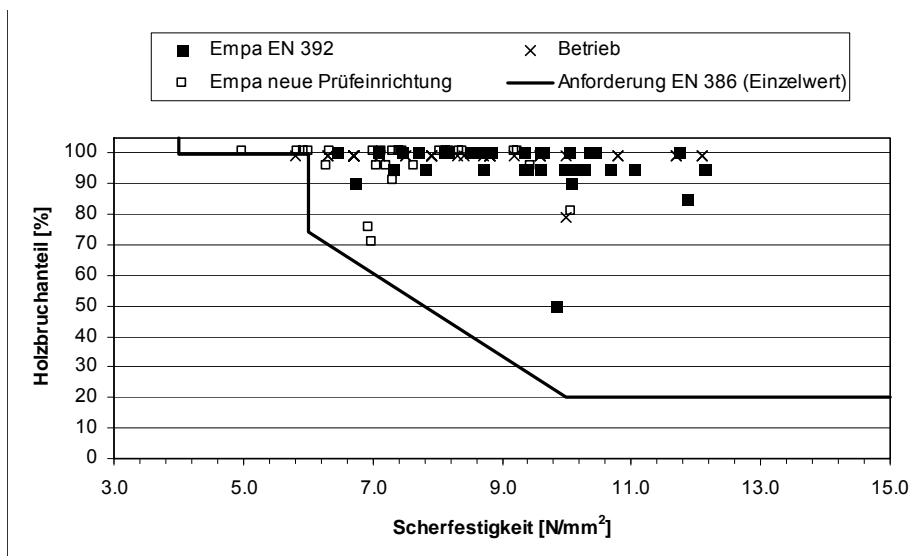


Bild 6.17: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

### 6.5.4 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz

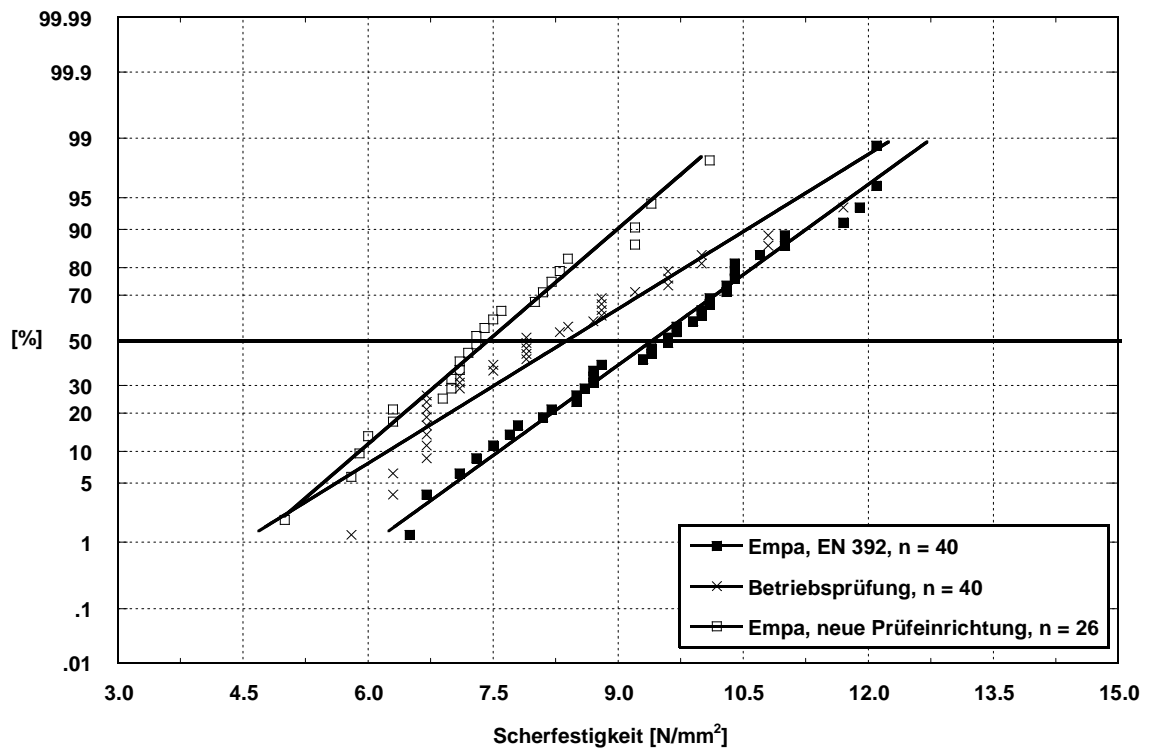


Bild 6.18: Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse in Wahrscheinlichkeitsnetz (Ordinatenachse mit Gauss-Verteilung)

### 6.5.5 Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

Tabelle 6-3: Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

	Einheit	Empa, EN 392	Betrieb	Empa, neue Prüfeinrichtung
Scherfläche L x B	[mm]	50 x 50	45 x 50	50 x 50
Anzahl Werte	-	40	40	26
Maximalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	12.1	12.1	10.1
Minimalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	6.5	5.8	5.0
<b>Mittelwert</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>9.4</b>	<b>8.4</b>	<b>7.5</b>
Standardabweichung	[N/mm <sup>2</sup> ]	1.45	1.74	1.21
Variationskoeffizient	[%]	15.4	20.7	16.3
Anzahl ungenügender Werte nach EN 386	-	0	0	0
Anzahl Werte ohne Bruch (zu grosse Verformung)	-	-	-	14

### 6.5.6 Einzelwerte und statistische Auswertung

BSH/Fuge	Empa EN 392			Betrieb (45 x 50)mm		Empa neue Prüfeinrichtung		
	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Bem.	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Bemerkung
1/1	11.88	85	Ast	9.6	100	8.33	100	
1/2	10.34	100		7.5	100	9.24	100	Ast
1/3	7.32	95		9.2	100	6.33	100	
1/4	9.65	100	Riss	8.8	100	7.32	100	Ast + Riss
1/5	11.04	95		11.7	100	8.39	100	
1/6	6.46	100	Ast	6.3	100	5.92	100	
1/7	8.50	100	Ast	7.1	100	7.21	95	
1/8	8.73	100		9.6	100	7.41	100	Ast
1/9	12.14	95		11.7	100	9.18	100	
1/10	9.58	100		6.7	100	5.83	100	Bruch entlang Jahrringgrenze
2/1	12.11	95	Ast	7.9	100	/ 7.5		max. Dehnung 4.5 mm
2/2	9.65	100		7.9	100	7.30	90	Ast + Harz
2/3	9.96	95		7.5	100	/ 6.3		max. Dehnung 4.5 mm
2/4	8.15	100		6.7	100	/ 6.7		max. Dehnung 4.5 mm
2/5	10.37	100		6.7	100	/ 6.4		max. Dehnung 4.5 mm
2/6	8.10	100		8.7	100	/ 6.1		max. Dehnung 4.5 mm
2/7	10.42	100		8.3	100	/ 5.8		max. Dehnung 4.5 mm
2/8	7.80	95		6.3	100	/ 5.9		max. Dehnung 4.5 mm
2/9	10.43	100		8.8	100	/ 6.5		max. Dehnung 4.5 mm
2/10	10.06	90	Keilzinken	7.9	100	4.98	100	Riss
3/1	9.85	50		10.0	80	10.07	80	Ast
3/2	6.74	90		10.0	100	7.47	100	
3/3	8.67	100	Ast	8.4	100	8.18	100	Ast
3/4	7.08	100		6.7	100	7.05	95	Ast
3/5	11.03	95		8.8	100	7.64	95	Ast
3/6	7.46	100	Riss	12.1	100	6.94	75	Ast und Riss
3/7	11.74	100		10.8	100	9.44	95	
3/8	9.58	95	Riss	12.1	100	8.02	100	Riss
3/9	10.14	95		8.8	100	/ 10.3		max. Dehnung 4.5 mm
3/10	8.58	100		9.6	100	7.01	100	
4/1	10.66	95		7.1	100	/ 7.2		max. Dehnung 4.5 mm
4/2	10.04	100		7.9	100	/ 6.9		max. Dehnung 4.5 mm
4/3	9.38	95		7.1	100	/ 7.0		max. Dehnung 4.5 mm
4/4	8.83	100		5.8	100	6.03	100	
4/5	7.72	100		7.9	100	7.14	100	
4/6	8.52	100		6.7	100	6.99	70	Ast
4/7	9.35	100		6.7	100	/6.4		max. Dehnung 4.5 mm
4/8	9.34	95		6.7	100	/7.0		max. Dehnung 4.5 mm
4/9	10.26	95		10.8	100	8.14	100	Ast
4/10	8.70	95	Ast + Riss	6.7	100	6.29	95	Ast und Riss
n	40	40		40	40	26	26	
n ungenügend	0			0		0		
n ohne Bruch	-			-		14		
Mittelwert	9.4	96.1		8.4	99.5	7.5	95.8	
Standardabw.	1.45	8.3		1.74	3.2	1.21	8.2	
Variationsk. [%]	15.4	8.6		20.7	3.2	16.3	8.6	
Minimalwert	6.46	50		5.8	80	4.98	70	
Maximalwert	12.14	100		12.1	100	10.07	100	

### 6.5.7 Einsatzbereich der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF)

alle Träger: GL24h

keine Angaben zum Einsatzbereich und zur Holzfeuchte der Scherprüfkörper

## 6.6 Versuchsresultate Hersteller C

### 6.6.1 Klebstoff

Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz (MUF)

### 6.6.2 Scherfestigkeit: Versuchsresultate – Vergleich der Einzelwerte

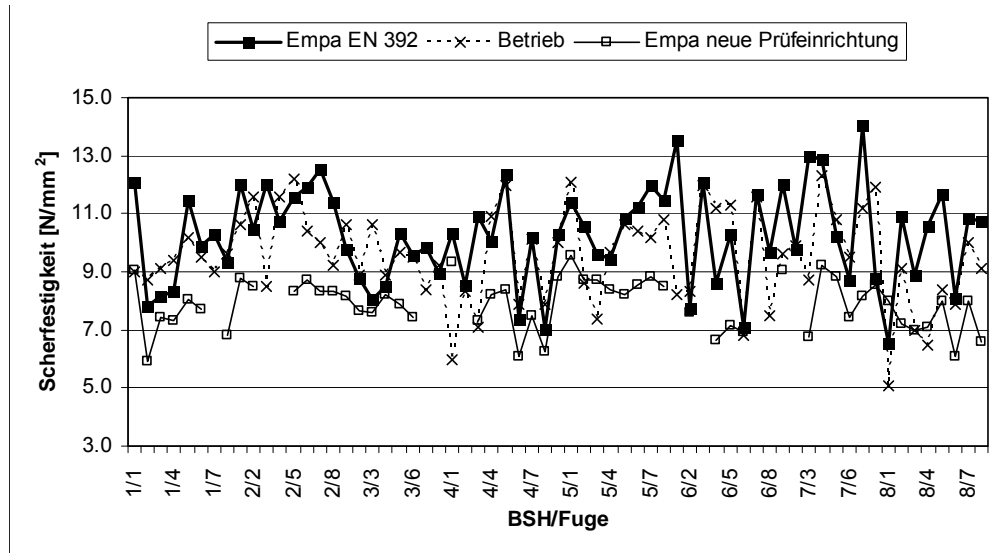


Bild 6.19: Scherfestigkeit: Versuchsresultate – Vergleich der Einzelwerte

### 6.6.3 Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

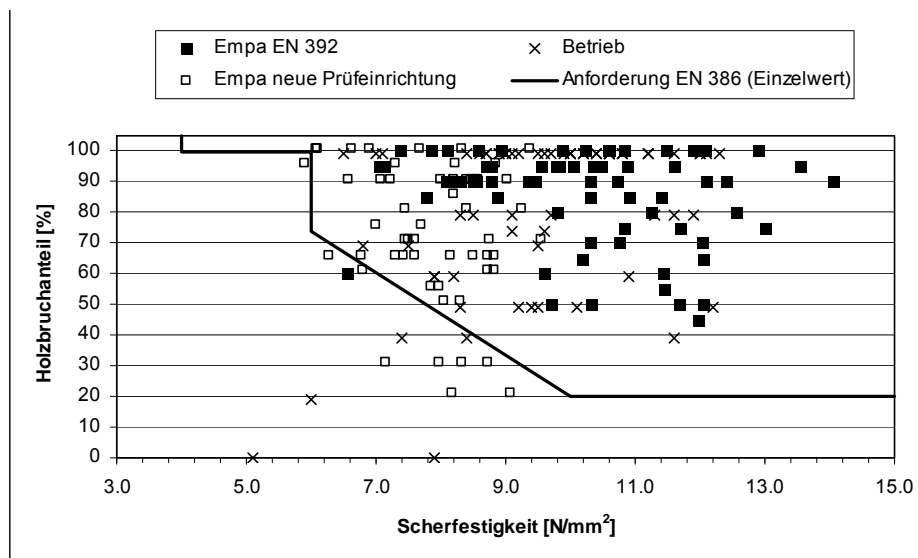


Bild 6.20: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

### 6.6.4 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz

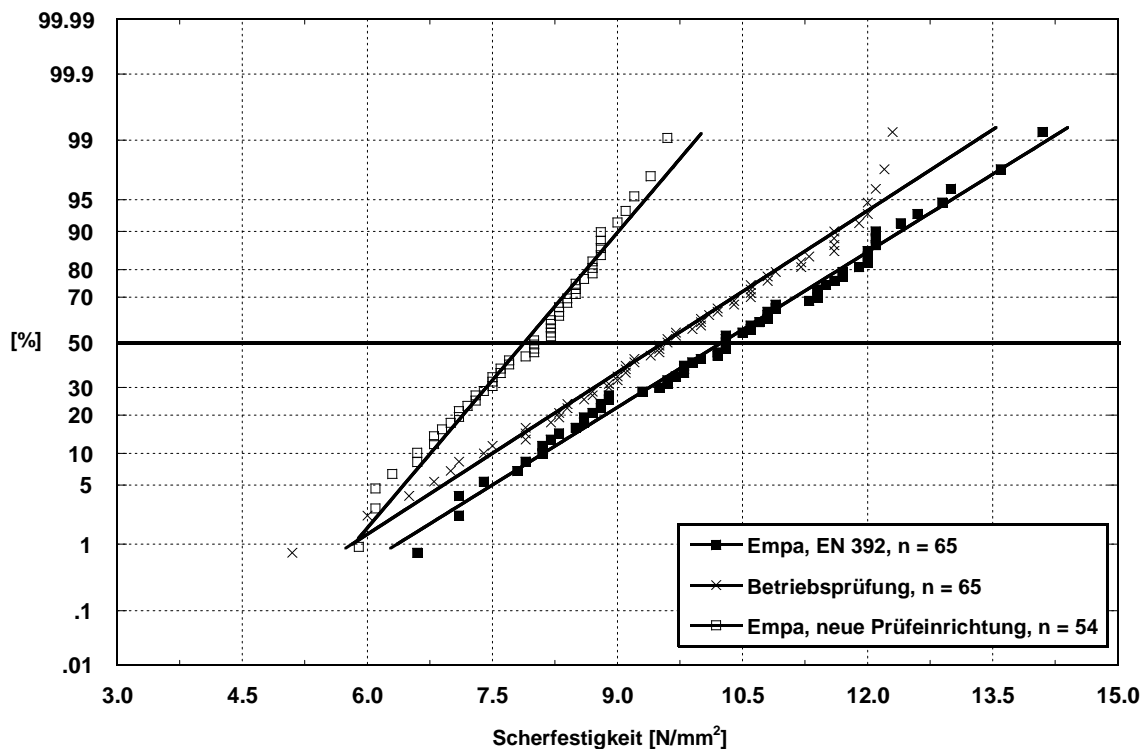


Bild 6.21: Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz (Ordinatenachse mit Gauss-Verteilung)

### 6.6.5 Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

Tabelle 6-4: Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

	Einheit	Empa, EN 392	Betrieb	Empa, neue Prüfeinrichtung
Scherfläche L x B	[mm]	50 x 50	50 x 50	50 x 50
Anzahl Werte	-	65	65	54
Maximalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	14.1	12.3	9.6
Minimalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	6.6	5.1	5.9
<b>Mittelwert</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>10.2</b>	<b>9.5</b>	<b>7.9</b>
Standardabweichung	[N/mm <sup>2</sup> ]	1.68	1.61	0.89
Variationskoeffizient	[%]	16.4	16.9	11.3
Anzahl ungenügender Werte nach EN 386	-	1	5	9
Anzahl Werte ohne Bruch (zu grosse Verformung)	-	-	-	11

### 6.6.6 Einsatzbereich der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF)

alle Träger: GL24h

keine Angaben zum Einsatzbereich und zur Holzfeuchte der Scherprüfkörper

### 6.6.7 Einzelwerte und statistische Auswertung

BSH/Fuge	Empa EN 392			Betrieb		Empa neue Prüfeinrichtung		
	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Bem.	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Bemerkung
1/1	12.08	100		8.96	100	9.03	90	Ast
1/2	7.85	100	Ast	8.72	100	<b>5.89</b>	<b>95</b>	
1/3	8.15	90		9.12	100	7.41	65	
1/4	8.30	90	Ast	9.36	50	7.30	95	
1/5	11.44	55		10.16	100	8.04	50	
1/6	9.88	100		9.52	50	7.70	75	
1/7	10.30	70		8.96	100	/ 7.5		max. Dehnung 4.5 mm
1/8	9.34	90		9.60	75	<b>6.80</b>	<b>60</b>	Ast
2/1	12.04	50		10.56	80	8.75	70	
2/2	10.48	95		11.64	80	8.47	90	Ast
2/3	12.05	65		8.48	80	/ 9.4		max. Dehnung 4.5 mm
2/4	10.75	70		11.60	40	/ 7.9		max. Dehnung 4.5 mm
2/5	11.60	95		12.24	50	8.31	50	
2/6	11.91	100		10.40	100	8.71	65	
2/7	12.56	80		10.00	100	<b>8.33</b>	<b>30</b>	
2/8	11.40	85		9.24	100	8.32	100	
3/1	9.81	80		10.60	100	<b>8.17</b>	<b>20</b>	
3/2	8.77	90	Ast	8.88	100	7.67	100	
3/3	8.07	90		10.64	100	7.61	65	
3/4	8.49	90		8.88	100	8.21	90	
3/5	10.33	50		9.72	100	7.86	55	
3/6	9.55	95		9.48	100	7.45	80	Ast
3/7	9.82	95		8.40	100	/ 7.6		max. Dehnung 4.5 mm
3/8	8.93	100		9.16	50	/ 6.9		max. Dehnung 4.5 mm
4/1	10.34	95	Ast + Riss	<b>5.96</b>	<b>20</b>	9.36	100	Ast
4/2	8.56	90	Ast	8.28	80	/ 8.1		max. Dehnung 4.5 mm
4/3	10.88	95		7.12	100	7.30	65	
4/4	10.04	95		10.92	60	8.21	85	Ast
4/5	12.39	90		12.00	100	8.39	80	red. Fläche (Ausfallast)
4/6	7.38	100		<b>7.92</b>	<b>0</b>	6.10	100	Ast
4/7	10.17	65		10.12	50	7.49	70	
4/8	7.05	95	Ast	7.88	60	<b>6.28</b>	<b>65</b>	
4/9	10.29	90		10.04	100	8.82	60	
5/1	11.42	60		12.08	100	9.56	70	
5/2	10.59	100		8.64	100	8.71	60	Ast
5/3	9.61	60		<b>7.36</b>	<b>40</b>	<b>8.72</b>	<b>30</b>	
5/4	9.46	90		9.68	80	8.40	90	
5/5	10.83	100		10.56	100	8.23	95	
5/6	11.25	80		10.40	100	8.57	90	
5/7	11.97	45		10.24	100	8.82	65	
5/8	11.48	100	Ast	10.80	100	8.50	65	
6/1	13.55	95		8.24	60	/ 8.5		max. Dehnung 4.5 mm
6/2	7.78	85	Ast	8.28	50	7.61	70	Ast
6/3	12.09	90		12.00	100	/ 8.6		max. Dehnung 4.5 mm
6/4	8.58	100	Ast	11.20	100	6.63	100	
6/5	10.31	85		11.28	80	<b>7.14</b>	<b>30</b>	
6/6	7.12	95		6.80	70	6.91	100	
6/7	11.71	75		11.60	100	/ 7.9		max. Dehnung 4.5 mm
6/8	9.70	50		7.48	70	/ 7.1		max. Dehnung 4.5 mm
7/1	12.03	70		9.60	100	<b>9.08</b>	<b>20</b>	Ast
7/2	9.77	95		9.92	100	/ 7.6		max. Dehnung 4.5 mm
7/3	13.00	75		8.72	100	6.77	65	
7/4	12.89	100	Ast	12.32	100	9.25	80	
7/5	10.23	100	Ast	10.80	100	8.85	95	
7/6	8.70	95		9.48	70	7.45	70	Ast
7/7	14.06	90		11.20	100	8.15	65	
7/8	8.77	95		11.92	80	8.54	90	Ast
8/1	<b>6.55</b>	<b>60</b>	Ast	<b>5.12</b>	<b>0</b>	7.98	55	
8/2	10.90	85		9.12	80	7.23	90	
8/3	8.87	85		7.04	100	7.01	75	
8/4	10.58	100		6.48	100	7.07	90	
8/5	11.68	50		<b>8.40</b>	<b>40</b>	8.00	90	
8/6	8.10	100		7.88	60	6.06	100	Ast
8/7	10.83	75		10.00	100	<b>7.98</b>	<b>30</b>	
8/8	10.73	90		9.08	75	6.58	90	Ast
n	65	65		65	65	54	54	
n ungenügend	1			5		9		
n ohne Bruch	-			-		11		
Mittelwert	<b>10.2</b>	<b>84.8</b>		<b>9.5</b>	<b>81.2</b>	<b>7.9</b>	<b>73.0</b>	
Standardabw.	1.68	15.8		1.61	25.9	0.89	22.2	
Variationsk. [%]	16.4	18.6		16.9	31.9	11.3	30.4	
Minimalwert	6.55	45		5.12	0	5.89	20	
Maximalwert	14.06	100		12.32	100	9.56	100	

## 6.7 Versuchsresultate Hersteller D

### 6.7.1 Klebstoff

Polyurethan (PUR)

### 6.7.2 Scherfestigkeit: Versuchsresultate – Vergleich der Einzelwerte

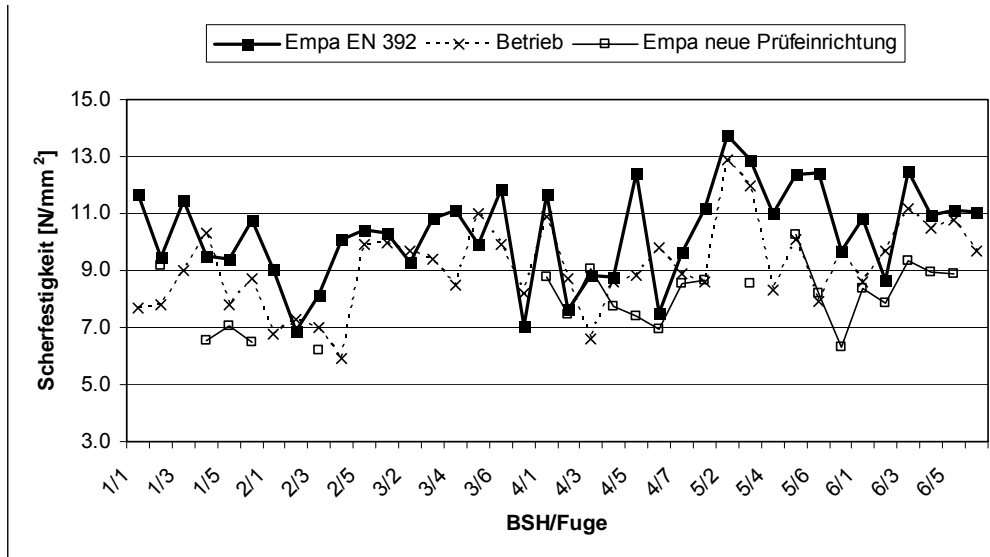


Bild 6.22: Scherfestigkeit: Versuchsresultate – Vergleich der Einzelwerte

### 6.7.3 Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

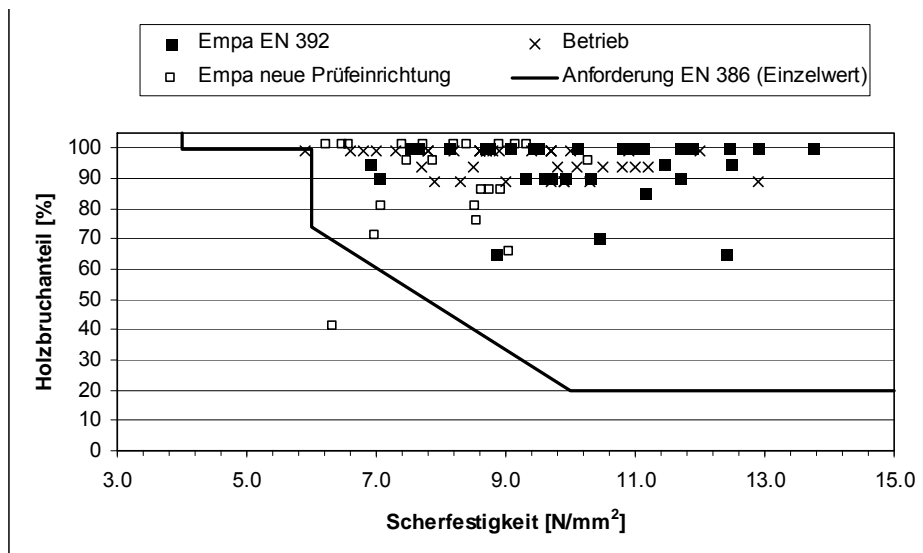


Bild 6.23: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils



### 6.7.4 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz

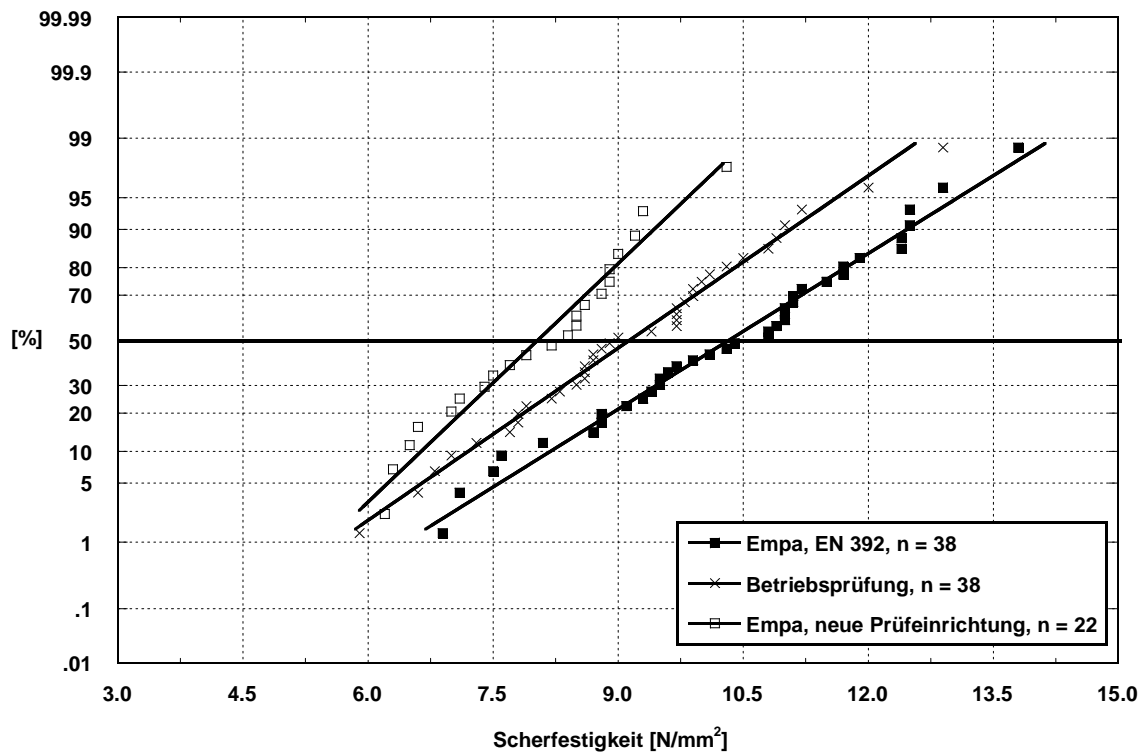


Bild 6.24: Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse in Wahrscheinlichkeitsnetz (Ordinatenachse mit Gauss-Verteilung)

### 6.7.5 Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

Tabelle 6-5: Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

	Einheit	Empa, EN 392	Betrieb	Empa, neue Prüfeinrichtung
Scherfläche L x B	[mm]	50 x 50	50 x 50	50 x 50
Anzahl Werte	-	38	38	22
Maximalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	13.8	12.9	10.3
Minimalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	6.9	5.9	6.2
<b>Mittelwert</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>10.3</b>	<b>9.1</b>	<b>8.0</b>
Standardabweichung	[N/mm <sup>2</sup> ]	1.67	1.51	1.11
Variationskoeffizient	[%]	16.2	16.5	13.8
Anzahl ungenügender Werte nach EN 386	-	0	0	1
Anzahl Werte ohne Bruch (zu grosse Verformung)	-	-	-	16

### 6.7.6 Einzelwerte und statistische Auswertung

BSH/Fuge	Empa EN 392			Betrieb		Empa neue Prüfeinrichtung		
	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Bem.	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Bemerkung
1/1	11.70	90		7.68	95	/ 11.1		max. Dehnung 4.5 mm
1/2	9.47	100		7.84	100	9.16	100	
1/3	11.45	95	Ast	8.96	90	/ 8.8		max. Dehnung 4.5 mm
1/4	9.49	100		10.32	90	6.57	100	Ast
1/5	9.42	100		7.76	100	7.06	80	
1/6	10.79	100	Ast	8.72	100	6.48	100	
2/1	9.08	100		6.80	100	/ 7.2		max. Dehnung 4.5 mm
2/2	6.91	95		7.28	100	/ 5.9		max. Dehnung 4.5 mm
2/3	8.13	100		6.96	100	6.22	100	
2/4	10.10	100		5.88	100	/ 7.3		max. Dehnung 4.5 mm
2/5	10.44	70		9.92	90	/ 8.5		max. Dehnung 4.5 mm
3/1	10.31	90		10.00	100	/ 8.3		max. Dehnung 4.5 mm
3/2	9.30	90	Ast	9.68	100	/ 7.3		max. Dehnung 4.5 mm
3/3	10.81	100		9.36	100	/ 7.7		max. Dehnung 4.5 mm
3/4	11.12	100		8.48	95	/ 8.2		max. Dehnung 4.5 mm
3/5	9.93	90		10.96	95	/ 9.8		max. Dehnung 4.5 mm
3/6	11.87	100		9.92	90	/ 8.0		max. Dehnung 4.5 mm
3/7	7.06	90	Ast	8.24	100	/ 8.6		max. Dehnung 5.0 mm
4/1	11.70	100		10.88	100	8.76	100	
4/2	7.64	100		8.72	100	7.48	95	
4/3	8.84	65	Ast	6.64	100	9.04	100	Ast
4/4	8.75	100	Ast	8.56	100	7.72	100	
4/5	12.44	100	Ast	8.80	100	7.40	100	
4/6	7.52	100		9.76	95	6.97	100	
4/7	9.61	90		8.88	100	8.53	90	
5/1	11.16	85		8.64	100	8.64	95	
5/2	13.75	100		12.88	90	/ 9.2		max. Dehnung 5.0 mm
5/3	12.91	100		12.00	100	8.54	100	
5/4	10.98	100		8.32	90	/ 8.0		max. Dehnung 5.0 mm
5/5	12.40	65		10.08	95	10.29	95	
5/6	12.45	100	Ast	7.92	90	8.20	100	
5/7	9.71	90		9.68	100	<b>6.34</b>	<b>45</b>	
6/1	10.85	100		8.56	100	8.39	100	Ast
6/2	8.67	100		9.68	90	7.88	95	Ast
6/3	12.48	95		11.20	95	9.32	100	
6/4	10.95	100		10.48	95	8.94	85	Ast
6/5	11.10	100		10.80	95	8.90	100	
6/6	11.04	100		9.68	100	/ 8.7		max. Dehnung 5.0 mm
n	38	38		38	38	22	22	
n ungenügend	0			0		1		
n ohne Bruch	-			-		16		
<b>Mittelwert</b>	<b>10.3</b>	<b>94.7</b>		<b>9.1</b>	<b>96.8</b>	<b>8.0</b>	<b>94.5</b>	
Standardabw.	1.67	9.4		1.51	4.1	1.11	12.3	
Variationsk. [%]	16.2	10.0		16.5	4.2	13.8	13.0	
Minimalwert	6.91	65		5.88	90	6.22	45	
Maximalwert	13.75	100		12.88	100	10.29	100	

### 6.7.7 Einsatzbereich der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF)

alle Träger: GL24h für Feuchteklasse 1

keine Angaben zur Holzfeuchte der Scherprüfkörper

## 6.8 Versuchsresultate Hersteller E

### 6.8.1 Klebstoff

Polyurethan (PUR)

### 6.8.2 Scherfestigkeit: Versuchsresultate – Vergleich der Einzelwerte

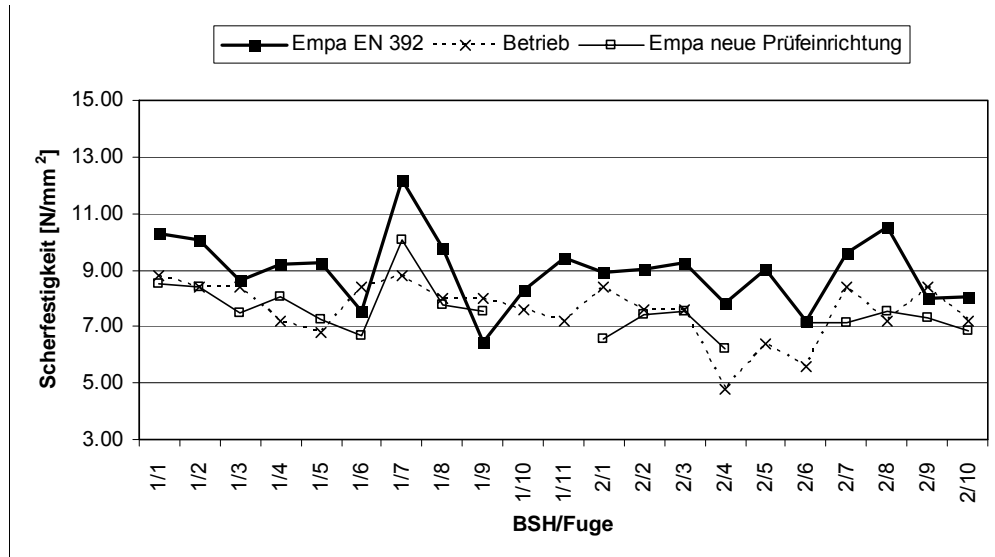


Bild 6.25: Scherfestigkeit: Versuchsresultate – Vergleich der Einzelwerte

### 6.8.3 Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

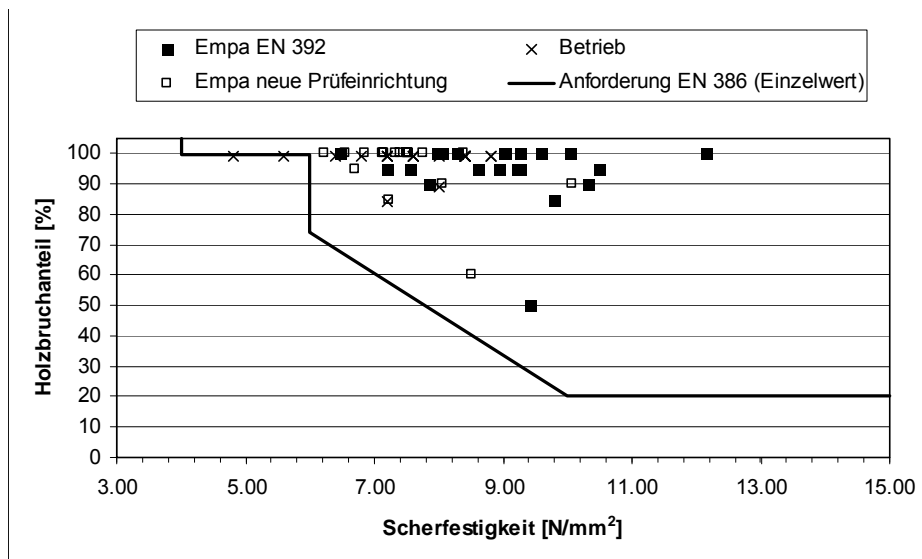


Bild 6.26: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

### 6.8.4 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz

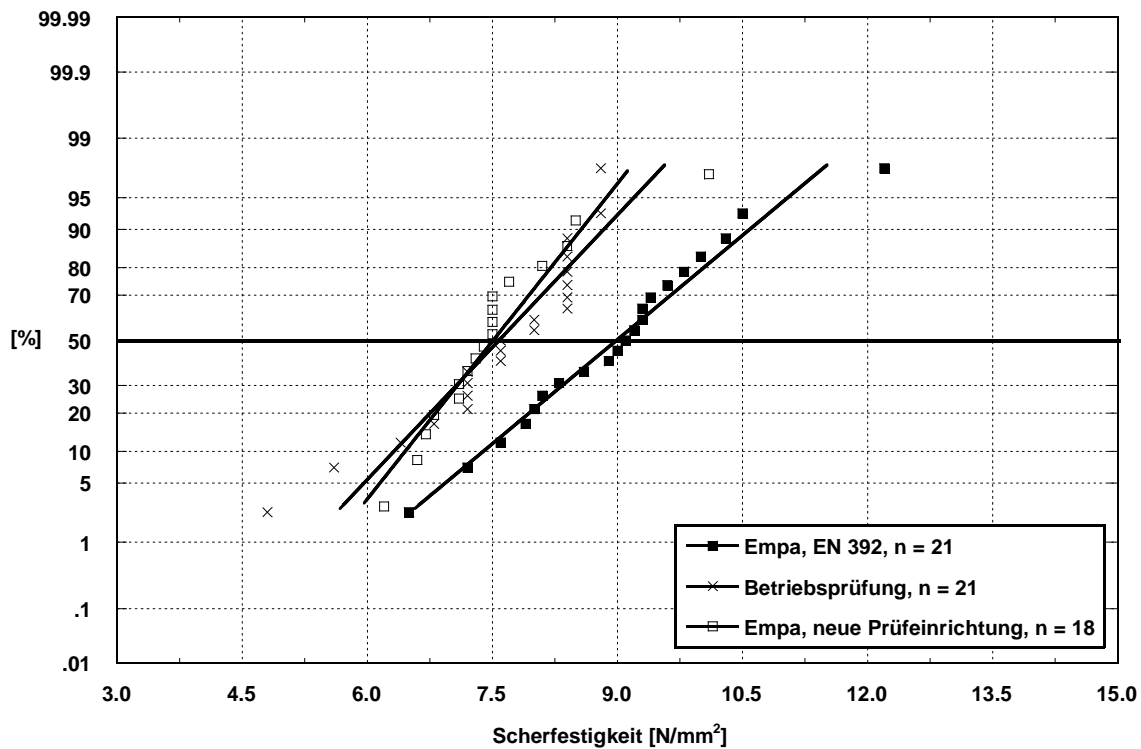


Bild 6.27: Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz (Ordinatenachse mit Gauss-Verteilung)

### 6.8.5 Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

Tabelle 6-6: Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

	Einheit	Empa, EN 392	Betrieb	Empa, neue Prüfeinrichtung
Scherfläche L x B	[mm]	50 x 50	50 x 50	50 x 50
Anzahl Werte	-	21	21	18
Maximalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	12.2	8.8	10.1
Minimalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	6.5	4.8	6.2
<b>Mittelwert</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>9.0</b>	<b>7.6</b>	<b>7.5</b>
Standardabweichung	[N/mm <sup>2</sup> ]	1.27	1.04	0.87
Variationskoeffizient	[%]	14.1	13.7	11.6
Anzahl ungenügender Werte nach EN 386	-	0	0	0
Anzahl Werte ohne Bruch (zu grosse Verformung)	-	-	-	1

### 6.8.6 Einzelwerte und statistische Auswertung

BSH/Fuge	Empa EN 392		Betrieb		Empa neue Prüfeinrichtung		Bemerkung
	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	
1/1	10.32	90	8.8	100	8.51	60	
1/2	10.04	100	8.4	100	8.39	100	
1/3	8.62	95	8.4	100	7.49	100	
1/4	9.22	95	7.2	85	8.05	90	
1/5	9.27	95	6.8	100	7.24	85	
1/6	7.56	95	8.4	100	6.70	95	
1/7	12.16	100	8.8	100	10.08	90	
1/8	9.80	85	8.0	90	7.74	100	
1/9	6.46	100	8.0	100	7.54	100	
1/10	8.28	100	7.6	100			
1/11	9.41	50	7.2	100			
2/1	8.93	95	8.4	100	6.56	100	
2/2	9.05	100	7.6	100	7.41	100	
2/3	9.26	100	7.6	100	7.51	100	
2/4	7.85	90	4.8	100	6.21	100	
2/5	9.01	100	6.4	100	/ 7.3		max. Dehnung 5.0 mm
2/6	7.19	95	5.6	100	7.13	100	
2/7	9.60	100	8.4	100	7.14	100	
2/8	10.50	95	7.2	100	7.53	100	
2/9	7.98	100	8.4	100	7.33	100	
2/10	8.05	100	7.2	100	6.84	100	
n	21	21	21	21	18	18	
n ungenügend	0		0		0		
n ohne Bruch	-		-		1		
<b>Mittelwert</b>	<b>9.0</b>	<b>94.3</b>	<b>7.6</b>	<b>98.8</b>	<b>7.5</b>	<b>95.6</b>	
Standardabw.	1.27	11.0	1.04	3.8	0.87	10.0	
Variationsk. [%]	14.1	11.7	13.7	3.9	11.6	10.4	
Minimalwert	6.46	50	4.8	85	6.21	60	
Maximalwert	12.16	100	8.8	100	10.08	100	

### 6.8.7 Einsatzbereich der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF)

keine Angaben

## 6.9 Versuchsresultate Hersteller F

### 6.9.1 Klebstoff

Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz (MUF)

### 6.9.2 Scherfestigkeit: Versuchsresultate – Vergleich der Einzelwerte

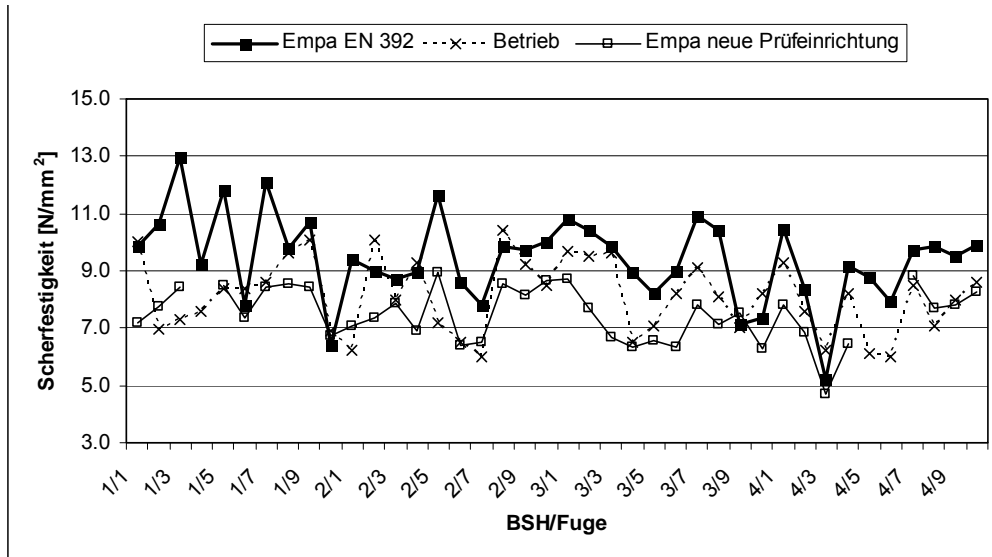


Bild 6.28: Scherfestigkeit: Versuchsresultate – Vergleich der Einzelwerte

### 6.9.3 Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

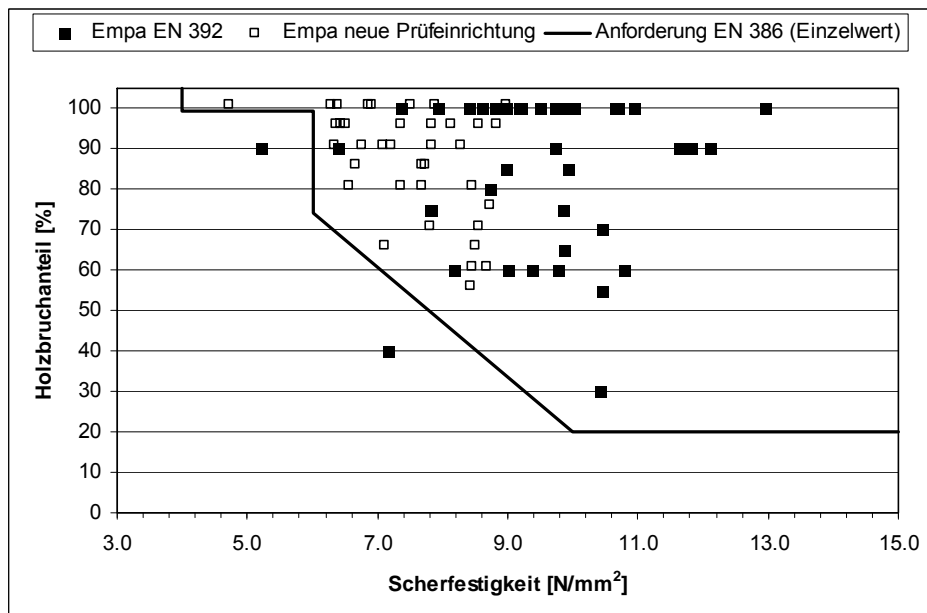


Bild 6.29: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Bemerkung: Angaben zum Holzbruchanteil wurden durch den Betrieb keine gemacht, da die gemessenen Scherfestigkeiten in der Regel  $> 6 N/mm^2$  waren.

### 6.9.4 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz

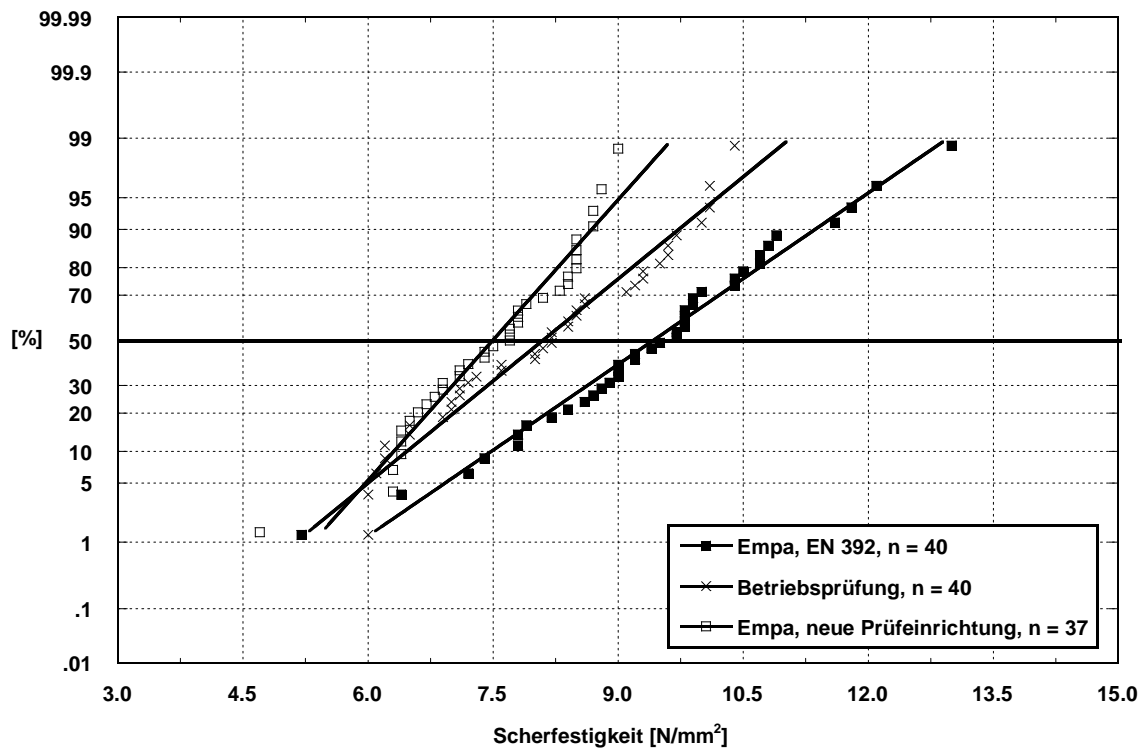


Bild 6.30: Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse in Wahrscheinlichkeitsnetz (Ordinatenachse mit Gauss-Verteilung)

### 6.9.5 Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

Tabelle 6-7: Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

	Einheit	Empa, EN 392	Betrieb	Empa, neue Prüfeinrichtung
Scherfläche L x B	[mm]	50 x 50	50 x 50	50 x 50
Anzahl Werte	-	40	40	37
Maximalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	13.0	10.4	9.0
Minimalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	5.2	6.0	4.7
<b>Mittelwert</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>9.4</b>	<b>8.1</b>	<b>7.5</b>
Standardabweichung	[N/mm <sup>2</sup> ]	1.53	1.28	0.95
Variationskoeffizient	[%]	16.2	15.9	12.7
Anzahl ungenügender Werte nach EN 386	-	2	k. A. zu Holzbruchanteil	0
Anzahl Werte ohne Bruch (zu grosse Verformung)	-	-	-	3

### 6.9.6 Einzelwerte und statistische Auswertung

BSH/Fuge	Empa EN 392			Betrieb		Empa neue Prüfeinrichtung		
	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Bem.	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Bemerkung
1/1	9.83	100		10.00		7.21	90	
1/2	10.65	100		6.96		7.73	85	
1/3	12.96	100		7.28		8.42	55	
1/4	9.20	100		7.60		/ 9.6		max. Dehnung 5.0 mm
1/5	11.82	90		8.40		8.49	65	
1/6	7.82	75		8.40		7.36	80	Ast
1/7	12.11	90		8.56		8.45	80	Ast
1/8	9.78	60		9.60		8.55	70	Ast
1/9	10.70	100		10.08		8.44	60	KZ
1/10	6.39	90		6.88		6.76	90	
2/1	9.37	60	Ast	6.16		7.07	90	
2/2	8.98	100		10.08		7.36	95	Ast
2/3	8.73	80	Ast	8.00		7.87	100	
2/4	8.92	100		9.28		6.92	100	
2/5	11.64	90		7.20		8.97	100	
2/6	8.59	100		6.48		6.39	100	
2/7	7.80	75		6.00		6.52	95	
2/8	9.84	100		10.40		8.55	95	
2/9	9.73	90		9.20		8.14	95	
2/10	10.03	100		8.48		8.66	60	Ast
3/1	10.80	60		9.68		8.73	75	
3/2	10.43	30		9.20		7.68	80	
3/3	9.86	65		9.60		6.67	85	Ast
3/4	8.97	85		6.48		6.34	90	Ast
3/5	8.18	60		7.12		6.57	80	
3/6	8.99	60		8.16		6.36	95	
3/7	10.94	100		9.12		7.83	90	
3/8	10.44	70	Ast	8.08		7.11	65	
3/9	<b>7.16</b>	<b>40</b>		7.04		7.50	100	
3/10	7.36	100		8.16		6.28	100	
4/1	10.45	55		9.28		7.80	70	Ast
4/2	8.40	100		7.60		6.85	100	
4/3	<b>5.21</b>	<b>90</b>		6.24		4.72	100	
4/4	9.17	100		8.24		6.43	95	
4/5	8.79	100		6.08		/ 7.1		max. Dehnung 5.0 mm
4/6	7.93	100		6.00		/ 6.7		max. Dehnung 5.0 mm
4/7	9.71	100		8.48		8.82	95	
4/8	9.84	75		7.12		7.68	85	Ast
4/9	9.49	100		8.00		7.82	95	
4/10	9.93	85	Ast	8.64		8.28	90	
n	40	40		40		37	37	
n ungenügend	2			-		0		
n ohne Bruch	-			k.A. zu Holzbruchanteil		3		
<b>Mittelwert</b>	<b>9.4</b>	<b>84.4</b>		<b>8.1</b>		<b>7.5</b>	<b>86.4</b>	
Standardabw.	1.53	19.1		1.28		0.95	13.2	
Variationsk. [%]	16.2	22.6		15.9		12.7	15.3	
Minimalwert	5.21	30		6.00		4.72	55	
Maximalwert	12.96	100		10.40		8.97	100	

### 6.9.7 Einsatzbereich der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF)

- BSH 1: GL24h für Feuchteklasse 1; HF-Mittelwert = 7.2%
- BSH 2: GL24h für Feuchteklasse 1; HF-Mittelwert = 14%
- BSH 3: GL24h für Feuchteklasse 1; HF-Mittelwert = 6.8%
- BSH 4: GL24h für Feuchteklasse 1; HF-Mittelwert = 10.4%



## 6.10 Versuchsergebnisse Hersteller G

### 6.10.1 Klebstoff

Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz (MUF)

### 6.10.2 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse – Vergleich der Einzelwerte

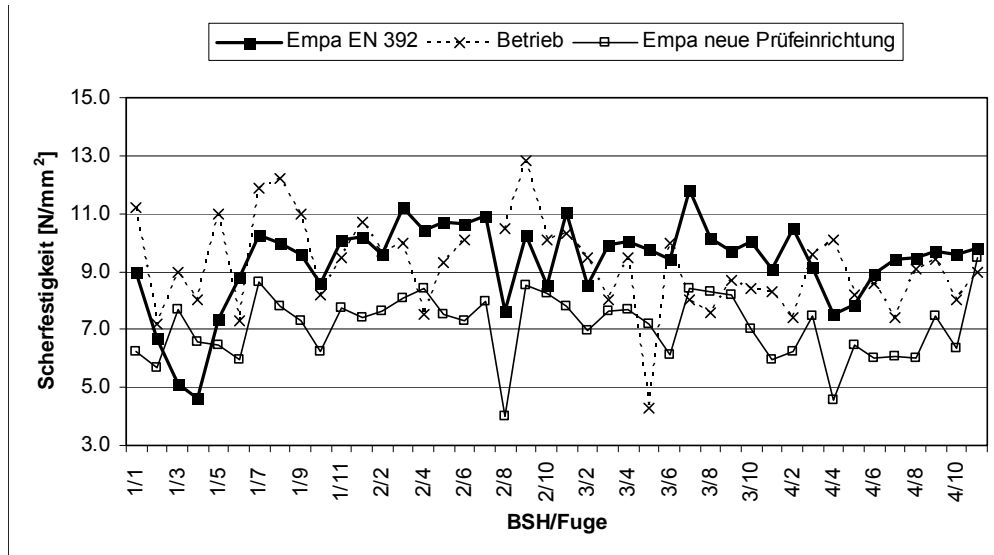


Bild 6.31: Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse – Vergleich der Einzelwerte

### 6.10.3 Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

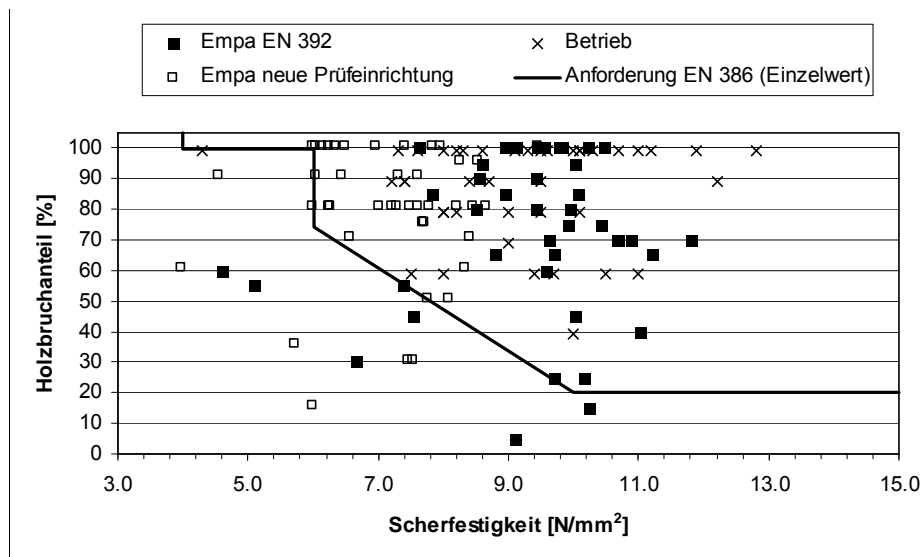


Bild 6.32: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

### 6.10.4 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz

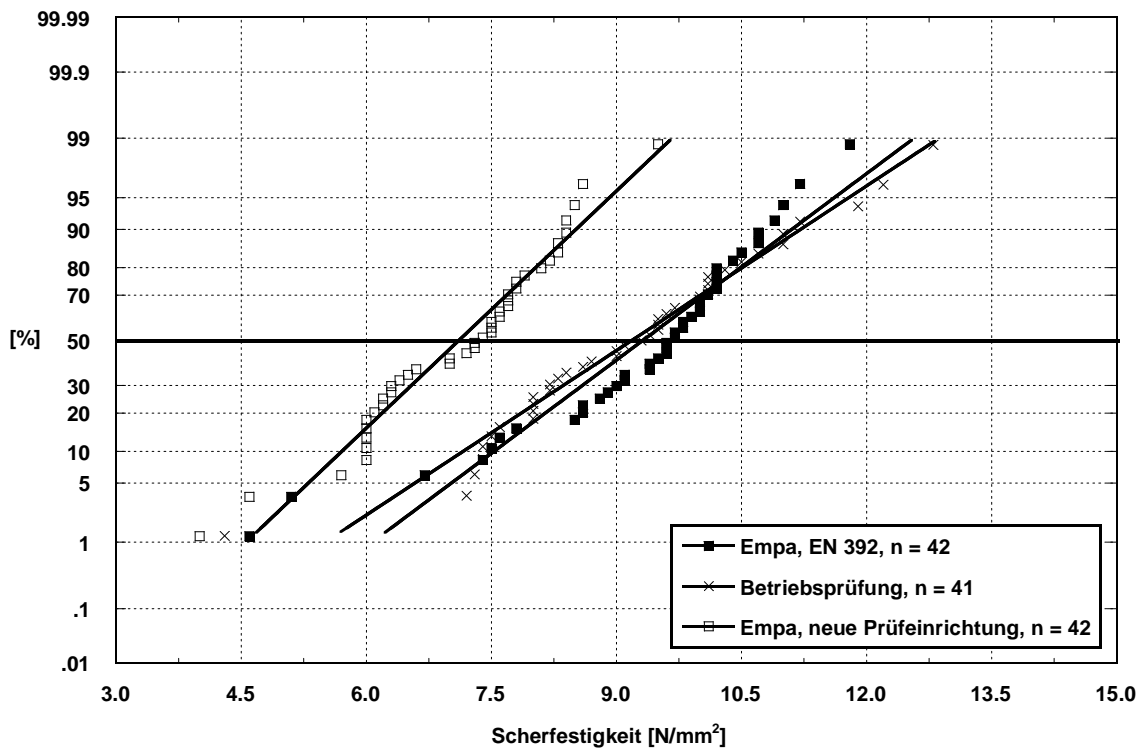


Bild 6.33: Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz (Ordinatenachse mit Gauss-Verteilung)

### 6.10.5 Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

Tabelle 6-8: Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

	Einheit	Empa, EN 392	Betrieb	Empa, neue Prüfeinrichtung
Scherfläche L x B	[mm]	50 x 50	50 x 50	50 x 50
Anzahl Werte	-	42	41	42
Maximalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	11.8	4.3	4.0
Minimalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	4.6	12.8	9.5
<b>Mittelwert</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>9.3</b>	<b>9.2</b>	<b>7.1</b>
Standardabweichung	[N/mm <sup>2</sup> ]	1.48	1.60	1.12
Variationskoeffizient	[%]	15.8	17.5	15.8
Anzahl ungenügender Werte nach EN 386	-	6	0	6
Anzahl Werte ohne Bruch (zu grosse Verformung)	-	-	-	0

### 6.10.6 Einzelwerte und statistische Auswertung

BSH/Fuge	Empa EN 392			Betrieb		Empa neue Prüfeinrichtung		
	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Bem.	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruchanteil [%]	Bemerkung
1/1	8.95	85		11.20	100	6.25	80	Ast
1/2	<b>6.67</b>	<b>30</b>	Ast	7.20	90	<b>5.71</b>	<b>35</b>	
1/3	<b>5.10</b>	<b>55</b>	Ast	9.00	70	7.68	75	
1/4	<b>4.60</b>	<b>60</b>		8.00	80	6.56	70	
1/5	7.37	55		11.00	60	6.43	90	
1/6	8.81	65		7.30	100	<b>5.98</b>	<b>15</b>	Riss
1/7	<b>10.24</b>	<b>15</b>		11.90	100	8.65	80	
1/8	9.95	80		12.20	90	7.78	80	
1/9	9.61	70		11.00	100	7.29	80	
1/10	8.60	95		8.20	100	6.26	80	Ast
1/11	10.08	85		9.50	90	<b>7.74</b>	<b>50</b>	Riss
2/1	10.18	25		10.70	100	7.40	100	
2/2	9.57	60		9.70	60	7.61	90	Ast
2/3	11.22	65		10.00	40	8.08	50	Ast
2/4	10.42	75		7.50	60	8.41	70	Ast
2/5	10.70	70		9.30	100	<b>7.53</b>	<b>30</b>	
2/6	10.66	70	Ast	10.10	100	7.30	90	
2/7	10.90	70				7.95	100	
2/8	7.64	100		10.50	60	<b>3.98</b>	<b>60</b>	Ast
2/9	10.23	100	Ast	12.80	100	8.54	95	
2/10	8.51	80	Ast	10.10	80	8.26	95	
3/1	11.01	40		10.30	100	7.82	100	
3/2	8.55	90		9.50	80	6.97	100	
3/3	9.91	75		8.00	80	7.62	80	
3/4	10.03	95		9.50	100	7.69	75	
3/5	9.77	100		4.30	100	7.21	80	
3/6	9.42	90		10.00	100	6.13	100	Ast
3/7	11.81	70		8.00	60	8.44	80	
3/8	10.16	25		7.60	100	8.32	60	
3/9	9.69	25		8.70	90	8.21	80	
3/10	10.03	45		8.40	90	7.02	80	
4/1	<b>9.09</b>	<b>5</b>		8.30	100	5.98	80	Fehlstelle
4/2	10.47	100		7.40	90	6.23	100	Überwallung
4/3	9.12	100		9.60	100	7.47	80	
4/4	<b>7.54</b>	<b>45</b>		10.10	100	4.55	90	
4/5	7.84	85		8.20	80	6.48	100	
4/6	8.94	100		8.60	100	6.03	100	
4/7	9.42	80		7.40	90	6.04	90	
4/8	9.45	100		9.10	100	5.99	100	Ast
4/9	9.70	65		9.40	60	<b>7.45</b>	<b>30</b>	
4/10	9.56	100	Ast	8.00	100	6.34	100	
4/11	9.82	100		9.00	80	9.45	100	
n	42	42		41	41	42	42	
n ungenügend	6			0		6		
n ohne Bruch	-			-		0		
<b>Mittelwert</b>	<b>9.3</b>	<b>70.1</b>		<b>9.2</b>	<b>87.3</b>	<b>7.1</b>	<b>79.0</b>	
Standardabw.	1.48	26.6		1.60	16.3	1.12	21.8	
Variationsk. [%]	15.8	37.9		17.5	18.6	15.8	27.5	
Minimalwert	4.60	5		4.30	40	3.98	15	
Maximalwert	11.81	100		12.80	100	9.45	100	

### 6.10.7 Einsatzbereich der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF)

Alle Träger GL24k für Feuchteklasse 1

## 6.11 Versuchsergebnisse Hersteller H

### 6.11.1 Klebstoff

Emulsion-Polymer-Isocyanat (EPI)

### 6.11.2 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse – Vergleich der Einzelwerte

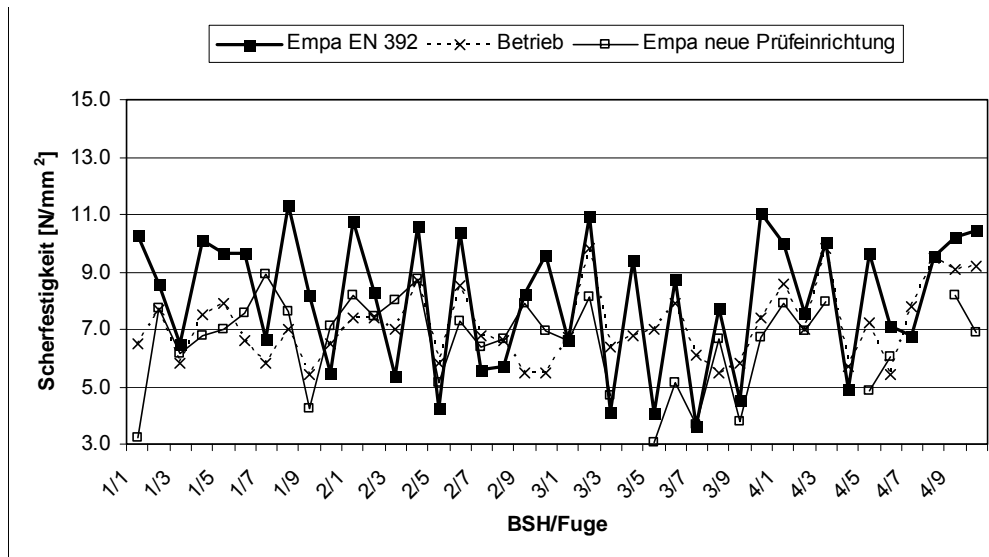


Bild 6.34: Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse – Vergleich der Einzelwerte

### 6.11.3 Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

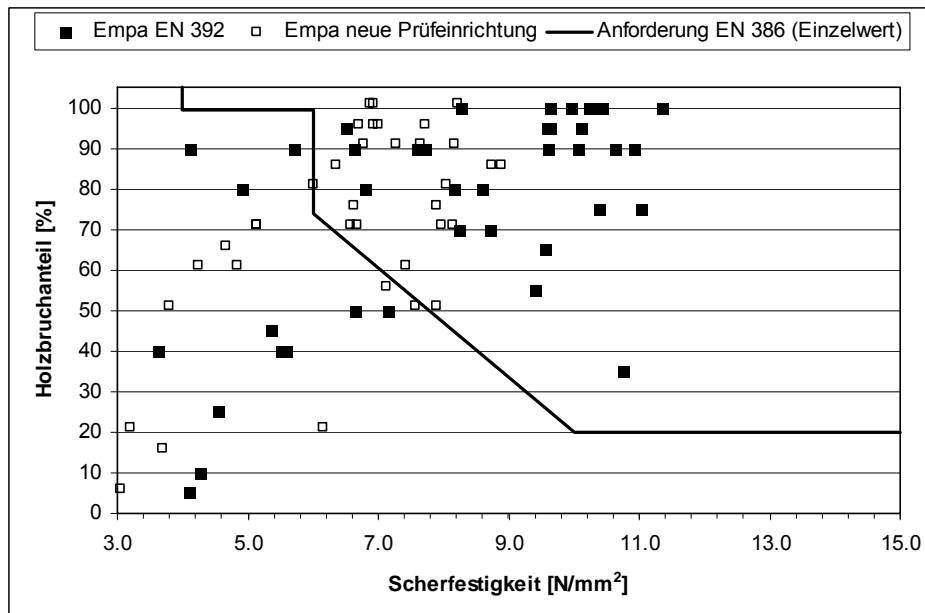


Bild 6.35: Scherfestigkeit in Abhängigkeit des Holzbruchanteils

Bemerkung: Angaben zum Holzbruchanteil wurden durch den Betrieb keine gemacht, da die gemessenen Scherfestigkeiten in der Regel  $> 6 \text{ N/mm}^2$  waren.

### 6.11.4 Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse im Wahrscheinlichkeitsnetz

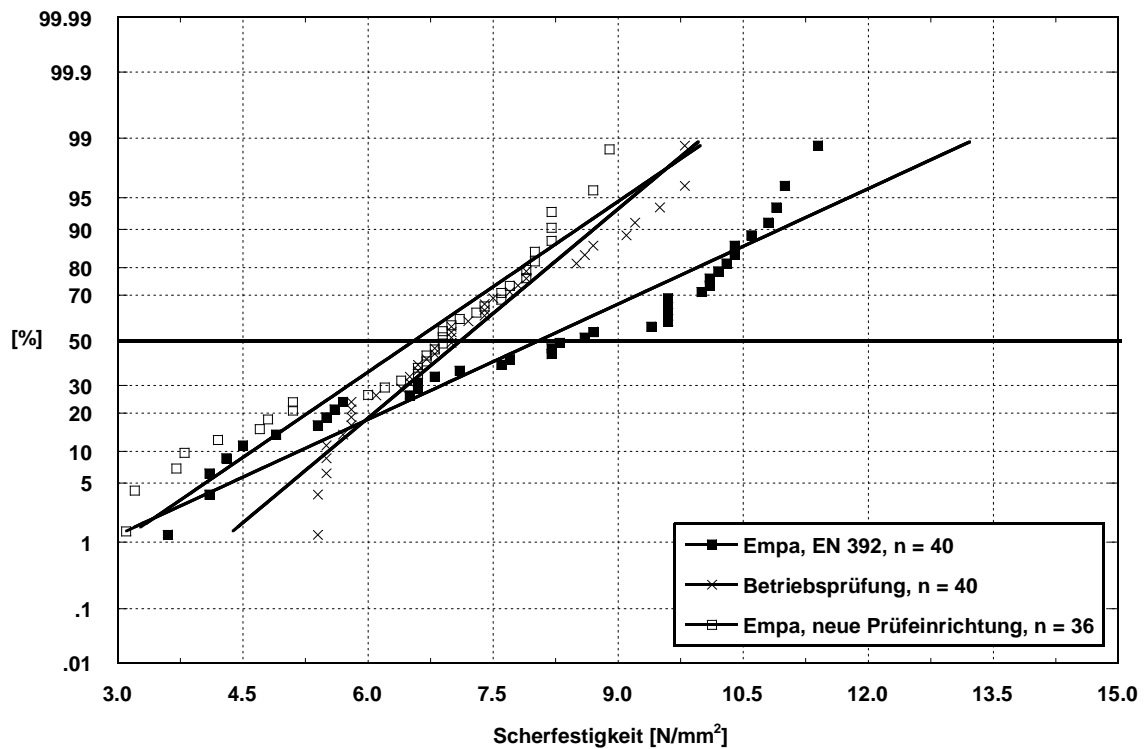


Bild 6.36: Scherfestigkeit: Versuchsergebnisse in Wahrscheinlichkeitsnetz (Ordinatenachse mit Gauss-Verteilung)

### 6.11.5 Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

Tabelle 6-9: Scherfestigkeit: Statistische Auswertung

	Einheit	Empa, EN 392	Betrieb	Empa, neue Prüfeinrichtung
Scherfläche L x B	[mm]	50 x 50	50 x 50	50 x 50
Anzahl Werte	-	40	40	36
Maximalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	11.4	9.8	8.9
Minimalwert	[N/mm <sup>2</sup> ]	3.6	5.4	3.1
<b>Mittelwert</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>8.1</b>	<b>7.1</b>	<b>6.6</b>
Standardabweichung	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.33	1.27	1.58
Variationskoeffizient	[%]	28.9	17.9	24.1
Anzahl ungenügender Werte nach EN 386	-	12	k. A. zu Holzbruchanteil	12
Anzahl Werte ohne Bruch (zu grosse Verformung)	-	-	-	4

### 6.11.6 Einzelwerte und statistische Auswertung

BSH/Fuge	Empa EN 392			Betrieb		Empa neue Prüfeinrichtung		
	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruch- anteil [%]	Bem.	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruch- anteil [%]	SFestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Faserbruch- anteil [%]	Bemerkung
1/1	10.28	100		6.50		3.20	20	eine Lamelle mit Keilzinkung
1/2	8.60	80		7.70		7.71	95	eine Lamelle mit Keilzinkung
1/3	6.51	95	Ast	5.80		6.16	20	kein Klebstoff
1/4	10.11	95		7.50		6.77	90	Ast
1/5	9.64	100		7.90		7.00	95	
1/6	9.64	95		6.60		7.57	50	
1/7	6.64	50		5.80		8.90	85	
1/8	11.35	100		7.00		7.65	90	Ast
1/9	8.16	80		5.40		4.25	60	Ast
1/10	5.50	40	Ast	6.50		7.12	55	Ast
2/1	10.75	35		7.40		8.21	100	
2/2	8.27	100		7.40		7.42	60	
2/3	5.36	45		7.00		8.03	80	Ast
2/4	10.62	90		8.70		8.73	85	
2/5	4.26	10		5.80		5.14	70	
2/6	10.39	75		8.50		7.27	90	
2/7	5.59	40	Ast	6.80		6.37	85	
2/8	5.72	90	Ast	6.60		6.64	75	
2/9	8.23	70		5.50		7.90	75	
2/10	9.59	95		5.50		6.94	95	
3/1	6.62	90		6.70		6.58	70	
3/2	10.93	90		9.80		8.15	70	
3/3	4.12	90		6.40		4.67	65	
3/4	9.42	55		6.80		/ 7.9		max. Dehnung 5.0 mm
3/5	4.09	5		7.00		3.06	5	kein Klebstoff, Harzgalle
3/6	8.72	70		7.90		5.13	70	Riss
3/7	3.61	40		6.10		3.70	15	
3/8	7.72	90		5.50		6.69	70	Ast
3/9	4.54	25		5.80		3.80	50	Ast, Riss
3/10	11.03	75	Ast	7.40		6.70	95	
4/1	9.96	100		8.60		7.89	50	
4/2	7.59	90		7.00		6.92	100	
4/3	10.05	90		9.80		7.97	70	
4/4	4.92	80		5.70		/ 6.5		max. Dehnung 5 mm
4/5	9.62	90		7.20		4.84	60	
4/6	7.14	50	Riss	5.40		6.02	80	Riss
4/7	6.79	80		7.80		/ 7.3		max. Dehnung 5.0 mm
4/8	9.56	65		9.50		/ 8.0		max. Dehnung 5.0 mm
4/9	10.22	100		9.10		8.18	90	
4/10	10.44	100		9.20		6.88	100	
n	40	40		40		36	36	
n ungenügend	12			k.A. zu Holzbruchanteil		12		
n ohne Bruch	-			-		4		
Mittelwert	8.1	74.0		7.1		6.6	70.4	
Standardabw.	2.33	26.6		1.27		1.58	24.9	
Variationsk. [%]	28.9	36.0		17.9		24.1	35.4	
Minimalwert	3.61	5		5.40		3.06	5	
Maximalwert	11.35	100		9.80		8.90	100	

### 6.11.7 Einsatzbereich der BSH-Träger; Holzfeuchte (HF)

Alle Träger GL24h

keine Angaben zu Feuchteklasse und zur HF der Scherprüfkörper

## 6.12 Erfahrungen mit dem neuen Prüfgerät an der Empa

Bezüglich Handling wurden mit dem neuen Prüfgerät die folgenden Erfahrungen gemacht:

- Die Versuche konnten nach ersten Anpassungsarbeiten problemlos durchgeführt werden. Trotzdem sollte angestrebt werden, die Einrichtung weiter zu optimieren.
- Weil sich die Prüfkörper bei der Belastung vom unteren Anschlag weg verschieben, sind die Proben bei Prüfbeginn zur Prüfung der Klebstoffugen um 1.5 mm von der Scherebene versetzt einzulegen. Dieser Versatz gilt allerdings nur für die geprüften Fichtenholzproben und Dichtebereiche. Für andere Holzarten bzw. Dichten muss der Versatz stets neu anhand von Vorversuchen bzw. Erfahrung während der Prüfung ermittelt werden.
- Der begrenzte max. zulässige Verformungsweg der Prüfeinrichtung (Hub) führt teilweise dazu, dass Prüfkörper mit grossen Längsstauchungen nicht bis zum Bruch belastet werden können. Zur Beurteilung des Faserbruchanteils ist in solchen Fällen ein manuelles Aufspalten der Prüfkörper nötig, was das Ergebnis bezüglich Faserbruchanteil verfälschen kann.
- Gegenüber der herkömmlichen Prüfung von Stangen ist der Aufwand für die Prüfkörperherstellung grösser. Auch nehmen die Anforderungen an die Präzision der Abmessungen zu.

## 6.13 Literatur zu Kapitel 6

1. Comité Européen de Normalisation CEN (2001): EN 386: Brettschichtholz - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung.
2. Schneider J., Schlatter H. P. (1996): Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen Grundwissen für Ingenieure. vdf Hochschulverlag [etc.], Zürich.
3. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2003): Norm SIA 265 - Holzbau. Sia, Zürich.
4. International Organization for Standardization ISO (1975): International Standard ISO 3130: Wood -- Determination of moisture content for physical and mechanical tests.





## 7 Feststellungen, Empfehlungen und Fazit

### 7.1 Feststellungen

#### 7.1.1 Analyse der Betriebsdaten

- Angaben zur Holzfeuchte der Scherprüfkörper fehlen meistens. Von den Betrieben übermittelte Holzfeuchten weichen z. T. vom für die Scherprüfung nach Norm EN 392:1995 [1] im Rahmen der Eigenüberwachung verlangten Holzfeuchtebereich von 8% bis 13% ab.
- Zum Teil werden keine Angaben über den Einsatzbereich (Feuchteklasse) der BSH-Träger gemacht.
- 3 Betriebe machen keine Angaben zu den Faserbruchanteilen, da die Einzelwerte der Scherfestigkeit oberhalb von  $6 \text{ N/mm}^2$  liegen.
- Die Messung der Kraft erfolgte im Rahmen des Projekts in den Betrieben praktisch ausschliesslich mittels analogen Öldruckmanometern. Die Kraft wurde z. T. mittels motorbetriebenen Pumpen, z. T. mittels Handpumpen erzeugt. In der Zwischenzeit haben die meisten Betriebe ein servo-hydraulisches Prüfgerät angeschafft.
- Die in den Betrieben im Projekt eingesetzten Prüfgeräte entsprachen mit einer Ausnahme dem Typ Lübbert (Bild 3.25).

#### 7.1.2 Gemessene Scherfestigkeiten im Betrieb und an der Empa (herkömmliches Gerät)

- Auf dem Niveau Mittelwert sind die Empa-Werte stets höher als die im Betrieb ermittelten Werte. Die Standardabweichungen sind ähnlich in einzelnen Fällen gar identisch. Dass die Empa-Werte höher liegen, kann entweder von einer präziseren Kraftmessung herrühren oder von der Ausbildung des Auflagers der Prüfkörper. Während das Empa-Prüfgerät eine gekerbte Stahlplatte als Lager hat, prüfen die Firmen mit glatter Platte. Dass dies zu unterschiedlichen Resultaten führt, wurde in Abschnitt 3.3.3 gezeigt: Vergleichende Versuche mit dem herkömmlichen Empa-Prüfgerät einmal mit Prüfkörperauflage auf glatter Stahlplatte und auf gekerbter Stahlplatte zeigte für den 2. Fall auf dem Mittelwertsniveau statistisch signifikant höhere Werte.

#### 7.1.3 Vergleich herkömmliches / neues Prüfgerät: Scherfestigkeiten

- Die mit dem neuen Prüfgerät an der Empa ermittelten Scherfestigkeiten sind geringer als diejenigen, welche an den zugeordneten Prüfkörpern mit dem herkömmlichen Empa-Scherprüfgerät bestimmt wurden. Dies steht im Widerspruch mit den im Abschnitt 4.4 beschriebenen Vorversuchen der Neuen Holzbau Lungern mit dem ersten Prototyp. Die Ursache dieses Widerspruchs könnte in der unterschiedlichen Art der Krafterzeugung und -messung liegen.
- Die gemessenen Scherfestigkeiten streuen beim neuen Prüfgerät deutlich geringer als beim herkömmlichen Gerät.

#### 7.1.4 Vergleich herkömmliches / neues Prüfgerät: Handling

##### 7.1.4.1 Herkömmliches Prüfgerät

- Die Scherprüfung kann auf einfache Weise direkt an den Prüfstangen durchgeführt werden.
- Das Gerät ist einfach in der Bedienung und nicht aufwändig in der Herstellung.
- Während des Versuchs tendieren die Prüfstangen auf Grund von Deformationen (Stauchungen) zum Abheben. Wird das Abheben durch den Prüfer oder durch Halterungen am Prüfgerät verhindert, so beeinflusst dies die Versuchsergebnisse, indem zusätzlich zur Scherkraft auch noch Kräfte senkrecht dazu wirken.
- Die Scherfestigkeit kann direkt durch Division der Bruchkraft durch die Scherfläche errechnet werden.
- Mit dem Gerät können Proben unterschiedlicher Höhe geprüft werden.

#### 7.1.4.2 Neues Prüfgerät

- Die Bedienung des Geräts ist einfach und anwendungssicher. Während des Versuchs kann das Prüfergebn durch den Prüfer nicht mittels Manipulationen am Prüfkörper beeinflusst werden.
- Die Herstellung der Prüfkörper gestaltet sich aufwändiger als beim herkömmlichen Prüfgerät, da die Prüfstangen nicht abschnittsweise abgeschert werden können, sondern vorgängig aus den Stangen kubische Einzelprüfkörper geschnitten werden müssen. Die Anforderung an die Präzision der Einzelprüfkörper ist hoch, kann jedoch mittels einer Lehre sichergestellt werden. Wenn die Abmessungen der Prüfkörper von den Sollwerten 50 x 50 x 50 mm abweichen oder die obere und die untere Auflagerfläche nicht parallel zu einander sind, greifen die Druckstempel nicht exakt bei der Klebstofflage an.
- Trotz geriffelter Auflagefläche (Verbesserung gegenüber dem ersten Prototyp der Neuen Holzbau), verschieben sich die Prüfkörper bei der Belastung vom unteren Anschlag weg. Die Proben mussten daher bei Prüfbeginn zur Prüfung der Klebstofflagen um 1.5 mm von der Scherebene versetzt eingelegt werden. Der Versatz ist abhängig von der Längsdruckfestigkeit der Prüfkörper und muss für andere Holzarten bzw. Dichtebereiche neu ermittelt werden.
- Da der untere Prüfkörperanschlag zu wenig hoch ist, besteht die Gefahr einer falschen Positionierung des Prüfkörpers bei Versuchsbeginn.
- Der begrenzte maximal zulässige Verformungsweg der Prüfeinrichtung (Hub) führt teilweise dazu, dass Prüfkörper mit grossen Längsstauchungen nicht bis zum Bruch belastet werden können. Zur Beurteilung des Faserbruchanteils ist in solchen Fällen ein manuelles Aufspalten der Prüfkörper nötig, was das Ergebnis bezüglich Faserbruchanteils verfälschen kann.
- Bei hohen Festigkeiten in der Scherfuge besteht wegen der kleinen Fläche der Lasteinleitungszonen die Gefahr der Längsstauchung des Prüfkörpers infolge der hohen Druckspannungen parallel zur Faser.
- Bei der Berechnung der Scherfestigkeit muss die Bruchlast mit dem Kosinus des Kraft- zur Faserwinkels von 14° d. h. mit dem Faktor 0.97 multipliziert werden.

## 7.2 Empfehlungen

### 7.2.1 Empfehlungen für die Betriebsprüfungen

- Sämtliche das Resultat beeinflussenden Grössen sind mit ausreichender Präzision zu messen und zu dokumentieren. Die Normanforderungen [1] an die Messgenauigkeit der Kraft sind  $\pm 3\%$ . Analoge Öldruckmanometer sind nur beschränkt geeignet, diese Messpräzision zu erbringen. Die verwendeten Messeinrichtungen unterliegen bedingt durch die dynamische Beanspruchung (schlagartige Druckschwankungen) im täglichen Gebrauch einer stetigen Dejustierung. Sie sind daher in regelmässigen Abständen zu warten, zu kontrollieren und zu kalibrieren, was generell im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung zu erfolgen hat. Dieser Hinweis basiert auf der Feststellung von z. T. unerklärlichen Resultaten der Betriebsprüfung bei Betrieb H.
- Bei der Verwendung von Handpumpen zur Erzeugung des Öldrucks ist mit einer stossartigen Beanspruchung des Prüfkörpers kurz vor dem Bruch zu rechnen, was die gemessene Scherfestigkeit verfälschen kann. Empfohlen wird daher die Verwendung einer Servohydraulik, welche eine konstante Laststeigerung bis zum Bruch garantiert.
- Die Holzfeuchte der Scherprüfkörper ist zumindest stichprobenweise zu messen. Laut Norm EN 392:1995 [1] muss bei der Eigenüberwachung die Holzfeuchte der Scherprüfkörper gleichmässig über dieselben verteilt sein und innerhalb eines Bereichs von 8% bis 13% liegen.
- Um die bei der Scherprüfung erzielten Scherfestigkeiten nicht nur an den Anforderung der EN 386:2001 [2] (siehe Abschnitt 3.3.1.1) messen zu können, sondern auch am geplanten Einsatzbereichs des BSH-Trägers, empfiehlt sich die explizite Nennung der Feuchteklasse des BSH-Trägers auf den Scherprüfprotokollen.
- Auch wenn die Scherfestigkeit (Einzelwert) oberhalb von 6 N/mm<sup>2</sup> liegt, ist es empfehlenswert, den Faserbruchanteil zu bestimmen. Man erhält so auf einfache Weise eine Zusatzinformation über die Güte der Verklebung. Bruchflächen mit ausschliesslichem Bruch im Klebstoff sind nur bei sehr hohen Scherfestigkeitswerten unbedenklich.

## 7.2.2 Empfehlungen für die Normierung

Die Anforderungen an die Scherprüfung in den Normen EN 386:2001 und EN 392:1995 sind wie folgt zu präzisieren.

### 7.2.2.1 EN 386:2001

- Es sollte deutlicher gefordert werden, dass der Faserbruchanteil auch bei Scherfestigkeiten (Einzelwert) oberhalb von  $6 \text{ N/mm}^2$  zu bestimmen und zu beurteilen ist.
- Die zu erreichenden Scherfestigkeiten und die damit zusammenhängenden Mindestfaserbruchanteile gelten für eine ganz bestimmte Prüfkonfiguration bzw. konstruktive Ausbildung des Prüfgeräts. Da jedoch auf Basis der Prinzipskizze in der EN 392:1995 die verschiedensten Scherprüfgeräte entwickelt wurden und im Einsatz sind, muss die Gültigkeit der Zielwerte auf dasjenige Prüfgerät eingeschränkt werden, mit welchem diese Zielwerte ermittelt wurden. Für die in die EN 392:1995 als Alternative aufzunehmende Druckscherprüfung (analog zu den Scherversuchen in der EN 408:2003) müssten adäquate Zielwerte der Scherfestigkeit und des Mindestfaserbruchanteils noch festgelegt werden.

### 7.2.2.2 EN 392:1995

- Wie sowohl die Versuche (Abschnitt 3.3.3) als auch die theoretischen Überlegungen (Abschnitt 3.4) zeigten, werden die in den Versuchen erzielten Scherfestigkeiten stark durch die konstruktive Ausbildung des Prüfgeräts beeinflusst. Das Halten des Prüfkörpers (durch den Prüfer oder durch Halterungen und Anschläge am Gerät) beeinflusst die Werte zusätzlich. Sämtliche eingesetzten Prüfgeräte erfüllen zwar die Anforderungen der EN 392:1995. Diese sind jedoch zu wenig präzise formuliert. Insbesondere genügt die in der EN 392:1995 angegebene Prinzipskizze nicht, um das einzusetzende Prüfgerät ausreichend genau zu charakterisieren.
- Als Alternative zum Scherversuch, wie ihn die Prinzipskizze der EN 392:1995 verlangt, sollte ein Druckscherversuch unter einem Kraft- zur Faserwinkel von  $14^\circ$  analog zu den Scherversuchen gemäss EN 408:2003 [3] zumindest für die Eigenüberwachung in den Betrieben zugelassen werden.

## 7.2.3 Verbesserungsvorschläge für das neue Prüfgerät

- Der untere Anschlag für ein korrektes Positionieren des Prüfkörpers sollte vergrössert werden.
- Die Riffelung der Auflageflächen sollte sich über die gesamte Prüfkörperbreite erstrecken. Die Reibungsverhältnisse bei den Auflageflächen sind weiter zu verbessern (z. B. Kerbung anstelle von Riffelung), um ein Rutschen des Prüfkörpers während des Versuchs zu verhindern.
- Das Prüfgerät sollte konstruktiv derart optimiert werden, dass ein deutlich grösserer Hub zur Verfügung steht, was das vollständige Abscheren der Klebfugen auch bei hohen Scherfestigkeiten ermöglicht. Durch eine entsprechende Vergrösserung der Lasteinleitungsflächen muss ausserdem ein vorzeitiges Versagen der Prüfkörper wegen zu grosser Längsdruckspannungen (Stauhen) bei sehr hohen Festigkeiten in der Scherfuge verhindert werden.

## 7.3 Fazit

Die derzeitige Situation, was die Bestimmung von Scherfestigkeiten betrifft, ist unbefriedigend. Die mittels konstruktiv unterschiedlichen Scherprüfgeräten ermittelten Scherfestigkeiten und Faserbruchanteile sind nicht miteinander vergleichbar. Ob die in der Anforderungsnorm für die BSH-Herstellung EN386:2001 angegebenen Zielwerte der Scherfestigkeit und des entsprechenden Mindestfaserbruchanteils auf sämtliche Arten der Scherprüfung (gemäss Prinzipskizze in der EN 392:1995) anwendbar sind, ist fragwürdig. Anstrengungen zur Verbesserung der Situation sind sowohl auf der Ebene der Normierung (Präzisierung vorhandener Normvorschriften, Einschränkung der Gültigkeit von Anforderungswerten, Zulassung von alternativen Methoden) als auch in der Weiterentwicklung der Prüfmethode zu unternehmen.

Die Druckscherprüfung unter einem Kraft- zur Faserwinkel von 14° stellt eine gute Alternative zur herkömmlichen Scherprüfung gemäss Prinzipskizze in der EN 392:1995 dar. Die beiden bis anhin hergestellten Prototypen einer solchen Prüfeinrichtung sind bereit, um für die Eigenüberwachung in den Betrieben eingesetzt zu werden und bieten gegenüber den herkömmlichen Geräten eine höhere Prozesssicherheit. Allerdings sind einzelne Verbesserungen (u. a. grösserer Hub, damit die Proben vollständig abgesichert werden können) wünschenswert. Unklar ist zu Zeit die Anwendbarkeit der Zielwerte der Anforderungsnorm EN 386:2001. Dies müsste an Hand weiterer Untersuchungen geprüft werden.

Für die Eigenüberwachung im Betrieb sind ausserdem folgende Punkte beachtenswert:

- Anwendung eines in der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau einheitlichen Prüfgerätes mit identischer konstruktiver Ausbildung und identischer Kraftaufbringung sowie –messung;
- Bestimmung der Holzfeuchte der Prüfkörper (erlaubter Bereich: 8% bis 13%);
- Regelmässige Wartung, Kontrolle und Kalibrierung der verwendeten Prüf- und Messgeräte;
- Messung der Kraft mit ausreichender Präzision (erlaubter Fehler:  $\pm 3\%$ );
- Verhindern von Öldruckspitzenwerten kurz vor dem Bruch durch Verwendung von servo-hydraulischen Systemen anstelle von Handpumpen;
- Bestimmung des Holzbruchanteils auch bei Scherfestigkeiten oberhalb von  $6 \text{ N/mm}^2$ , um eine wertvolle Zusatzinformation betreffend Verklebungsqualität zu erhalten.

## 7.4 Literatur zu Kapitel 7

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 (2003): EN 408: Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften.

## Anhang 1: Holzfeuchtemessungen Empa: Hauptserien

### A1.1 Prüfreihe „Empa – Herkömmliches Prüfgerät“

Probe	Feuchtmasse $m_u$ [g] 23.04.2008	Trockenmasse $m_o$ [g] 24.04.2008	Holzfeuchte $w$ [%]
G1AR/3	100.44	89.28	12.5
G2AR/5	85.27	76.19	11.9
G3AM/6	79.21	70.97	11.6
G4AR/7	88.05	79.15	11.2
E1AM/5	36.22	53.75	
E2AM/7	48.11	42.90	12.1
E1AR/9	49.33	44.03	12.0
E2AR/2	41.99	37.73	11.3
A1AR/7	85.12	76.63	11.1
A2AM/6	84.14	75.54	11.4
A3AR/9	104.79	93.63	11.9
A4AM/4	69.82	63.61	9.8
H1AR/5	99.07	88.48	12.0
H2AM/2	83.78	75.24	11.4
H3AR/1	100.47	89.61	12.1
H4AM/8	89.57	80.43	11.4
B1AR/5	91.81	82.32	11.5
B2AM/8	71.68	64.38	11.3
B3AM/10	88.93	79.67	11.6
B4AM/6	71.65	64.14	11.7
F1AM/6	79.97	71.85	11.3
F2AM/2	80.69	72.18	11.8
F3AR/1	78.05	70.14	11.3
F4AM/8	78.40	70.40	11.4
D1AM/2	88.08	78.31	12.5
D2AR/3	70.95	63.33	12.0
D3AR/3	73.87	66.27	11.5
D4AR/1	70.35	63.13	11.4
D5AR/1	81.82	72.79	12.4
D6AR/3	73.79	66.32	11.3
C1AR/1	90.78	81.57	11.3
C2AM/4	84.29	75.61	11.5
C3AM/2	78.19	70.44	11.0
C4AR/3	78.88	70.97	11.1
C5AR/1	94.27	84.22	11.9
C6AM/8	81.19	72.99	11.2
C7AM/2	82.87	74.67	11.0
C8AR/1	89.91	87.06	
Stichprobengrösse $n$			36
<b>Mittelwert</b>			<b>11.5</b>
Standardabweichung $s$			0.51
Variationskoeffizient $v$			4.5
Minimum			9.8
Maximum			12.5

Bedeutung des Proben-Codes:

1. Stelle: Hersteller-Code
2. Stelle: BSH-Träger-Nummer
3. Stelle: altes Prüfgerät
4. Stelle: Stangenentnahme  
Mitte (M), Rand (R)
5. Stelle: Nummer der Fuge

## A1.2 Prüfreihe „Empa – Neues Prüfgerät“

Probe	Feuchtmasse $m_u$ [g]	Trockenmasse $m_o$ [g]	Holzfeuchte $w$ [%]
A1N 5	35.28	31.54	11.9
A2N 2	34.97	31.16	12.2
A3N 7	36.76	32.71	12.4
A4N 4	36.21	32.54	11.3
B1N 9	40.31	35.94	12.2
B2N 4	29.93	26.65	12.3
B3N 2	37.29	33.21	12.3
B4N 8	34.10	30.19	13.0
C1N 5	37.03	33.11	11.8
C2N 7	36.90	32.89	12.2
C3N 1	37.33	33.29	12.1
C4N 8	35.00	31.29	11.9
C5N 5	33.89	30.18	12.3
C6N 6	34.45	30.81	11.8
C7N 2	33.01	29.44	12.1
C8N 4	32.10	28.73	11.7
D1N 4	37.23	32.98	12.9
D2N 2	27.34	24.31	12.5
D3N 7	34.51	30.53	13.0
D4N 2	33.37	29.83	11.9
D5N 3	35.23	31.1	13.3
D6N 1	39.14	34.97	11.9
E1N 6	31.77	28.23	12.5
E2N 8	35.55	31.53	12.7
F1N 8	35.41	31.55	12.2
F2N 3	32.50	28.98	12.1
F3N 5	26.33	23.54	11.9
F4N 9	31.42	28.05	12.0
G1N 6	31.28	27.78	12.6
G2N 1	34.31	30.42	12.8
G3N 3	35.38	31.48	12.4
G4N 9	31.80	28.27	12.5
H1N 1	34.94	31.16	12.1
H2N 10	31.63	28.09	12.6
H3N 3	34.61	30.68	12.8
H4N 7	31.85	28.33	12.4
Stichprobengröße $n$			36
<b>Mittelwert</b>			<b>12.3</b>
Standardabweichung $s$			0.42
Variationskoeffizient $v$			3.4
Minimum			11.3
Maximum			13.3

Bedeutung des Proben-Codes:

1. Stelle: Hersteller-Code
2. Stelle: BSH-Träger-Nummer
3. Stelle: neues Prüfgerät
4. Stelle: Nummer der Fuge

## Anhang 2: Holzfeuchtemessungen Empa: Vorversuche

### A2.1 Abmessungen / Rohdichten Prüfkörpergruppe hoher Rohdichte

Prüfling	Gewicht [g]	Höhe [mm]	Breite [mm]	Länge [mm]	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]
S1	44.37	40.01	50.09	50.21	441
S2	44.58	40.00	50.11	50.15	443
S3	44.63	40.06	50.09	50.15	444
S4	45.31	39.99	50.08	50.16	451
S5	47.37	40.00	50.1	50.13	472
S6	45.73	39.99	50.09	50.13	455
S7	45.58	40.02	50.11	50.14	453
S8	44.73	39.98	50.11	50.17	445
S9	44.66	40.00	50.11	50.14	444
S10	44.27	39.99	50.09	50.12	441
S11	44.98	40.02	50.11	50.15	447
S12	44.44	40.02	50.12	50.19	441
S13	44.45	40.01	50.11	50.14	442
S14	44.36	40.02	50.11	50.12	441
S15	44.6	40.01	50.10	50.13	444
S16	44.27	39.99	50.08	50.12	441
S17	44.41	39.95	50.10	50.11	443
S18	44.43	40.00	50.10	50.11	442
S19	44.57	39.96	50.03	49.99	446
S20	44.47	40.04	50.05	50.07	443
S21	44.39	40.01	50.12	50.14	441
S22	44.71	39.98	50.10	50.14	445
S23	44.04	40.00	50.11	50.14	438
S24	43.79	40.00	50.12	50.16	435
S25	43.98	39.98	50.11	50.16	438
S26	44.24	40.00	50.09	50.12	441
S27	44.59	40.04	50.12	50.13	443
S28	44.54	40.02	50.09	50.16	443
S29	43.86	40.00	50.09	50.15	437
S30	43.88	39.96	50.10	50.15	437
S31	43.94	39.97	50.10	50.14	438
S32	44.06	40.03	50.13	50.15	438
S33	43.50	39.98	50.11	50.16	433
S34	44.46	40.00	50.11	50.13	442
S35	44.28	39.99	50.10	50.16	441
S36	43.61	39.97	50.10	50.15	434
S37	43.56	39.97	50.10	50.14	434
S38	43.18	39.96	50.06	50.07	431
S39	42.93	39.97	50.06	50.07	429
S40	43.61	39.97	50.11	50.13	434
S41	45.62	39.99	50.09	50.11	454
S42	46.55	40.00	50.10	50.12	463
S43	44.12	40.02	50.08	50.13	439
S44	44.25	39.97	50.09	50.16	441
S45	44.64	40.00	50.08	50.13	445
Stichprobengröße $n$ [-]					45
Mittelwert $\bar{x}$ [kg/m <sup>3</sup> ]					443
Standardabweichung $s$ [kg/m <sup>3</sup> ]					7.84
Variationskoeffizient $v$ [%]					1.77
Minimum [kg/m <sup>3</sup> ]					429
Maximum [kg/m <sup>3</sup> ]					472

## A2.2 Abmessungen / Rohdichten Prüfkörpergruppe niedriger Rohdichte

Prüfling	Gewicht [g]	Höhe [mm]	Breite [mm]	Länge [mm]	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]
L1	36.10	39.98	50.16	50.21	359
L2	36.09	39.93	50.12	50.13	360
L3	36.00	39.99	50.09	50.13	359
L4	35.75	39.96	50.09	50.12	356
L5	35.65	40.03	50.11	50.16	354
L6	35.54	40.00	50.11	50.17	353
L7	35.84	40.00	50.11	50.17	356
L8	35.76	40.00	50.12	50.15	356
L9	35.59	39.99	50.12	50.17	354
L10	36.22	39.99	50.10	50.13	361
L11	35.87	39.97	50.09	50.15	357
L12	36.28	40.04	50.12	50.16	360
L13	36.15	39.99	50.12	50.18	359
L14	36.43	40.04	50.11	50.17	362
L15	36.04	40.02	50.11	50.17	358
L16	35.73	40.00	50.10	50.15	356
L17	36.16	40.08	50.10	50.16	359
L18	36.34	40.02	50.10	50.14	361
L19	36.20	40.01	50.07	50.08	361
L20	35.88	40.01	50.07	50.07	358
L21	36.17	39.96	50.10	50.13	360
L22	36.40	39.95	50.11	50.15	363
L23	36.61	39.96	50.11	50.16	364
L24	36.55	39.94	50.11	50.15	364
L25	36.75	39.97	50.10	50.19	366
L26	36.62	39.99	50.09	50.16	364
L27	36.72	40.03	50.07	50.16	365
L28	36.92	40.00	50.07	50.15	368
L29	37.56	40.04	50.08	50.15	374
L30	37.65	40.01	50.09	50.16	375
L31	37.46	40.01	50.08	50.48	370
L32	37.30	40.01	50.07	50.15	371
L33	37.42	40.01	50.09	50.15	372
L34	37.41	40.01	50.08	50.16	372
L35	36.96	39.99	50.09	50.15	368
L36	37.02	40.03	50.08	50.15	368
L37	36.92	40.05	50.09	50.16	367
L38	36.54	40.02	50.08	50.11	364
L39	36.61	40.03	50.09	50.12	364
L40	36.50	40.04	50.07	50.14	363
L41	36.25	40.04	50.08	50.16	360
L42	36.89	40.01	50.07	50.16	367
L43	36.07	40.02	50.07	50.16	359
L44	35.82	39.98	50.09	50.16	357
L45	35.74	39.99	50.06	50.14	356
Stichprobengröße $n$ [-]					45
Mittelwert $\bar{x}$ [kg/m <sup>3</sup> ]					362
Standardabweichung $s$ [kg/m <sup>3</sup> ]					5.62
Variationskoeffizient $v$ [%]					1.55
Minimum [kg/m <sup>3</sup> ]					353
Maximum [kg/m <sup>3</sup> ]					375