

Tragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln und Zwischenschichten

H.J. Blaß, B. Laskewitz

1 Einleitung

Die Bemessungsregeln nach Eurocode 5 [1] für Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln, die rechtwinklig zu ihrer Achse beansprucht werden, gelten unter der Annahme eines direkten Kontaktes zwischen den zu verbindenden Bauteilen. Eine Zwischenschicht oder ein Abstand zwischen den Bauteilen, die die Tragfähigkeit der Verbindung signifikant beeinflussen können, wird nicht berücksichtigt.

Im Holztafelbau werden zum Beispiel Balkenschuhe durch die Beplankung hindurch an Holzbauteilen befestigt, die im Innern der Tafelelemente angeordnet sind. In diesem Fall wirkt die Beplankung als Zwischenschicht zwischen dem Blech des Balkenschuhs und dem Holzbauteil im Tafelelement. Ein Anschlussdetail hierzu ist in **Bild 1** dargestellt.

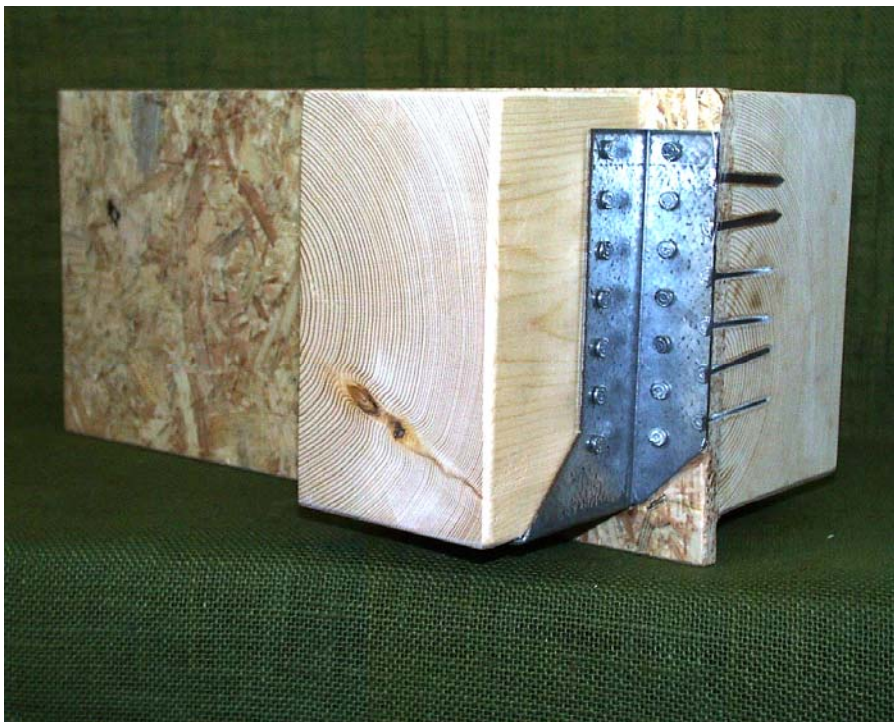


Bild 1: Anschlussdetail Balkenschuh

Die Tragfähigkeit von Holz-Holz- oder Stahlblech-Holz-Verbindungen mit Zwischenschichten kann in Anlehnung an die Theorie von Johansen [2], welche die Grundlage der Bemessungsregeln für stiftförmige Verbindungsmittel in Eurocode 5 [1] bildet, hergeleitet werden. Eine Bedingung hierfür ist die Kenntnis der Lochleibungsfestigkeit der verschiedenen Baustoffe und der Biegetragfähigkeit der Verbindungsmittel.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens, welches von der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. unterstützt wurde, wurde die Tragfähigkeit von einschnittigen Holz-Holz-

und Stahlblech-Holz-Verbindungen mit einer Zwischenschicht auf der Grundlage der Theorie nach Johansen [2] abgeleitet. Die derart gewonnenen theoretischen Werte wurden durch Versuche überprüft.

2 Theoretische Modelle

2.1 Allgemeines

Befindet sich eine Zwischenschicht – z. B. eine Holzwerkstoffplatte – zwischen zwei zu verbindenden Bauteilen, sind unterschiedliche Konfigurationen zu unterscheiden: verschiebbliche oder nicht verschiebbliche Zwischenschicht sowie dünne oder dicke Zwischenschicht. Als verschieblich gilt eine Zwischenschicht ohne eigene Verbindung mit einem der beiden Bauteile. Ist die Zwischenschicht an eines der beiden Bauteile z. B. mit Klammern oder durch Kleben kraftschlüssig angeschlossen, bevor die eigentliche Verbindung zwischen den beiden Bauteilen ausgeführt wird, wird sie als unverschieblich bezeichnet. Eine unverschiebbliche Zwischenschicht bildet zusammen mit dem Holz, an das sie angeschlossen ist, ein zusammengesetztes Bauteil mit in der Regel unterschiedlichen Werten der Lochleibungsfestigkeit. Schließt man an ein solches zusammengesetztes Bauteil ein anderes Bauteil an, wird zumindest ein Teil der angeschlossenen Kraft zunächst in die Zwischenschicht und dann über die eigene Verbindung zwischen Zwischenschicht und dahinter liegendem Holz in dieses Holz eingeleitet.

Betrachtet man den Fall der unverschiebblichen Zwischenschicht, sind abhängig von der Dicke der Zwischenschicht wiederum zwei Fälle zu unterscheiden: bei einer dünnen Zwischenschicht wird die Lochleibungsfestigkeit sowohl der Zwischenschicht als auch des dahinter liegenden Holzes erreicht. Ein Teil der anzuschließenden Kraft wird vom Verbindungsmittel in die Zwischenschicht, ein Teil in das dahinter liegende Holz eingeleitet. Für diese Fälle sind die Bemessungsgleichungen des Eurocode 5 [1] für Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln nicht anwendbar. Ein Beispiel einer solchen Stahlblech-Holz-Verbindung ist in **Bild 2** dargestellt. Ist die Zwischenschicht so dick, dass die Lochleibungsfestigkeit des dahinter liegenden Holzes nicht erreicht wird, kann die Verbindung mit den Gleichungen nach Eurocode 5 [1] bemessen werden. **Bild 3** zeigt für diesen Fall als Beispiel eine Verbindung zwischen Stahlblech und dem Holzwerkstoff der Zwischenschicht. Die gesamte anzuschließende Kraft wird zunächst in die Zwischenschicht eingeleitet, die Eigenschaften des dahinter liegenden Holzes beeinflussen in diesem Fall die Tragfähigkeit nicht. Die Unterscheidung zwischen dünner und dicker Zwischenschicht erfolgt über die Tragfähigkeit: der geringere Wert der Tragfähigkeit ist maßgebend.

Auch bei einer verschiebblichen Zwischenschicht, die nicht mit einem der beiden Bauteile verbunden ist, sind die beiden Fälle der dünnen bzw. dicken Zwischenschicht zu unterscheiden. Bei einer verschiebblichen, dünnen Zwischenschicht werden keine Kräfte in die Zwischenschicht selbst übertragen. Auch für diesen Fall gelten die Bemessungsgleichungen des Eurocode 5 [1] nicht. Je nach Versagensmechanismus bleibt in diesem Fall der Stift entweder rechtwinklig zur Scherfuge – in diesem Fall hat die Lochleibungsfestigkeit der Zwischenschicht keinen Einfluss – oder der Stift wird gegenüber seiner ursprünglichen Lage verdreht – dies bedeutet, dass ein Moment, nicht jedoch eine Kraft zwischen Stift und Zwischenschicht übertragen wird. Die Gleichungen zur Berechnung der charakteristischen Werte der Tragfähigkeit für diese Fälle sind im Abschnitt 2.2.1 bzw. 2.3.1 zusammengestellt.

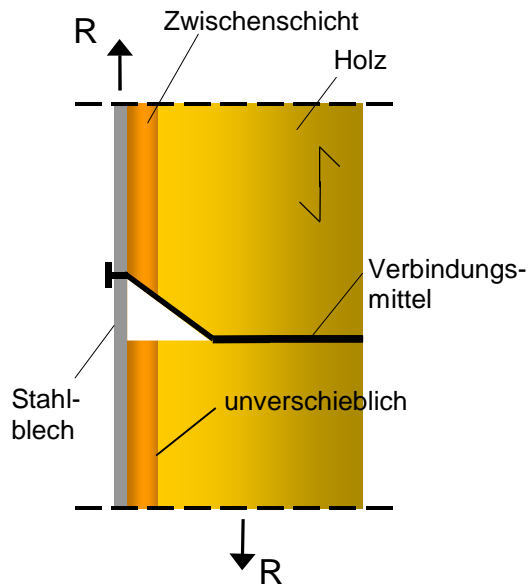


Bild 2: Möglicher Versagensmechanismus bei einer dünnen Zwischenschicht

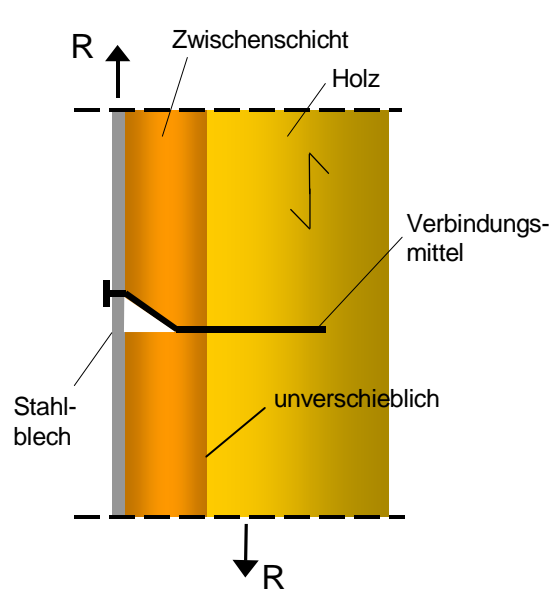


Bild 3: Möglicher Versagensmechanismus bei einer dicken Zwischenschicht

Eine verschiebliche, dicke Zwischenschicht ist dann vorhanden, wenn sich mindestens ein Fließgelenk in der verschieblichen Zwischenschicht ausbildet. Als Beispiel für diesen Fall ist in **Bild 4** eine Stahlblech-Holz-Verbindung mit einer verschieblichen Zwischenschicht aus einer Holzwerkstoffplatte dargestellt. Die Kraft R wird vom Stahlblech zunächst in die Zwischenschicht und dann von der Zwischenschicht in das Holz übertragen. In beiden Fugen Stahlblech-Holzwerkstoff sowie Holzwerkstoff-Holz ist damit die gesamte Kraft R zu übertragen. Welcher der beiden in **Bild 4** gezeigten Versagensmechanismen auftritt, hängt von der Tragfähigkeit der beiden hintereinander liegenden Fugen ab: in der Regel wird die Tragfähigkeit der Holzwerkstoff-Holz-Verbindung geringer sein als diejenige der Stahlblech-Holzwerkstoff-Verbindung.

Das Vorgehen bei der Berechnung der Tragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln und Zwischenschicht kann wie folgt zusammengefasst werden:

1. Unterscheidung zwischen verschieblicher und unverschieblicher Zwischenschicht. Bei einer unverschieblichen Zwischenschicht ist diese mit eigenen Verbindungsmitteln kraftschlüssig an eines der zu verbindenden Bauteile angeschlossen.
2. Im Fall der unverschieblichen Zwischenschicht ist die Tragfähigkeit der kleinere Wert aus den entsprechenden Gleichungen im Abschnitt 2.2.2 bzw. 2.3.2 (dünne Zwischenschicht) und der Tragfähigkeit der Verbindung zwischen anzuschließendem Bauteil und Zwischenschicht (dicke Zwischenschicht). Für den Fall der dicken Zwischenschicht gelten die Bemessungsgleichungen nach Johansen [2] in Eurocode 5 [1] oder dem Entwurf der DIN 1052 (Mai 2000) [3].
3. Bei einer verschieblichen Zwischenschicht folgt die Tragfähigkeit als kleinster Wert aus den entsprechenden Gleichungen im Abschnitt 2.2.1 bzw. 2.3.1 (dünne Zwischenschicht), der Tragfähigkeit zwischen Bauteil 1 und der Zwischenschicht sowie der Zwischenschicht und Bauteil 2. Für die beiden letztgenannten Fälle, die einer dicken Zwischenschicht entsprechen, gelten wiederum die Bemessungsgleichungen nach Johansen [2] in Eurocode 5 [1] oder dem Entwurf der DIN 1052 (Mai 2000) [3].

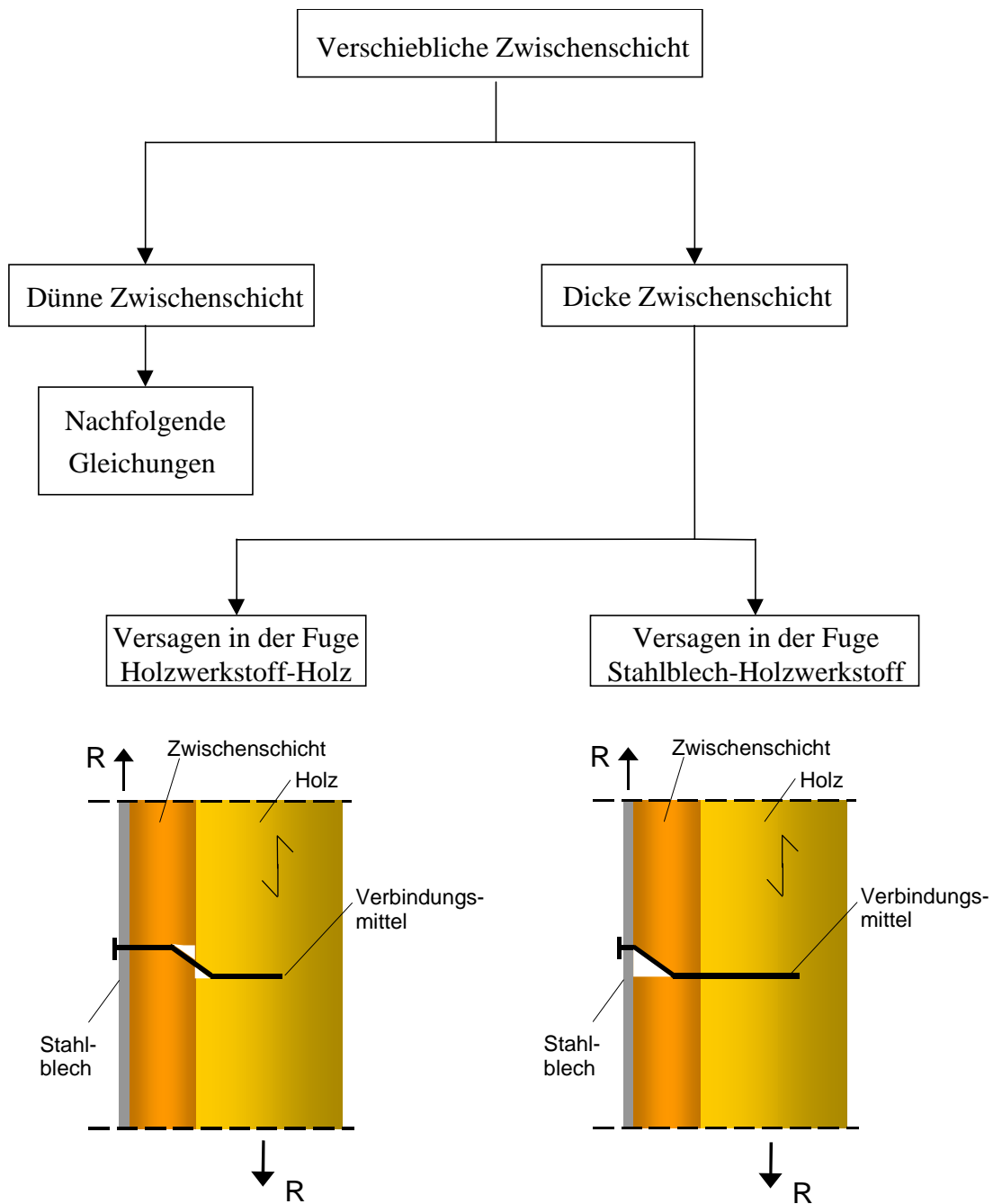


Bild 4: Bestimmung der Tragfähigkeit bei einer verschiebblichen Zwischenschicht

Für in der Praxis häufig vorkommende Stahlblech-Holz- oder Holz-Holz-Verbindungen mit Nägeln oder Schrauben in nicht vorgebohrten Löchern mit Zwischenschichten aus OSB-Platten, Flachpressplatten, Sperrholz oder harten Holzfaserverplatten und unverschiebblichen Zwischenschichten ist die Lochleibungsfestigkeit der Zwischenschicht bei Verbindungsmitteldurchmessern bis zu 6 mm größer als diejenige des Holzes bzw. Brett-schicht-holzes. Damit darf die Tragfähigkeit der Verbindung auf Abscheren wie die einer Verbindung ohne Zwischenschicht angenommen werden. Treten auch Beanspruchungen auf Herausziehen auf, darf nur die profilierte Schaftlänge im Holz hinter der Zwischenschicht in Rechnung gestellt werden. Voraussetzung ist der kraftschlüssige Anschluss der Zwischenschicht an das dahinter liegende Holz. Diese Verbindung sollte vereinfacht für die gesamte in der Verbindung zu übertragende Kraft bemessen werden.

Im folgenden Abschnitt 2.2 sind die Tragfähigkeiten R von einschnittigen Holz-Holz- und Stahlblech-Holz-Verbindungen mit verschieblicher sowie unverschieblicher, jeweils dünner Zwischenschicht angegeben. Die Ausdrücke für eine unverschiebliche Zwischenschicht gelten für eine geklebte, starre ebenso wie für eine nachgiebige Verbindung zwischen Zwischenschicht und dahinter liegendem Holz.

Es gelten die Substitutionen $\beta = \frac{f_{h,2}}{f_{h,1}}$ und $\delta = \frac{f_{h,zw}}{f_{h,1}}$ sowie $b_1 = \beta \cdot b_2$ bzw. $b_1 = \beta \cdot b_2 - \delta \cdot t_{zw}$.

2.2 Theoretische Modelle für einschnittige Holz-Holz-Verbindungen mit dünner Zwischenschicht

2.2.1 Verschiebliche Zwischenschicht

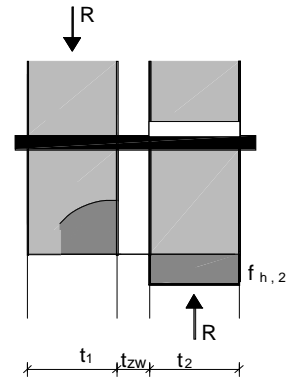
Tabelle 1: Tragfähigkeit R von Verbindungen zwischen Bauteilen aus Holz oder Holzwerkstoffen (der kleinste Wert ist maßgebend)

<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in beiden Bauteilen sowie in der Zwischenschicht</p> $R = f_{h,1} \cdot d \cdot \frac{\beta}{1 + \beta} \cdot \left(-2t_{zw} - t_1 - t_2 + \sqrt{(4 + \delta + \frac{\delta}{\beta}) \cdot t_{zw}^2 + (2 + \frac{1}{\beta})t_1^2 + (2 + \beta)t_2^2 + 4t_{zw}t_1 + 4t_{zw}t_2 + 2t_1t_2} \right) \quad (1)$ <p>$\gamma_M = 1,3$</p>	
<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in Bauteil 1</p> $R = f_{h,1} \cdot d \cdot t_1 \quad (2)$ <p>$\gamma_M = 1,3$</p>	

Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in Bauteil 2

$$R = f_{h,2} \cdot d \cdot t_2 \quad (3)$$

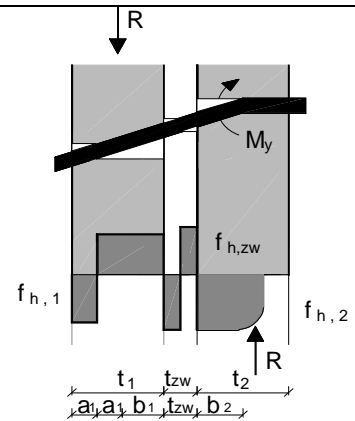
$$\gamma_M = 1,3$$



Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in beiden Bauteilen sowie in der Zwischenschicht und Ausbildung eines Fließgelenkes in Bauteil 2

$$R = f_{h,1} \cdot d \cdot \frac{2\beta}{2+\beta} \left(-t_{zw} - \frac{t_1}{2} + \sqrt{t_{zw}^2 + t_{zw}t_1 + \frac{t_1^2}{2}} \right) + \delta \cdot \frac{t_{zw}^2}{2\beta} + \frac{t_1^2}{2\beta} + \frac{2M_y}{f_{h,1}\beta d} + \delta \cdot \frac{t_{zw}^2}{4} + \frac{M_y}{f_{h,1}d} \quad (4)$$

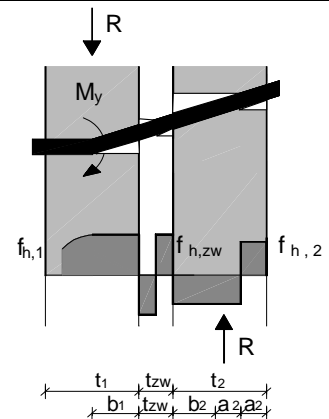
$$\gamma_M = 1,2$$



Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in beiden Bauteilen sowie in der Zwischenschicht und Ausbildung eines Fließgelenkes in Bauteil 1

$$R = f_{h,1} \cdot d \cdot \frac{\beta}{\frac{1}{2} + \beta} \left(-t_{zw} - \frac{t_2}{2} + \sqrt{\left(1 + \frac{\delta}{4\beta} + \frac{\delta}{2}\right) t_{zw}^2} \right) + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\beta \right) t_2^2 + t_{zw}t_2 + \frac{M_y}{f_{h,1}d\beta} + \frac{2M_y}{f_{h,1}d} \quad (5)$$

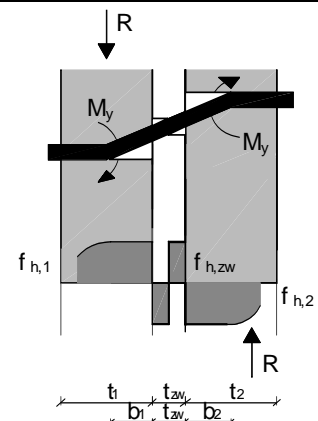
$$\gamma_M = 1,2$$



Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in beiden Bauteilen sowie in der Zwischenschicht und Ausbildung von Fließgelenken in beiden Bauteilen

$$R = f_{h,1} \cdot d \cdot \frac{1}{1+\beta} \left(-\beta t_{zw} + \sqrt{\beta^2 t_{zw}^2} \right) + 4\beta(\beta+1) \cdot \frac{M_y}{f_{h,1}d} + \frac{\beta(\beta+1)}{2} \delta t_{zw}^2 \quad (6)$$

$$\gamma_M = 1,1$$



2.2.2 Unverschiebliche Zwischenschicht

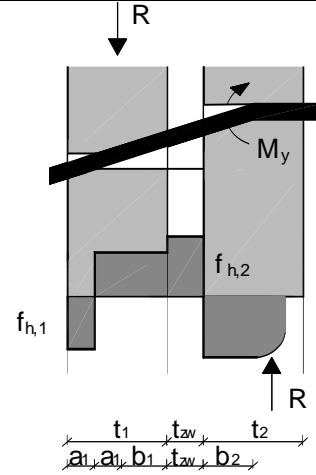
Tabelle 2: Tragfähigkeit R von Verbindungen zwischen Bauteilen aus Holz oder Holzwerkstoffen (der kleinste Wert ist maßgebend)

<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in beiden Bauteilen sowie in der Zwischenschicht</p> $R = f_{h,1} \cdot d \cdot \left(\frac{\beta}{\beta+1} \left(-t_{zw} \left(\frac{\delta}{\beta} + 2 \right) - t_1 - t_2 \right) + \sqrt{\frac{1}{\beta} \cdot \left(2t_{zw}^2 \left(\delta - \frac{\delta^2}{2} + 2\beta - \delta\beta \right) + t_1^2 (2\beta+1) + \beta t_2^2 (2+\beta) + 2t_1 t_2 \beta + 2t_{zw} t_1 (\delta + 2\beta) + 2\beta t_{zw} t_2 (2-\delta) \right)} \right) + f_{h,zw} \cdot t_{zw} \cdot d$ (7) <p>$\gamma_M = 1,3$</p>	
<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in Bauteil 1 sowie in der Zwischenschicht</p> $R = f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,zw} \cdot t_{zw} \cdot d$ (8) <p>$\gamma_M = 1,3$</p>	
<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in Bauteil 2</p> $R = f_{h,2} \cdot t_2 \cdot d$ (9) <p>$\gamma_M = 1,3$</p>	

Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in beiden Bauteilen sowie in der Zwischenschicht und Ausbildung eines Fließgelenkes in Bauteil 2

$$R = f_{h,1} \cdot d \cdot \left(\frac{\beta}{\beta+2} (t_{zw} (\delta-2) - t_1 + \sqrt{t_{zw}^2 \left(4 - 2\delta + 4 \frac{\delta}{\beta} - 2 \frac{\delta^2}{\beta} \right) + t_1^2 \left(2 + \frac{2}{\beta} \right)} + t_{zw} t_1 \left(4 + 4 \frac{\delta}{\beta} + \frac{4M_y}{f_{h,1}d} \left(\frac{2}{\beta} + 1 \right) \right) - \delta t_{zw} \right) + f_{h,zw} \cdot t_{zw} \cdot d \quad (10)$$

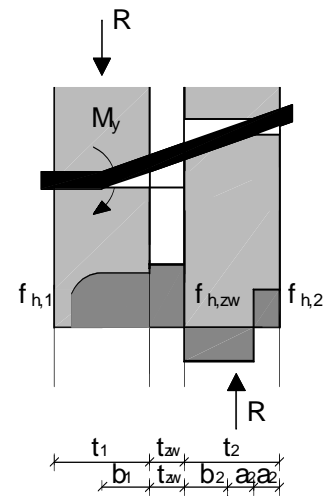
$$\gamma_M = 1,2$$



Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in beiden Bauteilen sowie in der Zwischenschicht und Ausbildung eines Fließgelenkes in Bauteil 1

$$R = f_{h,1} \cdot d \cdot \left(\frac{\beta}{2\beta+1} (t_{zw} (2\delta-2) - t_2 + \sqrt{t_{zw}^2 \left(4 - 4\delta - \frac{2\delta^2}{\beta} + \frac{2\delta}{\beta} \right) + t_2^2 (2 + 2\beta)} + t_{zw} t_2 (4 - 4\delta) + \frac{4M_y}{f_{h,1}d} \left(2 + \frac{1}{\beta} \right) \right) - \delta t_{zw} \right) + f_{h,zw} \cdot t_{zw} \cdot d \quad (11)$$

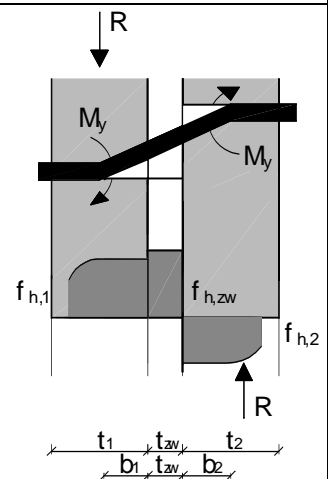
$$\gamma_M = 1,2$$



Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in beiden Bauteilen sowie der Zwischenschicht und Ausbildung eines Fließgelenkes in beiden Bauteilen

$$R = f_{h,1} \cdot d \cdot \left(\frac{\beta}{\beta+1} (t_{zw} (\delta-1) + \sqrt{t_{zw}^2 \left(1 - \delta + \frac{\delta}{\beta} - \frac{\delta^2}{\beta} \right) + \frac{4M_y}{f_{h,1}d} \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)} - \delta t_{zw} \right) + f_{h,zw} \cdot t_{zw} \cdot d \quad (12)$$

$$\gamma_M = 1,1$$



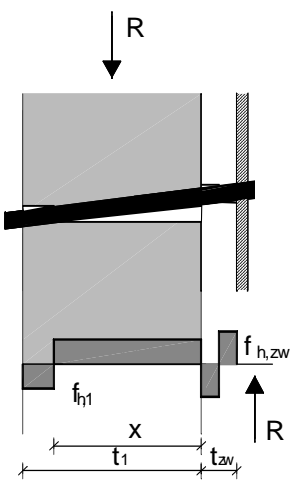
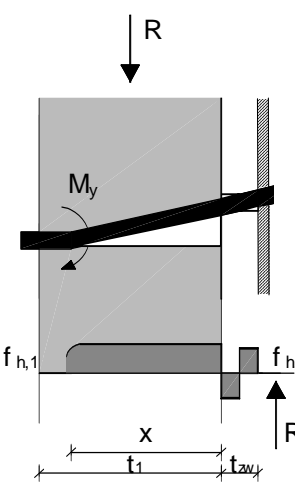
2.3 Theoretische Modelle für einschnittige Stahlblech-Holz-Verbindungen mit dünner Zwischenschicht

2.3.1 Verschiebliche Zwischenschicht

Tabelle 3: Tragfähigkeit R von Stahlblech-Holz- bzw. Stahlblech-Holzwerkstoff-Verbindungen für dicke Stahlbleche (der kleinste Wert ist maßgebend)

<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit im Bauteil 1</p> $R = f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d \quad (13)$ <p>$\gamma_M = 1,3$</p>	
<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit im Bauteil 1 sowie in der Zwischenschicht und Ausbildung eines Fließgelenkes in der Fuge Stahlblech/Zwischenschicht</p> $R = 2 \cdot f_{h,1} \cdot d \cdot \left(-t_{zw} + \sqrt{t_{zw}^2 + \frac{M_y}{f_{h,1}d} + \frac{\delta t_{zw}^2}{4} + t_1 t_{zw} + \frac{t_1^2}{2}} \right) - f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d \quad (14)$ <p>$\gamma_M = 1,2$</p>	
<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit im Bauteil 1 sowie in der Zwischenschicht und Ausbildung von Fließgelenken in der Fuge Stahlblech/Zwischenschicht und im Bauteil 1</p> $R = f_{h,1} \cdot d \cdot \left(-t_{zw} + \sqrt{t_{zw}^2 + \frac{4M_y}{f_{h,1}d} + \frac{\delta t_{zw}^2}{2}} \right) \quad (15)$ <p>$\gamma_M = 1,1$</p>	

Tabelle 4: Tragfähigkeit R von Stahlblech-Holz- bzw. Stahlblech-Holzwerkstoff-Verbindungen für dünne Stahlbleche (der kleinste Wert ist maßgebend)

<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit im Bauteil 1 sowie in der Zwischenschicht</p> $R = 2 \cdot f_{h,1} \cdot d \cdot \left(-t_{zw} + \sqrt{t_{zw}^2 + \frac{\delta t_{zw}^2}{4} + t_1 t_{zw} + \frac{t_1^2}{2}} \right) - f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d \quad (16)$ <p>$\gamma_M = 1,3$</p>	
<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit im Bauteil 1 sowie in der Zwischenschicht und Ausbildung eines Fließgelenkes im Bauteil 1</p> $R = f_{h,1} \cdot d \cdot \left(-t_{zw} + \sqrt{t_{zw}^2 + \frac{2M_y}{f_{h,1}d} + \frac{\delta t_{zw}^2}{2}} \right) \quad (17)$ <p>$\gamma_M = 1,1$</p>	

Ein Fließgelenk in der Fuge Stahlblech/Zwischenschicht kann im Fall des dünnen Stahlbleches nicht auftreten, da sich das Verbindungsmittel im Stahlblech frei verdrehen kann.

2.3.2 Unverschiebliche Zwischenschicht

Tabelle 5: Tragfähigkeit R von Stahlblech-Holz- bzw. Stahlblech-Holzwerkstoff-Verbindungen für dicke Stahlbleche (der kleinste Wert ist maßgebend)

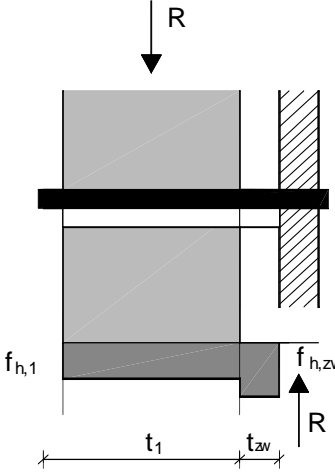
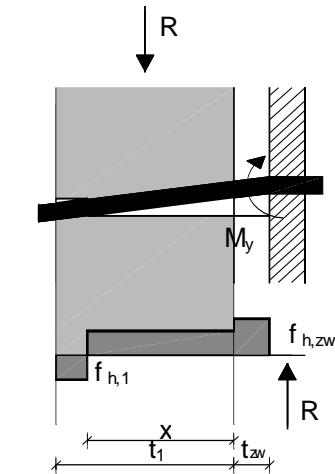
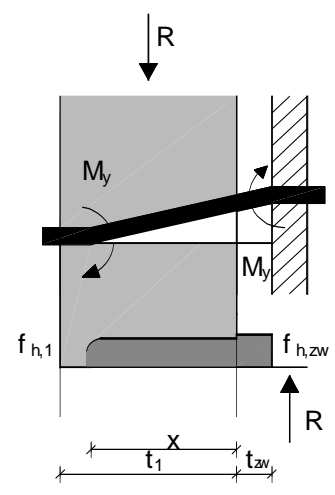
<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit im Bauteil 1 sowie in der Zwischenschicht</p> $R = f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,zw} \cdot t_{zw} \cdot d \quad (18)$ <p>$\gamma_M = 1,3$</p>	
<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit im Bauteil 1 sowie in der Zwischenschicht und Ausbildung eines Fließgelenkes in der Fuge Stahlblech/Zwischenschicht</p> $R = 2 \cdot f_{h,1} \cdot d \cdot \left(-t_{zw} + \sqrt{t_{zw}^2 + \frac{M_y}{f_{h,1}d} - \frac{\delta t_{zw}^2}{2} + t_1 t_{zw} + \frac{t_1^2}{2}} \right) - f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,zw} \cdot t_{zw} \cdot d \quad (19)$ <p>$\gamma_M = 1,2$</p>	
<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit im Bauteil 1 sowie in der Zwischenschicht und Ausbildung von Fließgelenken in der Fuge Stahlblech/Zwischenschicht und im Bauteil 1</p> $R = f_{h,1} \cdot d \cdot \left(-t_{zw} + \sqrt{t_{zw}^2 + \frac{4M_y}{f_{h,1}d} - \delta t_{zw}^2} \right) + f_{h,zw} \cdot t_{zw} \cdot d \quad (20)$ <p>$\gamma_M = 1,1$</p>	

Tabelle 6: Tragfähigkeit R von Stahlblech-Holz- bzw. Stahlblech-Holzwerkstoff-Verbindungen für dünne Stahlbleche (der kleinste Wert ist maßgebend)

<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit im Bauteil 1 sowie in der Zwischenschicht</p> $R = 2 \cdot f_{h,1} \cdot d \cdot \left(-t_{zw} + \sqrt{t_{zw}^2 - \frac{\delta t_{zw}^2}{2} + t_1 t_{zw} + \frac{t_1^2}{2}} \right) - f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,zw} \cdot t_{zw} \cdot d \quad (21)$ <p>$\gamma_M = 1,3$</p>	
<p>Erreichen der Lochleibungsfestigkeit im Bauteil 1 sowie in der Zwischenschicht und Ausbildung eines Fließgelenkes im Bauteil 1</p> $R = f_{h,1} \cdot d \cdot \left(-t_{zw} + \sqrt{t_{zw}^2 + \frac{2M_y}{f_{h,1} \cdot d} - \delta t_{zw}^2} \right) + f_{h,zw} \cdot t_{zw} \cdot d \quad (22)$ <p>$\gamma_M = 1,1$</p>	

3 Experimentelle Untersuchungen

3.1 Scherversuche mit Holz-Holz-Verbindungen

Um die theoretisch abgeleiteten Werte der Tragfähigkeit zu überprüfen, wurde das Trag- und Verformungsverhalten einschneittiger Holz-Holz-Verbindungen mit Zwischenschicht durch Versuche ermittelt. Die Zwischenschicht bestand aus einer 12 mm dicken OSB-Platte und wurde an eines der beiden Hölzer – den Ständer – mittels Klammern befestigt. Randholz und Ständer wurden dann entweder mit glattschaftigen Nägeln oder mit Rillennägeln durch die OSB-Platte hindurch miteinander verbunden. **Bild 5** zeigt den Versuchsaufbau und **Tabelle 7** das Versuchsprogramm. Während der Versuche wurden die Kraft und die Relativverschiebung zwischen Randholz und Ständer gemessen.

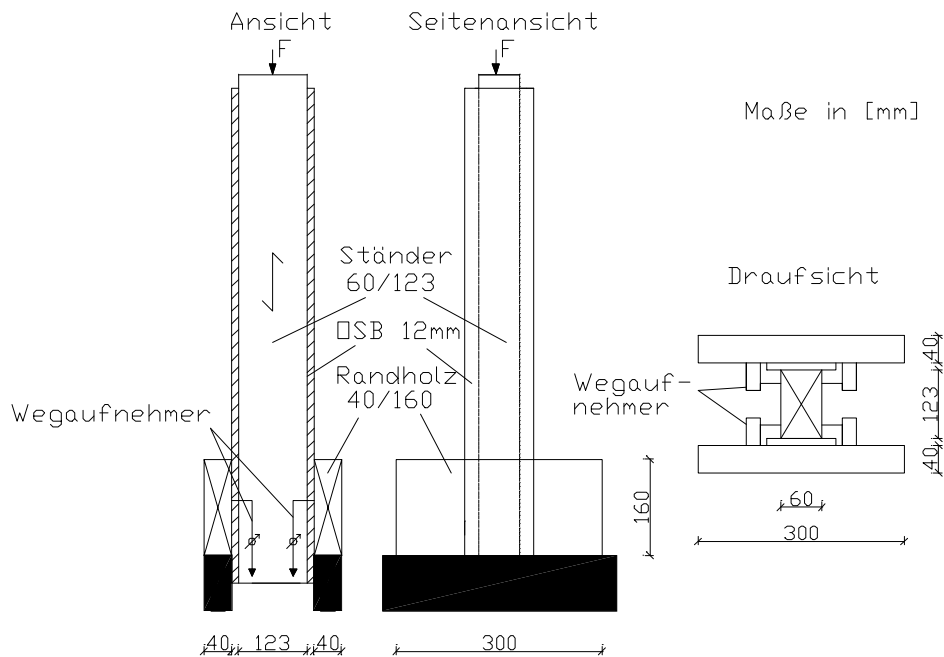


Bild 5: Versuchsaufbau der einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen

Tabelle 7: Versuchsprogramm einschnittige Holz-Holz-Verbindungen

Reihe	Holz-Holz-Verbindung	Verbindung OSB-Holzständer	Anzahl
A1	2x14 glattschaftige Nägel 3,8x100 mm vorgebohrt	2x20 Klammern 1,88x44 mm	3
A2	2x14 Rillennägel 4,0x100 mm vorgebohrt	2x20 Klammern 1,88x44 mm	3

Alle Prüfkörper zeigten ein ähnliches Verhalten. Die Nägel wurden auf Abscheren beansprucht. In den Nägeln bildeten sich bei zunehmender Verschiebung jeweils zwei Fließgelenke aus und die Lochleibungsfestigkeit beider Hölzer sowie der OSB-Platte wurde erreicht. Die Klammern wurden ebenfalls plastisch verformt. Die relative Verschiebung zwischen der OSB-Platte und dem Ständer war im Vergleich zur Gesamtverschiebung gering. Den Erwartungen entsprechend zeigten die Versuche mit Rillennägeln infolge des ausgeprägten Einhängeeffekts der Verbindungsmittel eine höhere Tragfähigkeit. Die Höchstlasten sind in **Tabelle 9** zusammengefasst. Ein typisches Last-Verschiebungsdiagramm ist in **Bild 6** dargestellt. **Bild 7** zeigt einen geöffneten Versuchskörper.

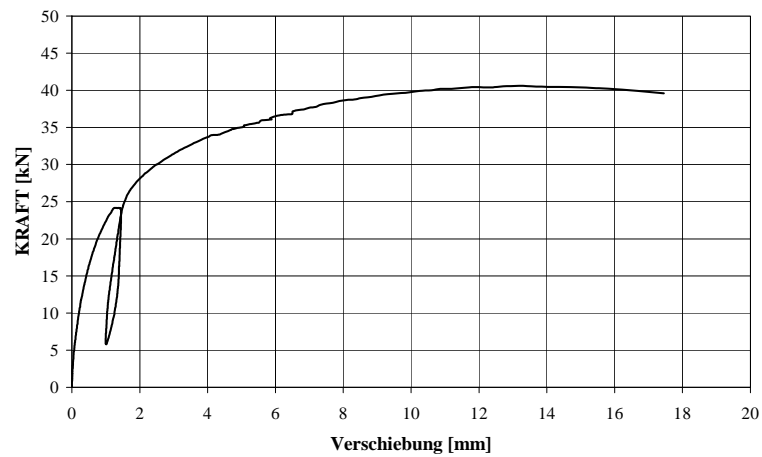


Bild 6: Last-Verschiebungsdiagramm eines Prüfkörpers mit glattschaftigen Nägeln (Versuchsreihe A1)



Bild 7: Geöffneter Versuchskörper

3.2 Scherversuche mit Stahlblech-Holz-Verbindungen

Die 12 mm dicken OSB-Platten wurden auf dem Ständer entweder nachgiebig mit Hilfe von Klammern oder starr mittels Kleber (Polyurethan) befestigt. Bei jedem Versuchskörper wurden zwei Lochbleche mit Rillennägeln durch die OSB-Platte hindurch auf dem Ständer befestigt. **Bild 8** zeigt den Versuchsaufbau und **Tabelle 8** eine Zusammenstellung der Versuche. Während der Versuche wurden die Kraft und die Relativverschiebungen zwischen Stahlblech und Ständer gemessen.

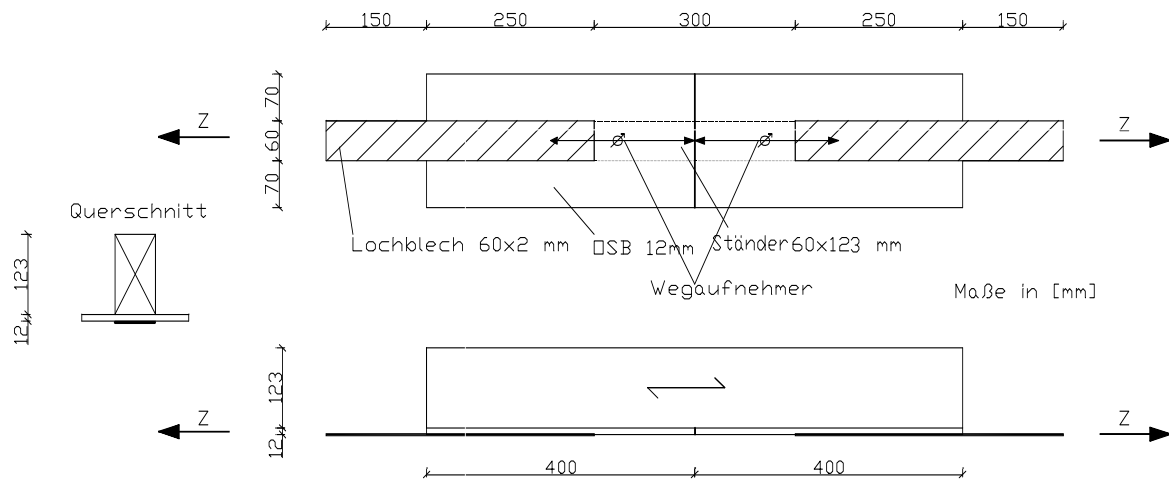


Bild 8: Versuchsaufbau der Scherversuche

Tabelle 8: Versuchsprogramm einschnittige Stahlblech-Holz-Verbindungen

Reihe	Stahlblech-Holz-Verbindung	OSB-Holz-Verbindung	Anzahl
B1	2x12 Rillennägel 4,0x50 mm nicht vorgebohrt	2x15 Klammern 1,88x44 mm	3
B2	2x12 Rillennägel 4,0x50 mm nicht vorgebohrt	Polyurethan-Kleber	3

Die Versagensmechanismen der beiden Versuchsreihen waren unterschiedlich. Diejenigen Versuche, bei denen die OSB-Platte und der Ständer mittels Klammern verbunden waren, zeigten große Verformungen mit Ausbildung von zwei Fließgelenken je Nagel. Die Nagelköpfe waren im Stahlblech nahezu fest eingespannt. In jedem Klammerschaft bildete sich meist nur ein Fließgelenk (siehe **Bild 9**). Die Versuche mit aufgeklebten OSB-Platten zeigten nach plastischen Verformungen ein sprödes Versagensverhalten. In den Nägeln war ein Fließgelenk vollständig ausgebildet, ein zweites Fließgelenk war in der unmittelbaren Nähe zum Stahlblech andeutungsweise erkennbar. Diese Prüfkörper versagten schließlich durch Erreichen der Schubfestigkeit der OSB-Platte. Trotz unterschiedlicher Steifigkeiten der Prüfkörper unterschieden sich die Tragfähigkeiten der beiden Versuchsreihen kaum.

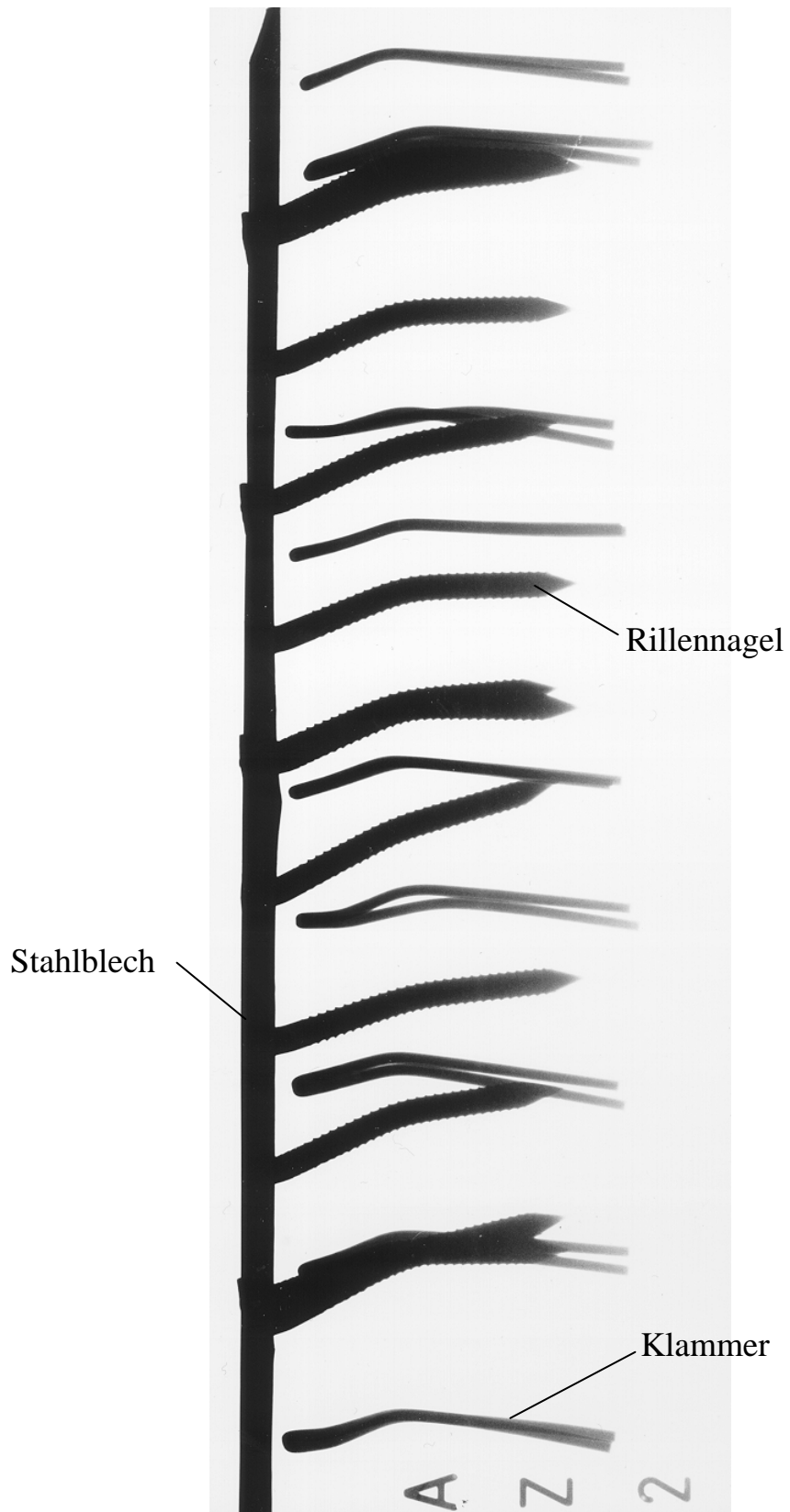


Bild 9: Röntgenaufnahme eines Versuches der Reihe B1

3.3 Zusätzliche Versuche

Zum Vergleich der Versuchsergebnisse mit theoretisch bestimmten Werten der Tragfähigkeit wurden die Fließmomente der verwendeten Verbindungsmittel nach DIN EN 409 [4] bestimmt. Der Mittelwert des Fließmomentes beträgt für die glattschaftigen Nägel 7,4 Nm, für die Rillennägel mit einer Länge von 100 mm 7,1 Nm und für die 50 mm langen Rillennägel 8,1 Nm.

Die Lochleibungsfestigkeit der OSB-Platten wurde nach DIN EN 383 [5] bestimmt. Es wurden Versuche mit unterschiedlicher Orientierung der äußeren Späne zur Krafrichtung durchgeführt. Der Durchmesser der in den Versuchen verwendeten glattschaftigen Nägel betrug 3,8 mm. Die vorgebohrten Löcher hatten einen Durchmesser von 3,4 mm. Der Mittelwert der Lochleibungsfestigkeit betrug parallel zu den äußeren Spänen 37,7 N/mm² und rechtwinklig zu den äußeren Spänen 45,6 N/mm².

4 Überprüfung der theoretischen Modelle

Die Versuchsergebnisse wurden mit den theoretischen Werten der Tragfähigkeit aus Abschnitt 2.2 und 2.3 verglichen. Dabei wurden der Mittelwert der Lochleibungsfestigkeit der OSB-Platten und die Mittelwerte der Fließmomente der Verbindungsmittel entsprechend der Nagellänge (vgl. Abschnitt 3.3) zu Grunde gelegt. Zur Ermittlung der Lochleibungsfestigkeiten der Hölzer wurden die entsprechenden Gleichungen aus dem Entwurf zur DIN 1052 [3] herangezogen. In diese Gleichungen wurden die Rohdichten der Versuchskörper eingesetzt.

Bei den Holz-Holz-Verbindungen wurden im Versagenszustand stets zwei Fließgelenke in jedem Nagel beobachtet. Eines trat im Randholz, das zweite in der OSB-Zwischenschicht auf. Das bedeutet, dass die Kräfte zunächst vollständig in die OSB-Platten und von dort über die Klammern in die Ständer eingeleitet wurden. Damit war aber auch nachgewiesen, dass bei den Versuchen weder die theoretischen Tragfähigkeiten für eine verschiebliche Zwischenschicht nach Abschnitt 2.2.1 noch für eine unverschiebliche Zwischenschicht nach Abschnitt 2.2.2 eingetreten waren. Die Gleichungen (6) und (12) gelten nur dann, wenn die Ausbildung eines Fließgelenkes im Randholz und im Ständer erfolgt.

Die Tragfähigkeiten aus den Versuchen der Reihe A1 lassen sich daher mit dem Modell einer einschnittigen Holz-Holzwerkstoff-Verbindung, wie mit der Gleichung (V.6) des Entwurfes zur DIN 1052 [3] angeben, beschreiben.

Bei den Versuchen der Reihe A2 ergibt die theoretische Rechnung mit den errechneten Lochleibungsfestigkeiten und $d = 4 \text{ mm}$ nahezu den gleichen Wert, jedoch lässt sich der in den Versuchen deutlich erkennbare Einhängeeffekt der Rillennägel entsprechend den Vorschlägen für die neue DIN 1052 rechnerisch mit einem zusätzlichen Anteil von

$$\Delta R = \min (0,5 \cdot R ; 0,25 \cdot R_{ax})$$

$$\text{mit } R_{ax} = \min \begin{cases} f_1 \cdot l \cdot d \\ f_2 \cdot d_k^2 \end{cases}$$

erfassen. Der Ausziehparameter f_1 der Rillennägel war bei diesen Versuchen zwar nicht bekannt, lässt sich nach Vorschlägen zur DIN 1052 jedoch konservativ mit

$$f_1 = 50 \cdot 10^{-6} \cdot \rho^2$$

abschätzen. Der Kopfdurchziehparameter f_2 wurde entsprechend der E DIN 1052 [3] zu

$$f_2 = 130 \cdot 10^{-6} \cdot \rho^2$$

angenommen. Die Parameter f_1 und f_2 wurden mit den Rohdichten der Versuchskörper berechnet. Der Nagelkopfdurchmesser betrug $d_k = 8$ mm. Da in Reihe A2 Sondernägel in vorgebohrten Nagellöchern verwendet wurden, darf die Tragfähigkeit R_{ax} nur mit 70% in Ansatz gebracht werden. Bei der Bestimmung der Einschlagtiefe l wurde die Dicke der Holzwerkstoffplatte nicht berücksichtigt.

Mit der Lochleibungsfestigkeit der OSB-Zwischenschichten von $37,7$ N/mm² nach Abschnitt 3.3 und der Lochleibungsfestigkeit der Randhölzer nach Gleichung (10.22b) der E DIN 1052 [3] für Nägel in vorgebohrten Löchern sowie den Fließmomenten von $7,4$ Nm für die glattschaftigen Nägel der Versuchsreihe A1 sowie von $7,1$ Nm für die Rillennägel der Versuchsreihe A2 ergeben sich nach E DIN 1052 [3] dann die theoretischen Tragfähigkeiten wie in **Tabelle 9** angegeben. Die errechneten Tragfähigkeiten der Reihe A1 stimmen sehr gut mit den Versuchsergebnissen überein. Die Werte der Reihe A2, bei denen der Einhängeneffekt berücksichtigt wurde, liegen immer noch deutlich unter den Versuchswerten und bestätigen, dass ein Einhängeneffekt bei Sondernägeln die Tragfähigkeit signifikant erhöht.

Für die Stahlblech-Holz-Verbindungen wurden die Gleichungen (15) und (20) angewendet. Obwohl ein geometrisch "dünnere" Stahlblech verwendet wurde, stellte sich eine Einspannung der Nägel im Stahlblech ein, was zu zwei Fließgelenken je Scherfuge führte. Daher wurden die Gleichungen für dicke Stahlbleche zugrunde gelegt.

Ebenso wie in der Versuchsreihe A2 wurde der Einhängeneffekt bei der Ermittlung der theoretischen Tragfähigkeiten berücksichtigt. Allerdings wurde der Kopfdurchziehungswiderstand nicht ermittelt, da es sich um Stahlblech-Holz-Verbindungen handelte. Eine Abminderung der Tragfähigkeit R_{ax} wurde nicht in Ansatz gebracht, da die Nagellöcher nicht vorgebohrt waren.

Mit der Lochleibungsfestigkeit der OSB-Zwischenschicht von $37,7$ N/mm² nach Abschnitt 3.3 und der Lochleibungsfestigkeit der Ständer nach Gleichung (10.22a) der E DIN 1052 [3] für Nägel in nicht vorgebohrten Löchern sowie dem Fließmoment von $8,1$ Nm ergeben sich nach den Gleichungen (15) und (20) und der E DIN 1052 [3] die theoretischen Tragfähigkeiten wie in **Tabelle 9** angegeben.

Die theoretischen Werte der Tragfähigkeit für eine unverschiebliche Zwischenschicht liegen deutlich näher an den Versuchsergebnissen als die Werte für das Modell mit verschieblicher Zwischenschicht. Bei der Versuchsreihe B2 ist dieses Ergebnis nicht überraschend, da die Zwischenschicht auf den Ständer geklebt wurde. Die Verschiebung in der Klammerverbindung Zwischenschicht-Ständer der Reihe B1 hat die Tragfähigkeit im Vergleich mit der geklebten Verbindung offensichtlich nicht beeinträchtigt. Insbesondere die Berücksichtigung des Einhängeneffektes führte zu sehr gut übereinstimmenden theoretischen Ergebnissen bei der Annahme einer unverschieblichen Zwischenschicht.

Tabelle 9: Vergleich der Tragfähigkeit je Scherfuge aus dem Versuch mit dem theoretischen Wert der Tragfähigkeit

Art der Verbindung	Versuch	Traglast je Scherfuge aus Versuch [kN]	Theoretische Tragfähigkeit bei verschieblicher Zwischenschicht [kN]	Theoretische Tragfähigkeit ohne (A) bzw. mit unverschieblicher (B) Zwischenschicht [kN]
Holz-Holz	A1-1	20,3	-	20,0
	A1-2	23,3	-	20,3
	A1-3	20,0	-	19,7
	A2-1	34,0	-	26,0
	A2-2	33,0	-	24,4
	A2-3	34,6	-	24,8
Stahlblech-Holz	B1-1	32,7	21,3	32,8
	B1-2	33,7	21,8	33,2
	B1-3	32,2	17,3	29,7
	B2-1	32,4	21,4	32,9
	B2-2	34,4	20,7	32,4
	B2-3	34,8	20,8	32,4

5 Schlußfolgerungen

Wegen fehlender Kenntnisse über die Tragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln, bei denen zwischen den zu verbindenden Bauteilen eine Holzwerkstoffplatte angeordnet ist, wurden theoretische Werte der Tragfähigkeit auf der Grundlage der Theorie von Johansen [2] abgeleitet und durch Versuche überprüft. In der Herleitung der theoretischen Modelle wurden zwei Fälle unterschieden: verschiebliche und unverschiebliche Zwischenschicht. Für das Modell mit einer unverschieblichen Zwischenschicht wurden sowohl Versuche mit starrer als auch mit nachgiebiger Verbindung durchgeführt.

Die Verschiebung zwischen dem Holz und der damit verbundenen Zwischenschicht hat die Tragfähigkeit der Verbindungen nicht beeinflusst. Diese Aussage ist dann richtig, wenn die Verbindung zwischen der Zwischenschicht und dem Holz die in die Holzwerkstoffplatte eingeleitete Last übertragen kann. Konservativ sollte die Verbindung zwischen der Holzwerkstoffplatte und dem dahinter liegenden Holz für die gesamte von der eigentlichen Verbindung zwischen den beiden Hölzern zu übertragenden Kraft bemessen werden. In diesem Fall kann das theoretische Modell basierend auf einer unverschieblichen Zwischenschicht für die Berechnung der Tragfähigkeit der Verbindungen angewendet werden. In anderen Fällen sollte das Modell mit verschieblicher Zwischenschicht verwendet werden. Bei dicken Zwischenschichten ist die Tragfähigkeit der Holz-Holzwerkstoff- bzw. Stahlblech-Holzwerkstoff-Verbindung nachzuweisen.

6 Berechnungsbeispiel

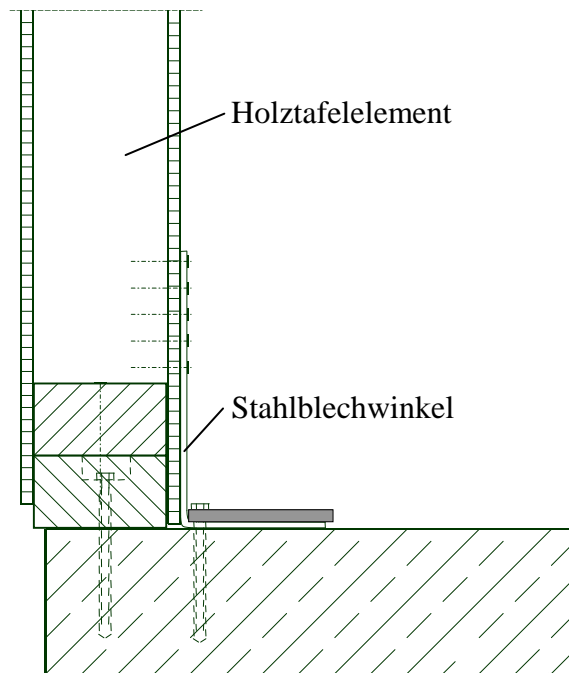


Bild 10: Anschlussdetail Holztafelement-Bodenplatte

In **Bild 10** ist ein Anschluss eines Holztafelementes an eine Bodenplatte mittels eines Stahlblechwinkels dargestellt. Dieser Anschluss stellt eine typische Zugverankerung in der Holzrahmenbauweise dar. Im folgenden wird die Zugkraft, die ein Verbindungsmittel pro Scherfuge aufnehmen kann, mit den zuvor angegebenen Gleichungen berechnet. Dabei wird eine unverschiebliche Zwischenschicht zugrunde gelegt, d. h. dass die Verbindung OSB-Holz z. B. mit Klammern für die zu übertragende Kraft bemessen wurde. Anschließend wird die so ermittelte Tragfähigkeit einem unmittelbaren Anschluss des Winkels an das Holz gegenübergestellt. Die Berechnungsgrundlagen für dieses Beispiel bilden der vorliegende Beitrag und der Entwurf der DIN 1052 [3].

Angaben:

- Holztafelement mit Rippen 6/12 cm aus Nadelholz der Sortierklasse S13 ($\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$), Beplankung aus OSB/3 ($t_{zw} = 12 \text{ mm}$)
- Stahlblechwinkel aus S235 ($t = 2 \text{ mm}$), 10 Sondernägeln 4,0 x 40 mm der Tragfähigkeitsklasse III (nicht vorgebohrt)
- Nutzungsklasse 1, Klasse der Lasteinwirkungsdauer kurz (Wind), $k_{mod} = 0,90$
- Teilsicherheitsbeiwerte: Stahl in Verbindungen $\gamma_M = 1,1$ bzw. 1,2 bzw. 1,3 (abhängig vom Versagensmechanismus)

Vorwerte:

Lochleibungsfestigkeit:

Holz:
$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 380 \cdot 4^{-0,3} = 20,56 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

OSB/3 ($t_{zw} = 12 \text{ mm}$):
$$f_{h,zw,k} = 65 \cdot d^{-0,7} \cdot t_{zw}^{0,1} = 65 \cdot 4^{-0,7} \cdot 12^{0,1} = 31,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Fließmoment der Nägel: $M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 4^{2,6} = 6617 \text{ Nmm}$

Einschlagtiefe der Nägel ins Holz: $t_1 = 26 \text{ mm}$

Berechnung der Tragfähigkeit:

Bei der Berechnung der Tragfähigkeit auf der Grundlage des vorliegenden Beitrags wurden die Gleichungen für eine unverschiebliche Zwischenschicht verwendet, da angenommen wird, dass die OSB-Platte mit einer für die Übertragung der anzuschließenden Kraft **ausreichenden Anzahl von Klammern** am Holzständer befestigt wurde. Darüber hinaus darf nach E DIN 1052 [3] eine Stahlblech-Holz-Verbindung mit Sondernägeln der Tragfähigkeitsklasse III unter der Annahme eines dicken Stahlblechs bemessen werden, falls die Stahlblechdicke mindestens dem halben Verbindungsmitteldurchmesser entspricht.

Gleichung 18 (reines Lochleibungsversagen):

$$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,zw,k} \cdot t_{zw} \cdot d = 20,56 \cdot 26 \cdot 4 + 31,58 \cdot 12 \cdot 4 = 3,65 \text{ kN}$$

$$R_d = R_k \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 3,65 \cdot \frac{0,90}{1,3} = 2,53 \text{ kN}$$

Gleichung 19 (ein Fließgelenk):

$$R_k = 2 \cdot f_{h,1,k} \cdot x \cdot d - f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,zw,k} \cdot t_{zw} \cdot d$$

$$= 2 \cdot 20,56 \cdot 15,64 \cdot 4 - 20,56 \cdot 26 \cdot 4 + 31,58 \cdot 12 \cdot 4 = 1,95 \text{ kN}$$

$$R_d = R_k \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 1,95 \cdot \frac{0,90}{1,2} = 1,46 \text{ kN}$$

mit

$$x = -t_{zw} + \sqrt{t_{zw}^2 + \frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d} - \frac{f_{h,zw,k} \cdot t_{zw}^2}{2 \cdot f_{h,1,k}} + t_1 \cdot t_{zw} + \frac{t_1^2}{2}}$$

$$= -12 + \sqrt{12^2 + \frac{6617}{20,56 \cdot 4} - \frac{31,58 \cdot 12^2}{2 \cdot 20,56} + 26 \cdot 12 + \frac{26^2}{2}} = 15,64 \text{ mm}$$

Gleichung 20 (zwei Fließgelenke):

$$R_k = f_{h,1,k} \cdot x \cdot d + f_{h,zw,k} \cdot t_{zw} \cdot d = 20,56 \cdot 3,64 \cdot 4 + 31,58 \cdot 12 \cdot 4 = 1,82 \text{ kN}$$

$$R_d = R_k \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 1,82 \cdot \frac{0,90}{1,1} = 1,49 \text{ kN}$$

mit

$$x = -t_{zw} + \sqrt{t_{zw}^2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d} - \frac{f_{h,zw,k} \cdot t_{zw}^2}{f_{h,1,k}}} = -12 + \sqrt{12^2 + \frac{4 \cdot 6617}{20,56 \cdot 4} - \frac{31,58 \cdot 12^2}{20,56}} = 3,64 \text{ mm}$$

Überprüfung des Falles der dicken Zwischenschicht:

Stahlblech-Holzwerkstoff-Verbindung mit dickem Stahlblech, zwei Fließgelenke pro Scherfuge

Gleichung V.15 nach E DIN 1052 [3]:

$$\begin{aligned}
 R_k &= 2 \cdot \sqrt{M_{y,k} \cdot f_{h,zw,k} \cdot d} \\
 &= 2 \cdot \sqrt{6617 \cdot 31,58 \cdot 4} = 1,83 \text{ kN} \\
 R_d &= R_k \cdot \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = 1,83 \cdot \frac{0,90}{1,1} = 1,50 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Damit wird der Bemessungswert der Tragfähigkeit nach Gleichung 19 mit $R_d = 1,46 \text{ kN}$ je Verbindungsmittel maßgebend. Bei einer 15 mm dicken OSB-Platte wäre bereits der Fall der dicken Zwischenschicht maßgebend und der Bemessungswert der Tragfähigkeit wäre $R_d = 1,50 \text{ kN}$.

Berechnet man nun die Bemessungswerte der Tragfähigkeit nach den Gleichungen nach E DIN 1052 [3] für Stahlblech-Holz-Verbindungen für den Fall ohne Zwischenschicht, ergibt sich als maßgebender Wert $R_d = 1,15 \text{ kN}$ je Verbindungsmittel unter der Annahme einer Einschlagtiefe von 38 mm (Gleichung V.14). Dies bedeutet, dass die Vernachlässigung einer unverschieblichen Zwischenschicht in den meisten praktischen Fällen konservativ ist.

7 Literatur

- [1] DIN V ENV 1995 Teil 1-1 (06/1994)
- [2] Johansen, K.W.: *Theory of timber connections. International Association for Bridge and Structural Engineering, Vol.9, p.249-262, 1949*
- [3] E DIN 1052 (05/2000)
- [4] DIN EN 409 (10/1993)
- [5] DIN EN 383 (10/1993)
- [6] BLASS, Hans Joachim; SCHMID, Martin; LITZE, H.; WAGNER, Barbara: *Nail plate reinforced joints with dowel-type fasteners. World Conference on Timber Engineering 2000, Whistler, Canada 2000. Dep. of Wood Sci., Univ. of British Columbia. S. 8.6.4-1 - 8.*
- [7] Werner, H.: *Tragfähigkeit von Holz-Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln unter Berücksichtigung streuender Einflußgrößen, 1993*
- [8] Blaß, H.J. und Laskewitz, B.: *Tragfähigkeit von Verbindungen an Holztafelelementen Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe (TH), 2000*
- [9] DIN EN 26891 (07/1991)