

Tragfähigkeit von Verbindungen an Holztafelementen

T 2913

T 2913

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2000, ISBN 3-8167-5723-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>

Tragfähigkeit von Verbindungen an Holztafelelementen

von

Hans Joachim Blaß und Bernd Laskewitz

Die Arbeiten wurden gefördert durch die
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.
mit Mitteln des Deutschen Institutes für Bautechnik, Berlin

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Abteilung Ingenieurholzbau
Universität Fridericiana Karlsruhe
Univ.-Professor Dr.-Ing. H.J. Blaß
1999

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Ziel des Forschungsvorhabens | 1 |
| 2 | Experimentelle Untersuchungen | 1 |
| 2.1 | Druckscherversuche | 1 |
| 2.2 | Zugversuche | 3 |
| 2.3 | Fließmomente | 5 |
| 2.4 | Lochleibungsversuche | 5 |
| 3 | Berechnungsmodelle | 5 |
| 3.1 | Berechnungsmodelle für Holz-Holz-Verbindungen | 6 |
| 3.1.1 | Keine Verbindung der Zwischenschicht mit den Hölzern | 6 |
| 3.1.2 | Starre Verbindung der Zwischenschicht mit einem Holz | 8 |
| 3.2 | Berechnungsmodelle für Stahlblech-Holz-Verbindungen | 11 |
| 3.2.1 | Keine Verbindung der Zwischenschicht mit dem Holz | 11 |
| 3.2.2 | Starre Verbindung der Zwischenschicht mit dem Holz | 13 |
| 4 | Verifizierung der Berechnungsmodelle | 16 |
| 5 | Zusammenfassung | 17 |

1 Ziel des Forschungsvorhabens

Die Bemessungsregeln nach DIN 1052 für Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln, die rechtwinklig zur Stiftachse beansprucht werden, setzen voraus, daß zwischen den zu verbindenden Bauteilen keine Fuge vorhanden ist. Das Vorhandensein einer Fuge oder auch einer Zwischenlage zwischen den Bauteilen kann die Tragfähigkeit der Verbindung deutlich beeinflussen.

Im Holzhausbau tritt in der Praxis sehr häufig der Fall auf, daß z.B. Stahlblechformteile oder Holzbauteile durch Beplankungen hindurch an die Rippen von Holztafeln befestigt werden. Dieser Fall, der in den Bemessungsregeln nach DIN 1052 nicht berücksichtigt ist, führt zu Unsicherheiten bei den Tragwerksplanern wie auch bei den Baurechtsbehörden über die zulässigen Belastungen der Verbindungsmittel.

Obwohl auch der Eurocode 5 diesen Fall nicht explizit berücksichtigt, läßt sich die Tragfähigkeit einer Holz-Holz- oder Stahlblech-Holz-Verbindung mit zwischenliegenden Holzwerkstoffplatten auf der Grundlage der Theorie nach Johansen, die den Gleichungen für den Nachweis stiftförmiger Verbindungsmittel nach Eurocode 5 zugrunde liegt, herleiten. Voraussetzung hierfür ist die Kenntnis der Lochleibungsfestigkeitswerte der verschiedenen Baustoffe.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die Tragfähigkeit einschnittiger Holz-Holz- und Stahlblech-Holz-Verbindungen mit zwischenliegenden Holzwerkstoffplatten in Anlehnung an die Johansen-Theorie abzuleiten. Durch geeignete Versuche wurden die theoretischen Werte überprüft.

2 Experimentelle Untersuchungen

2.1 Druckscherversuche

Im Rahmen der Druckscherversuche wurden die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten von Holz-Holz-Nagelverbindungen ermittelt. Dabei war zwischen den Hölzern eine Zwischenschicht aus einer 12 mm dicken OSB-Platte nach Zul.-Nr. Z-9.1-387 angeordnet. Das verwendete Vollholz aus Fichte/Tanne entsprach der Sortierklasse S10. Die OSB-Platte war durch Klammern mit einem Holz verbunden. Die beiden Hölzer waren entweder mit glattschaftigen Nägeln oder Rillennägeln miteinander verbunden. Die Prüfkörper entsprachen in ihrer Ausführung typischen Anschlußpunkten aus der Holzständerbauweise. Die Herstellung der Prüfkörper erfolgte praxisnah durch einen Holzbaubetrieb. Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau und

Tabelle 1 den Versuchsplan. In Tabelle A1 (Anlage 1) sind die Rohdichte und die Holzfeuchte angegeben. Die Versuchsdurchführung erfolgte in Anlehnung an DIN EN 26891. Während der Versuche wurde die Kraft, die auf den Prüfkörper wirkte und die Relativverschiebungen der Randhölzer zum Mittelholz mittels jeweils zwei Wegaufnehmern gemessen.

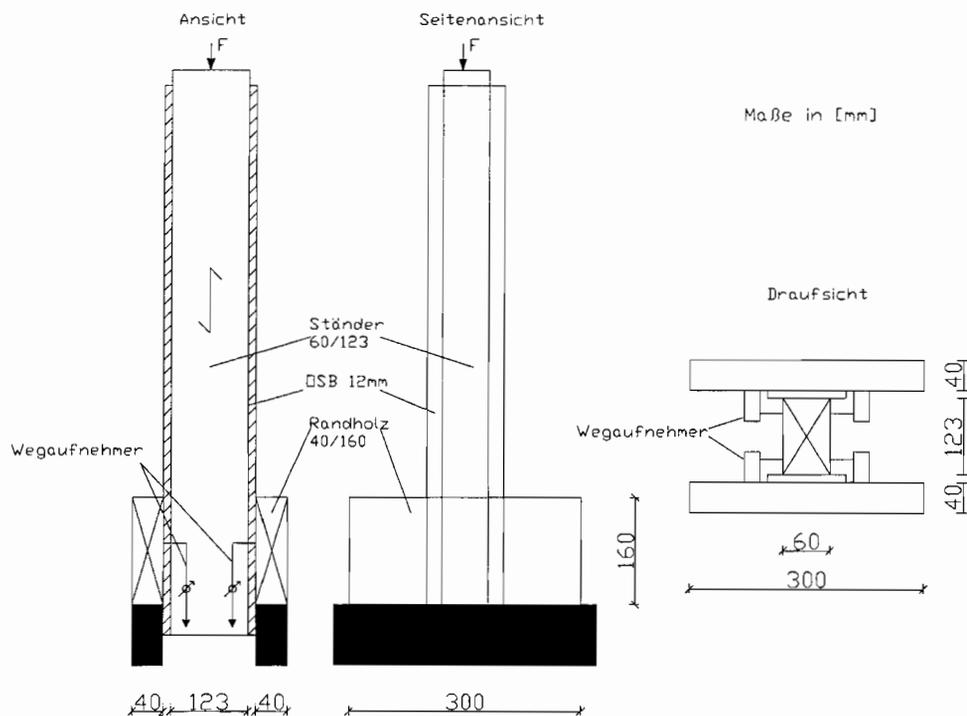


Abb. 1: Versuchsaufbau der Druckscherversuche

Tabelle 1: Versuchsprogramm der Druckscherversuche

| Versuchsreihe | Verbindung Randholz-Ständer | Verbindung OSB-Ständer | Anzahl der Versuche |
|---------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| A1 | glattschaftige Nägel 38x100 (2x14 Stück) vorgebohrt | Heftklammern 1,88x44 (2x20 Stück) | 3 |
| A2 | HVV-Ankernägel 40x100 (2x14 Stück) vorgebohrt | Heftklammern 1,88x44 (2x20 Stück) | 3 |

Bei sämtlichen Versuchen dieser beiden Reihen wurde ein ähnliches Versagensverhalten beobachtet. Die Verbindungsmittel zur Befestigung der Randhölzer mit dem Ständer wurden auf Abscheren beansprucht. Dabei kam es zu großen Verformungen bei Ausbildung zweier Fließgelenke eines jeden Verbindungsmittels und Erreichen der Lochleibungsfestigkeit der Hölzer. Die Klammern verformten sich ebenfalls unter Ausbildung eines Fließgelenkes. Allerdings war die Relativverschiebung der OSB-Platte zum Ständer im Vergleich zur Gesamtverformung nicht signifikant. Die erreichten Traglasten waren bei den Versuchen mit Rillennägeln erwartungsgemäß höher, da es hier zu einem ausgeprägten Einhängeeffekt kam. Die Ergebnisse der beiden Versuchsreihen können der Tabelle A2 (Anlage 2) entnommen werden. Die Last-Verformungsdiagramme der einzelnen Versuche sind in den Bildern A1 bis A6 (Anlage 3 bis 5) dargestellt. Ein geöffneter Prüfkörper ist in Bild A 4 (Anlage 6) zu sehen.

2.2 Zugversuche

Bei den Zugversuchen handelte es sich um Prüfkörper, die typische Situationen in der Holzständerbauweise repräsentieren. Das Vollholz aus Fichte/Tanne entsprach der Sortierklasse S10. Die OSB-Platte als Zwischenschicht nach Zul.-Nr. Z-9.1-387 mit einer Dicke von 12 mm wurde in zwei Teilen auf dem Ständer mittels Klammern bzw. Verklebung (PU-Kleber) befestigt. Des weiteren wurden je Prüfkörper zwei Lochbleche mittels Rillennägel am Ständer befestigt.

Die Herstellung der Prüfkörper erfolgte praxisnah. Abbildung 2 zeigt den Versuchsaufbau und Tabelle 2 den Versuchsplan. In Tabelle A3 (Anlage 7) sind die Holzeigenschaften angegeben. Die Versuchsdurchführung erfolgte nach DIN EN 26891. Während der Versuche wurde die Kraft, die auf den Prüfkörper wirkte und die Relativverschiebungen der Lochbleche zum Ständer mittels Wegaufnehmern gemessen.

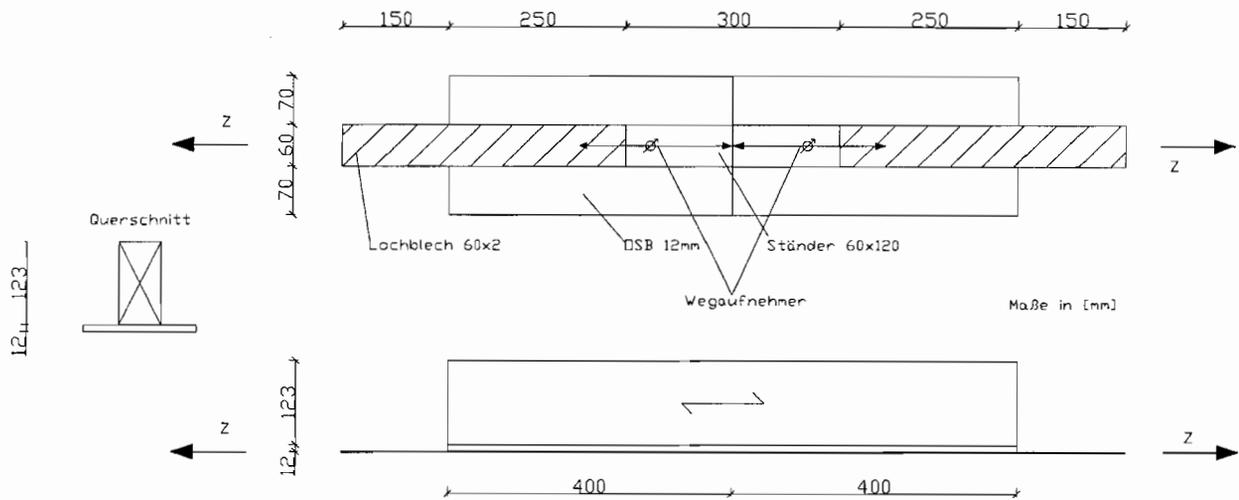


Abb. 2: Versuchsaufbau der Zugversuche

Tabelle 2: Versuchsprogramm der Zugversuche

| Versuchsreihe | Verbindung Lochblech-Ständer | Verbindung OSB-Ständer | Anzahl der Versuche |
|---------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| A | Rillennägel 40x50 (2x12 Stück) nicht vorgebohrt | Heftklammern 1,88x44 (2x15 Stück) | 3 |
| B | Rillennägel 40x50 (2x12 Stück) nicht vorgebohrt | Verklebung (PU-Kleber) | 3 |

Die Versagensarten der Versuche der beiden Reihen unterschieden sich. Bei den Versuchen, deren OSB-Ständer-Verbindung geklammert war, kam es zu großen Verformungen unter Ausbildung zweier Fließgelenke der Nägel. Es kam dabei zu einer teilweisen Einspannung des Nagelkopfes durch das Lochblech. Die OSB-Platten zeigten eine verhältnismäßig große Verschiebung gegenüber dem Ständer. Die

Klammern bildeten jeweils ein Fließgelenk aus. Die Versuche, bei denen die OSB-Platten auf den Ständer geklebt waren, zeigten ein steiferes Verhalten. Es konnte auch nur ein Fließgelenk in den Nägeln festgestellt werden. Ein zweites Fließgelenk in unmittelbarer Nähe des Lochbleches war nur ansatzweise erkennbar. Bemerkenswert ist, daß trotz unterschiedlicher Steifigkeiten sich die Traglasten der beiden Versuchsreihen kaum unterschieden.

Die Ergebnisse der beiden Versuchsreihen können der Tabelle A4 (Anlage 7) entnommen werden. Die Last-Verformungsdiagramme der einzelnen Versuche sind in den Bildern A7 bis A12 (Anlage 8 bis 10) dargestellt. Röntgenaufnahmen von Versuchskörpern sind in den Anlagen 12 und 13 abgebildet.

2.3 Fließmomente

Um hinreichend genaue Angaben zur Verifikation der Versuchsergebnisse zu erhalten, wurden von den verwendeten Nägeln die Fließmomente nach DIN EN 409 bestimmt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Tabelle A5 (Anlage 13) dargestellt.

2.4 Lochleibungsversuche

Da keine Angaben zur Lochleibungsfestigkeit der verwendeten OSB-Platten in der Zulassung zu entnehmen waren, wurden entsprechende Versuche in Anlehnung an DIN EN 383 durchgeführt. Dabei handelte es sich um Zugversuche, bei denen die Späne der Decklagen parallel und rechtwinklig zur Krafrichtung ausgerichtet waren und um Druckversuche mit einer Spanausrichtung rechtwinklig zur Krafrichtung. Zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit wurden bei allen Versuchen glattschaftige Nägel mit einem Durchmesser von 3,8 mm (vorgebohrt mit 3,4 mm) verwendet. Die Ergebnisse der Versuche können der Tabelle A6 (Anlage 14) entnommen werden.

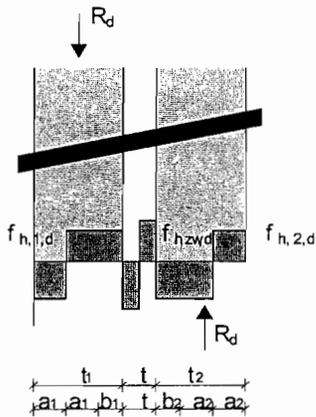
3 Berechnungsmodelle

Auf der Grundlage der Theorie nach Johansen [1] wurden in den folgenden Abschnitten Berechnungsmodelle für Holz-Holz- und Stahlblech-Holz-Verbindungen hergeleitet. Dabei wurde eine Zwischenschicht zwischen den Hölzern bzw. zwischen Stahlblech und Holz berücksichtigt. Da keine quantitative Aussage zur Mitwirkung der Verklammerung der OSB-Platten in den durchgeführten Versuchen gemacht werden konnte, wurden alle Johansen-Fälle für die beiden Fälle, starre oder keine Verbindung der Zwischenschicht mit den Hölzern, hergeleitet.

3.1 Berechnungsmodelle für Holz-Holz-Verbindungen

3.1.1 Keine Verbindung der Zwischenschicht mit den Hölzern

Versagensmechanismus 1a bzw.:



Tragfähigkeit:

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot b_1 \cdot d \quad (1)$$

$$\text{mit } \beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} \text{ und } \delta = \frac{f_{h,zw,d}}{f_{h,1,d}}$$

und der Bedingung $b_1 = \beta \cdot b_2$ und den Biegemomenten in der Mitte der Zwischenschicht folgt

$$b_1 = \frac{\beta}{1+\beta} \cdot \left(-2t - t_1 - t_2 + \sqrt{\left(4 + \delta + \frac{\delta}{\beta}\right) \cdot t^2 + \left(2 + \frac{1}{\beta}\right)t_1^2 + (2 + \beta)t_2^2 + 4tt_1 + 4tt_2 + 2t_1t_2} \right) \quad (2)$$

Versagensmechanismus 1b bzw.:

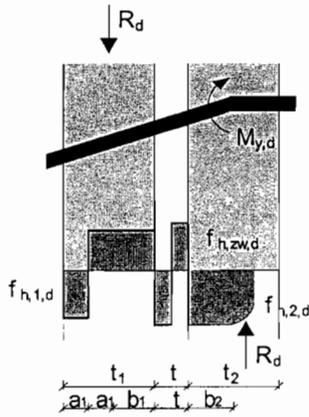


Tragfähigkeit:

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1 \quad (3)$$

$$R_d = f_{h,2,d} \cdot d \cdot t_2 \quad (4)$$

Versagensmechanismus 2a bzw.:



Tragfähigkeit:

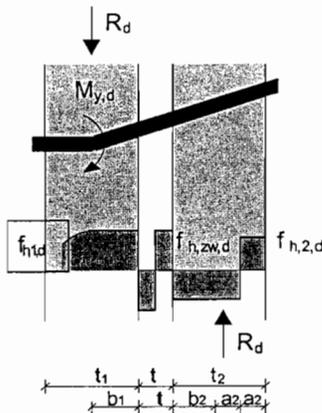
$$R_d = f_{h,1,d} \cdot b_1 \cdot d \quad (5)$$

$$\text{mit } \beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}}$$

und der Bedingung $b_1 = \beta \cdot b_2$ und dem Momentengleichgewicht im Fließgelenk folgt

$$b_1 = \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{1}{2}} \left(-2t - t_1 + \sqrt{t^2 + tt_1 + \frac{t_1^2}{2} + \frac{f_{h,zw,d} t^2}{2f_{h,1,d} \beta} + \frac{t_1^2}{2\beta} + \frac{2M_y}{f_{h,1,d} \beta d} + \frac{f_{h,zw,d} t^2}{f_{h,1,d} 4} + \frac{M_y}{f_{h,1,d} d}} \right) \quad (6)$$

Versagensmechanismus 2b bzw.:



Tragfähigkeit:

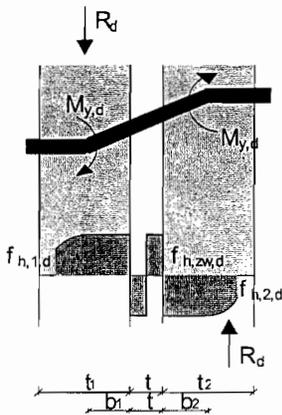
$$R_d = f_{h,1,d} \cdot b_1 \cdot d \quad (7)$$

$$\text{mit } \beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} \text{ und } \delta = \frac{f_{h,zw,d}}{f_{h,1,d}}$$

und der Bedingung $b_1 = \beta \cdot b_2$ und dem Momentengleichgewicht im Fließgelenk folgt

$$b_1 = \frac{\beta}{\frac{1}{2} + \beta} \left(-t - \frac{t_2}{2} + \sqrt{\left(1 + \frac{\delta}{4\beta} + \frac{\delta}{2}\right) t^2 + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\beta\right) t_2^2 + tt_2 + \frac{M_{y,d}}{f_{h,1,d} d \beta} + \frac{2M_{y,d}}{f_{h,1,d} d}} \right) \quad (8)$$

Versagensmechanismus 3bozw



Tragfähigkeit:

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot b_1 \cdot d \quad (9)$$

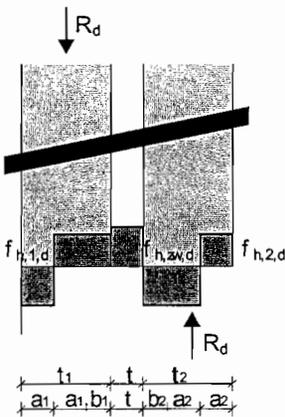
$$\text{mit } \beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} \text{ und } \delta = \frac{f_{h,zw,d}}{f_{h,1,d}}$$

und der Bedingung $b_1 = \beta \cdot b_2$ und dem Momentengleichgewicht in einem Fließgelenk folgt

$$b_1 = \frac{1}{1+\beta} \left(-\beta t + \sqrt{\beta^2 t^2 + 4\beta(\beta+1) \cdot \frac{M_{y,d}}{f_{h,1,d} d} + \frac{\beta(\beta+1)}{2} \delta t^2} \right) \quad (10)$$

3.1.2 Starre Verbindung der Zwischenschicht mit einem Holz

Versagensmechanismus 1amzw



Tragfähigkeit:

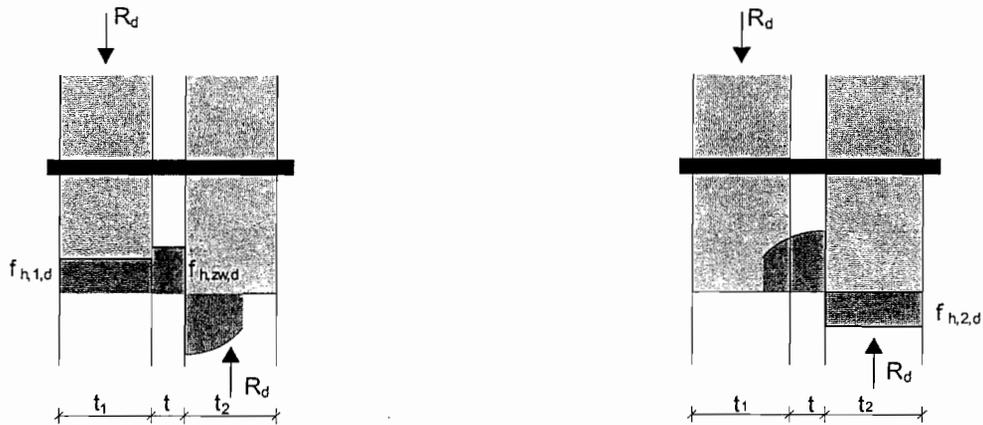
$$R_d = f_{h,1,d} \cdot b_1 \cdot d + f_{h,zw,d} \cdot t \cdot d \quad (11)$$

$$\text{mit } \beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} \text{ und } \delta = \frac{f_{h,zw,d}}{f_{h,1,d}}$$

und der Bedingung $b_1 = \beta \cdot b_2 - \delta \cdot t$ und den Biegemomenten in der Scherfuge folgt

$$b_1 = \frac{\beta}{\beta+1} (t(\delta-2) - t_1 - t_2) + \sqrt{t^2 \left(4 - 2\delta + 2\frac{\delta}{\beta} - \frac{\delta^2}{\beta} \right) + t_1^2 \left(2 - \frac{1}{\beta} \right) + t_2^2 (2 + \beta) + t_1 t \left(4 + 2\frac{\delta}{\beta} \right) + t t_2 (4 - 2\delta) + 2t_1 t_2} - \delta t \quad (12)$$

Versagensmechanismus 1bmzw

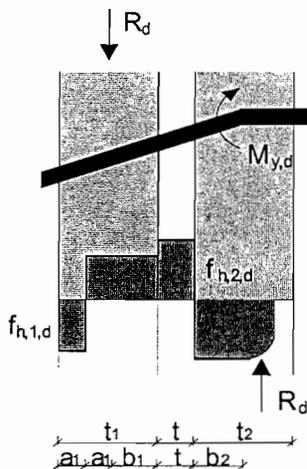


Tragfähigkeit:

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,zw} \cdot t \cdot d \quad (13)$$

$$R_d = f_{h,2,d} \cdot t_2 \cdot d \quad (14)$$

Versagensmechanismus 2amzw



Tragfähigkeit:

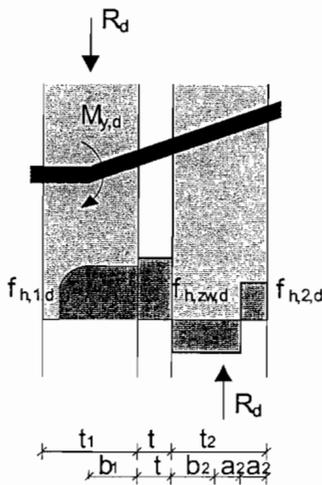
$$R_d = f_{h,1,d} \cdot b_1 \cdot d + f_{h,zw,d} \cdot t \cdot d \quad (15)$$

$$\text{mit } \beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} \text{ und } \delta = \frac{f_{h,zw,d}}{f_{h,1,d}}$$

und der Bedingung $b_1 = \beta \cdot b_2 - \delta \cdot t$ und dem Momentengleichgewicht im Fließgelenk folgt

$$b_1 = \frac{\beta}{\beta + 2} (t(\delta - 2) - t_1) + \sqrt{t^2 \left(4 - 2\delta + 4 \frac{\delta}{\beta} - 2 \frac{\delta^2}{\beta} \right) + t_1^2 \left(2 + \frac{2}{\beta} \right) + t t_1 \left(4 + 4 \frac{\delta}{\beta} \right) + \frac{4M_y}{f_{h,1,d}} \left(\frac{2}{\beta} + 1 \right)} - \delta t \quad (16)$$

Versagensmechanismus 2bmzw



Tragfähigkeit:

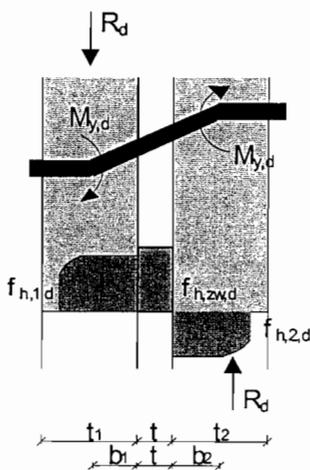
$$R_d = f_{h,1,d} \cdot b_1 \cdot d + f_{h,zw,d} \cdot t \cdot d \quad (17)$$

$$\text{mit } \beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} \text{ und } \delta = \frac{f_{h,zw,d}}{f_{h,1,d}}$$

und der Bedingung $b_1 = \beta \cdot b_2 - \delta \cdot t$ und dem Momentengleichgewicht im Fließgelenk folgt

$$b_1 = \frac{\beta}{2\beta + 1} (t(2\delta - 2) - t_2) + \sqrt{t^2 \left(4 - 4\delta - \frac{2\delta^2}{\beta} + \frac{2\delta}{\beta} \right) + t_2^2 (2 + 2\beta) + t t_2 (4 - 4\delta) + \frac{4M_{y,d}}{f_{h,1,d}} \left(2 + \frac{1}{\beta} \right)} - \delta t \quad (18)$$

Versagensmechanismus 3mzw



Tragfähigkeit:

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot b_1 \cdot d + f_{h,zw,d} \cdot t \cdot d \quad (19)$$

$$\text{mit } \beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} \text{ und } \delta = \frac{f_{h,zw,d}}{f_{h,1,d}}$$

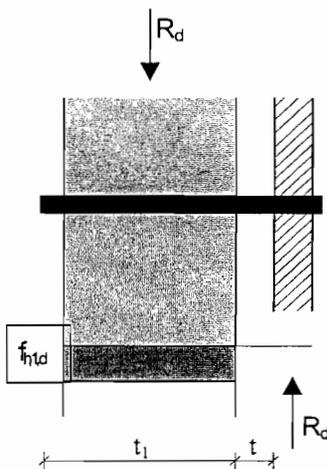
und der Bedingung $b_1 = \beta \cdot b_2 - \delta \cdot t$ und dem Momentengleichgewicht in einem Fließgelenk folgt

$$b_1 = \frac{\beta}{\beta + 1} \left(t(\delta - 1) + \sqrt{t^2 \left(1 - \delta + \frac{\delta}{\beta} - \frac{\delta^2}{\beta} \right) + \frac{4M_{y,d}}{f_{h,1,d}} \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)} \right) - \delta t \quad (20)$$

3.2 Berechnungsmodelle für Stahlblech-Holz-Verbindungen

3.2.1 Keine Verbindung der Zwischenschicht mit dem Holz

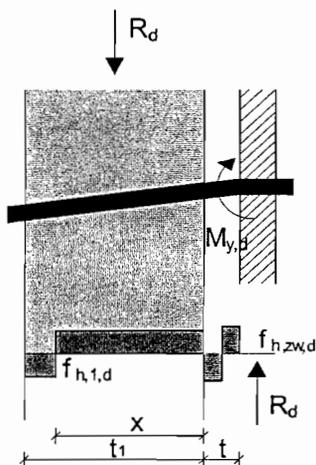
Versagensmechanismus 1ozw - dickes Stahlblech



Tragfähigkeit:

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \quad (21)$$

Versagensmechanismus 2ozw - dickes Stahlblech



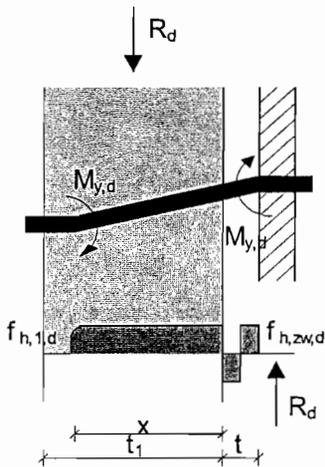
Tragfähigkeit:

$$R_d = 2 \cdot f_{h,1,d} \cdot x \cdot d - f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \quad (22)$$

Mit dem Momentengleichgewicht im Fließgelenk folgt:

$$x = -t + \sqrt{t^2 + \frac{M_{y,d}}{f_{h,1,d}d} + \frac{f_{h,zw,d}t^2}{4f_{h,1,d}} + t_1t + \frac{t_1^2}{2}} \quad (23)$$

Versagensmechanismus 3ozw - dickes Stahlblech



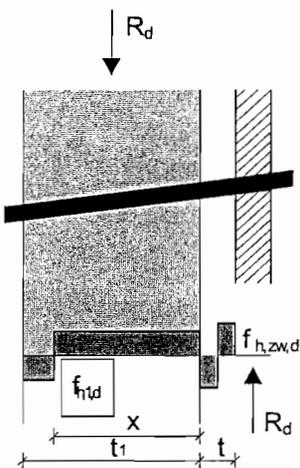
Tragfähigkeit:

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot x \cdot d \quad (24)$$

Mit dem Momentengleichgewicht im Fließgelenk folgt:

$$x = -t + \sqrt{t^2 + \frac{4M_{y,d}}{f_{h,1,d}d} + \frac{f_{h,zw,d}t^2}{2f_{h,1,d}}} \quad (25)$$

Versagensmechanismus 1aozw - dünnes Stahlblech



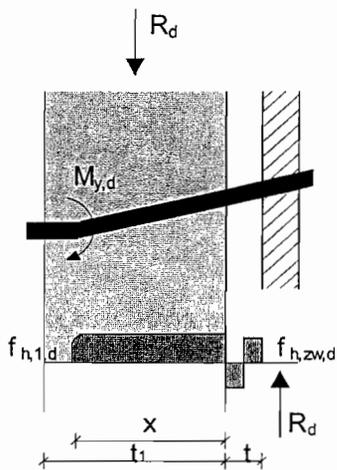
Tragfähigkeit:

$$R_d = 2 \cdot f_{h,1,d} \cdot x \cdot d - f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \quad (26)$$

Mit dem Momentengleichgewicht in der Scherfuge Stahl - Zwischenschicht ergibt sich

$$x = -t + \sqrt{t^2 + \frac{f_{h,zw,d}t^2}{4f_{h,1,d}} + t_1t + \frac{t_1^2}{2}} \quad (27)$$

Versagensmechanismus 2ozw - dünnes Stahlblech



Tragfähigkeit:

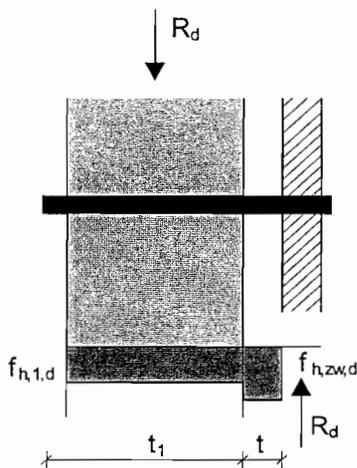
$$R_d = f_{h,1,d} \cdot x \cdot d \quad (28)$$

Mit dem Momentengleichgewicht im Fließgelenk folgt:

$$x = -t + \sqrt{t^2 + \frac{2M_{y,d}}{f_{h,1,d}d} + \frac{f_{h,zw,d}t^2}{2f_{h,1,d}}} \quad (29)$$

3.2.2 Starre Verbindung der Zwischenschicht mit dem Holz

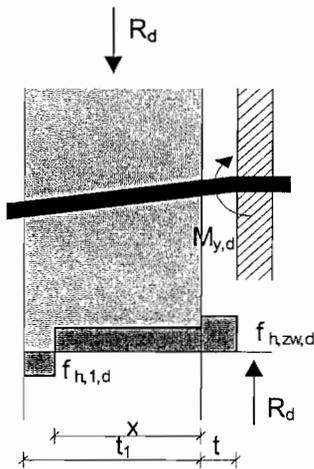
Versagensmechanismus 1mzw - dickes Stahlblech



Tragfähigkeit:

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,zw,d} \cdot t \cdot d \quad (30)$$

Versagensmechanismus 2mzw - dickes Stahlblech



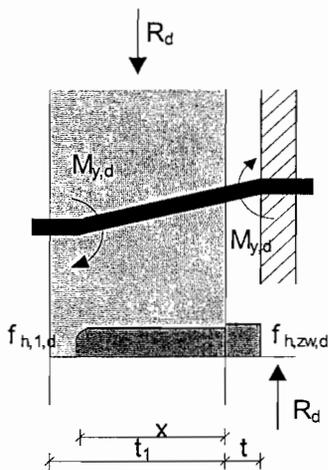
Tragfähigkeit:

$$R_d = 2 \cdot f_{h,1,d} \cdot x \cdot d - f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,zw,d} \cdot t \cdot d \quad (31)$$

Mit dem Momentengleichgewicht im Fließgelenk folgt:

$$x = -t + \sqrt{t^2 + \frac{M_{y,d}}{f_{h,1,d}d} - \frac{f_{h,zw,d}t^2}{2f_{h,1,d}} + t_1t + \frac{t_1^2}{2}} \quad (32)$$

Versagensmechanismus 3mzw - dickes Stahlblech



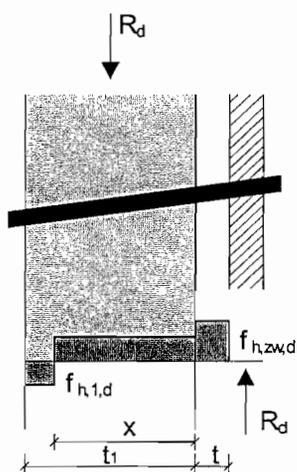
Tragfähigkeit:

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot x \cdot d + f_{h,zw,d} \cdot t \cdot d \quad (33)$$

Mit dem Momentengleichgewicht in einem Fließgelenk folgt:

$$x = -t + \sqrt{t^2 + \frac{4M_{y,d}}{f_{h,1,d}d} - \frac{f_{h,zw,d}t^2}{f_{h,1,d}}} \quad (34)$$

Versagensmechanismus 1amzw - dünnes Stahlblech



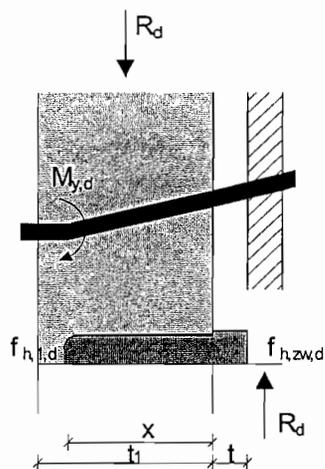
Tragfähigkeit:

$$R_d = 2 \cdot f_{h,1,d} \cdot x \cdot d - f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,zw,d} \cdot t \cdot d \quad (35)$$

Mit dem Momentengleichgewicht in der Scherfuge Stahl - Zwischenschicht ergibt sich

$$x = -t + \sqrt{t^2 - \frac{f_{h,zw,d} t^2}{2f_{h,1,d}} + t_1 t + \frac{t_1^2}{2}} \quad (36)$$

Versagensmechanismus 2mzw - dünnes Stahlblech



Tragfähigkeit:

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot x \cdot d + f_{h,zw,d} \cdot t \cdot d \quad (37)$$

Mit dem Momentengleichgewicht im Fließgelenk folgt:

$$x = -t + \sqrt{t^2 + \frac{2M_{y,d}}{f_{h,1,d} d} - \frac{f_{h,zw,d} t^2}{f_{h,1,d}}} \quad (38)$$

4 Verifizierung der Berechnungsmodelle

Es werden die Versuchsergebnisse mit den Tragfähigkeitswerten der Berechnungsmodelle verglichen. Da der Einfluß der Nachgiebigkeit der Verbindung der OSB-Platten mit den Hölzern durch Klammern nicht erfaßt werden konnte, sind beide Tragfähigkeitswerte aufgeführt. Für die Holz-Holz-Verbindungen wurden die Gleichungen 9 und 19 verwendet, da es zur Ausbildung von zwei Fließgelenken kam. Dabei bleibt der Einhängeneffekt der Nägel unberücksichtigt. Für die Stahlblech-Holz-Verbindungen wurden die Gleichungen 24 und 33 verwendet, wobei bei der Versuchsreihe B eine starre Verbindung des OSB mit dem Holz vorausgesetzt werden kann. Trotz des „dünnen“ Stahlbleches kam es zu einer zumindest teilweisen Einspannung der Nägel im Blech, so daß sich zwei Fließgelenke ausbilden konnten. Die errechneten Werte wurden mit den tatsächlichen bzw. den in den Versuchen ermittelten Lochleibungsfestigkeiten und den in Versuchen ermittelten Fließmomenten ermittelt. Dabei wurden die Mittelwerte der Versuchswerte verwendet.

Tabelle 3: Verifikation der Berechnungsmodelle

| Versuch | Versuchsergebnis [kN] | Berechnungsmodell ohne Verbindung [kN] | Berechnungsmodell mit Verbindung [kN] |
|---------|--------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| A1-1 | 20,3 | 14,1 | 20,0 |
| A1-2 | 23,3 | 14,4 | 20,3 |
| A1-3 | 20,0 | 13,9 | 19,7 |
| A2-1 | 34,0 | 15,0 | 20,8 |
| A2-2 | 33,0 | 14,2 | 20,3 |
| A2-3 | 34,6 | 14,5 | 20,4 |
| A-1 | 32,7 | 14,9 | 26,4 |
| A-2 | 33,7 | 15,0 | 26,5 |
| A-3 | 32,2 | 13,8 | 26,3 |
| B-1 | 32,4 | 14,9 | 26,4 |
| B-2 | 34,4 | 14,8 | 26,4 |
| B-3 | 34,8 | 14,8 | 26,4 |

Bei den Druckscherversuchen mit glattschaftigen Nägeln stimmen die Berechnungen ohne Berücksichtigung einer Verbindung zwischen der Zwischenschicht und dem Holz verhältnismäßig gut mit den Versuchsergebnissen überein. Bei den Versuchen mit Sondernägeln liegen die erreichten Tragfähigkeiten deutlich über den berechneten, was sich mit dem verstärkten Einhängeeffekt bei Sondernägeln erklären läßt, dem das verwendete Modell keine Rechnung trägt. Das Modell mit Berücksichtigung einer Verbindung war allerdings nicht gültig, so daß hierbei die Versuche nicht mit Berechnungen aus den hergeleiteten Gleichungen verglichen werden konnten. In diesem Fall scheint sich ein Fließgelenk in der Zwischenschicht zu bilden, so daß die Annahmen ihre Gültigkeit verlieren. Allerdings läßt sich damit die Tragfähigkeit vergleichsweise einfach berechnen, in dem die Johansen-Gleichungen für Holz-Holzwerkstoff-Verbindungen angewandt werden. Hierbei wurden die ermittelten Lochleibungsfestigkeiten und Fließmomente als Berechnungsgrundlage verwendet. Die errechneten Tragfähigkeiten stimmen bei den Versuchen mit glattschaftigen Nägeln sehr gut mit den Versuchsergebnissen überein. Die Tragfähigkeitswerte der Versuche mit Sondernägeln liegen erwartungsgemäß höher als die errechneten Werte, da hier der Einhängeeffekt unberücksichtigt blieb.

Bei den Zugversuchen zeigte sich bei den Berechnungen ohne Berücksichtigung der Verbindung der Zwischenschicht mit dem Holz eine Unterschätzung der erreichten Tragfähigkeit. Hier scheint das Modell mit einer steifen Verbindung von der Zwischenschicht mit dem Holz bessere Ergebnisse zu liefern. Daß die Tragfähigkeiten in diesem Fall immer noch deutlich niedriger liegen, kann daran liegen, daß der verstärkte Einhängeeffekt der Sondernägel unberücksichtigt blieb.

5 Zusammenfassung

Es wurden Versuche zur Ermittlung der Tragfähigkeiten von Nägeln, die durch eine Zwischenschicht mit Hölzern verbunden waren, durchgeführt. Dabei handelte es sich um Holz-Holz- und Stahlblech-Holz-Verbindungen.

Des Weiteren wurden entsprechende Versagensfälle hergeleitet, die eine Verbindung der Zwischenschicht mit den Hölzern entweder berücksichtigt oder nicht berücksichtigt. Zum Schluß wurden die Versuchsergebnisse mit den Berechnungsmodellen verglichen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind ermutigend. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß die Versuchsanzahl sehr gering war und daß für die meisten hergeleiteten Versagensfälle keine Versuche durchgeführt wurden, so daß die Anwendung der Gleichungen mit Bedacht erfolgen sollte und eher als Grundlage für weitere Untersuchungen und Überlegungen dienen sollte.

6 Literatur

- [1] *Johansen, K.W.: Theory of timber connections. International Association for Bridge and Structural Engineering, Vol.9, p.249-262, 1949 (Abhandlungen) !*

Tabelle A1: Holzeigenschaften der Druckscherversuche

| Versuch | Bauteil | Rohdichte [g/cm ³] | Holzfeuchte [%] |
|---------|------------|-----------------------------------|--------------------|
| A1-1 | Ständer | 0,411 | 12,5 |
| | Randholz 1 | 0,450 | 14,0 |
| | Randholz 2 | 0,434 | 13,8 |
| A1-2 | Ständer 2 | 0,457 | 12,4 |
| | Randholz 1 | 0,432 | 13,4 |
| | Randholz 2 | 0,509 | 13,7 |
| A1-3 | Ständer 3 | 0,403 | 12,4 |
| | Randholz 1 | 0,424 | 13,4 |
| | Randholz 2 | 0,409 | 13,6 |
| A2-1 | Ständer | 0,569 | 12,5 |
| | Randholz 1 | 0,507 | 13,6 |
| | Randholz 2 | 0,505 | 13,6 |
| A2-2 | Ständer 2 | 0,417 | 12,3 |
| | Randholz 1 | 0,403 | 13,7 |
| | Randholz 2 | 0,517 | 13,5 |
| A2-3 | Ständer 3 | 0,469 | 12,5 |
| | Randholz 1 | 0,507 | 13,7 |
| | Randholz 2 | 0,425 | 13,6 |

Tabelle A2: Ergebnisse der Druckscherversuche und deren Auswertung in
Anlehnung an DIN EN 26891

| Versuch | F_{\max} [kN] | V_{\max} [mm] | V_{01} [mm] | V_{04} [mm] | $V_{i,\text{mod}}$ [mm] | k_i [kN/mm] | k_s [kN/mm] |
|------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|----------------------------|------------------|------------------|
| A1-1/1 | 40,6 | 12,04 | 0,024 | 0,317 | 0,391 | 56,78 | 46,04 |
| A1-1/2 | 40,6 | 14,33 | 0,084 | 0,894 | 1,080 | 20,13 | 16,67 |
| A1-2/1 | 46,5 | 10,82 | 0,064 | 0,694 | 0,840 | 25,94 | 21,43 |
| A1-2/2 | 46,5 | 11,15 | 0,016 | 0,368 | 0,469 | 48,91 | 38,38 |
| A1-3/1 | 39,9 | 11,90 | 0,097 | 0,656 | 0,745 | 27,44 | 24,16 |
| A1-3/2 | 39,9 | 13,19 | 0,054 | 0,995 | 1,255 | 18,09 | 14,34 |
| Mittelwert | 42,3 | - | - | - | - | 32,88 | 26,84 |
| Variationskoeffizient [%] | 8,6 | - | - | - | - | 48,8 | 47,07 |
| A2-1/1 | 67,9 | 12,61 | 0,071 | 1,101 | 1,373 | 21,80 | 17,48 |
| A2-1/2 | 67,9 | 15,00 | 0,333 | 2,250 | 2,556 | 10,67 | 9,39 |
| A2-2/1 | 66,0 | 13,30 | 0,161 | 1,353 | 1,589 | 17,74 | 15,10 |
| A2-2/2 | 66,0 | 15,00 | 0,094 | 1,380 | 1,715 | 17,39 | 13,99 |
| A2-3/1 | 69,1 | 15,00 | 0,106 | 1,508 | 1,869 | 15,92 | 12,84 |
| A2-3/2 | 69,1 | 14,80 | 0,286 | 1,723 | 1,916 | 13,93 | 12,53 |
| Mittelwert | 67,7 | - | - | - | - | 16,24 | 13,6 |
| Variationskoeffizient [%] | 2,3 | - | - | - | - | 23,2 | 20,0 |

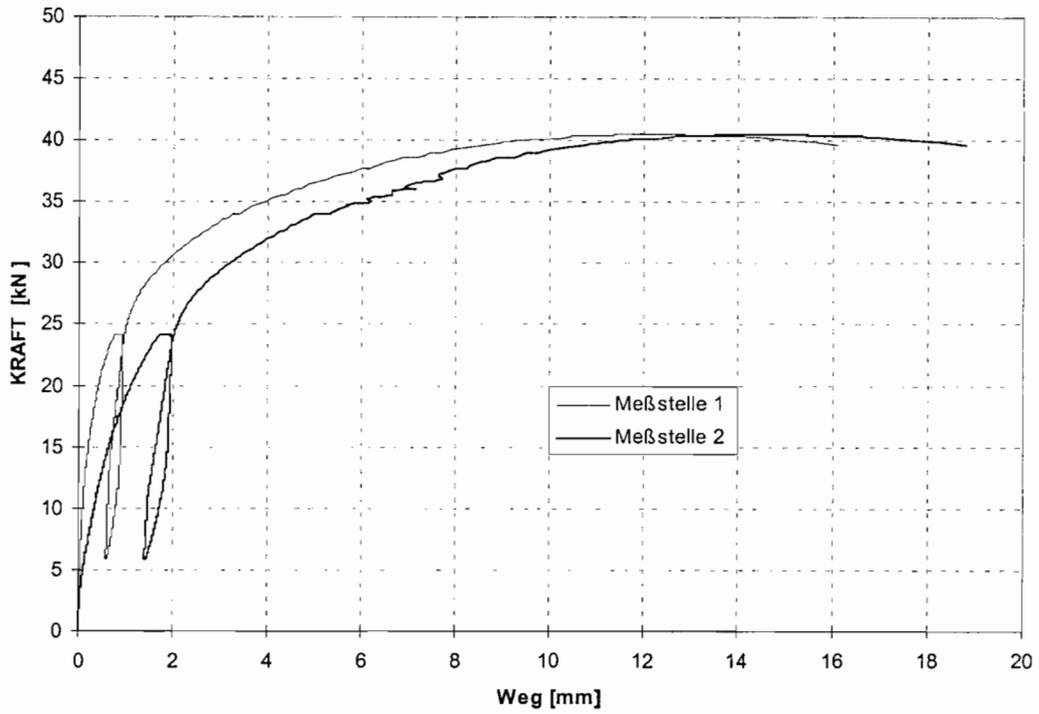


Bild A1: Last-Verschiebungsdiagramm für Versuch A1-1

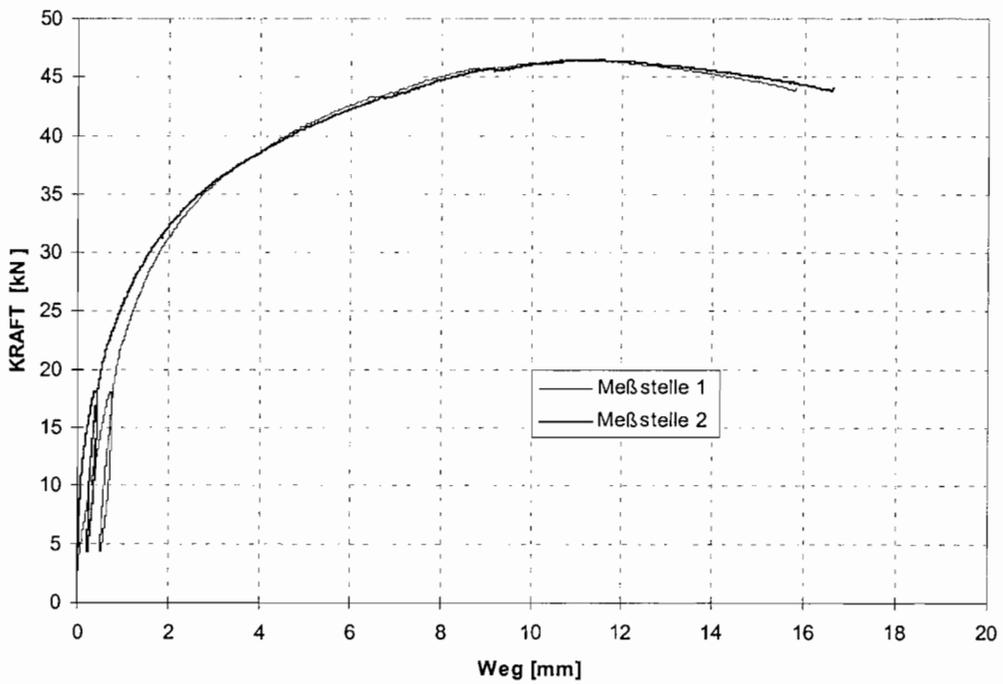


Bild A2: Last-Verschiebungsdiagramm für Versuch A1-2

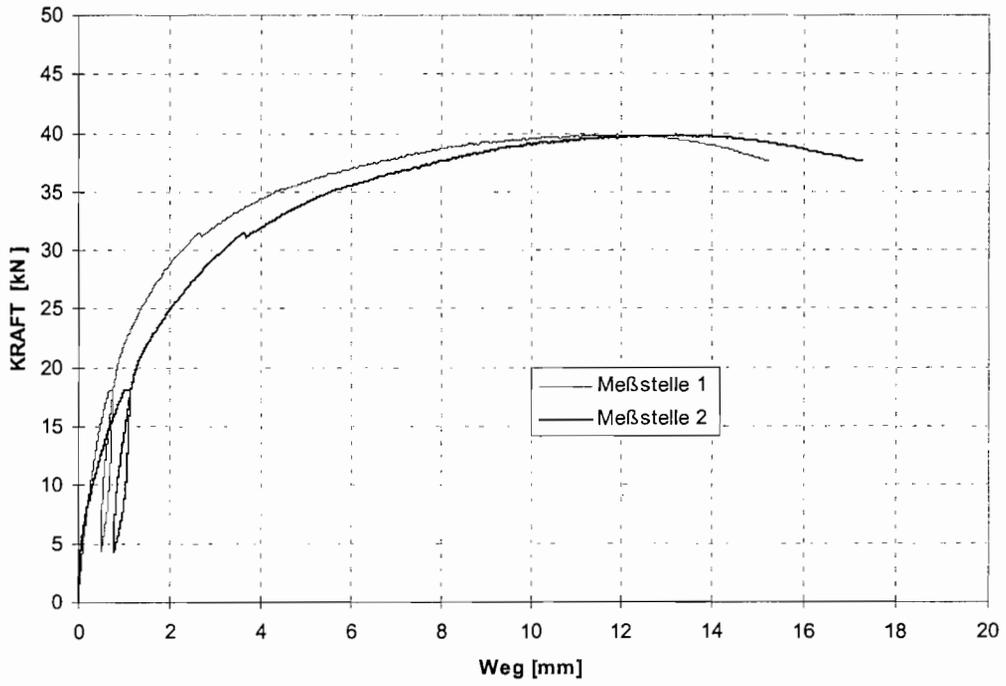


Bild A3: Last-Verschiebungsdiagramm für Versuch A1-3

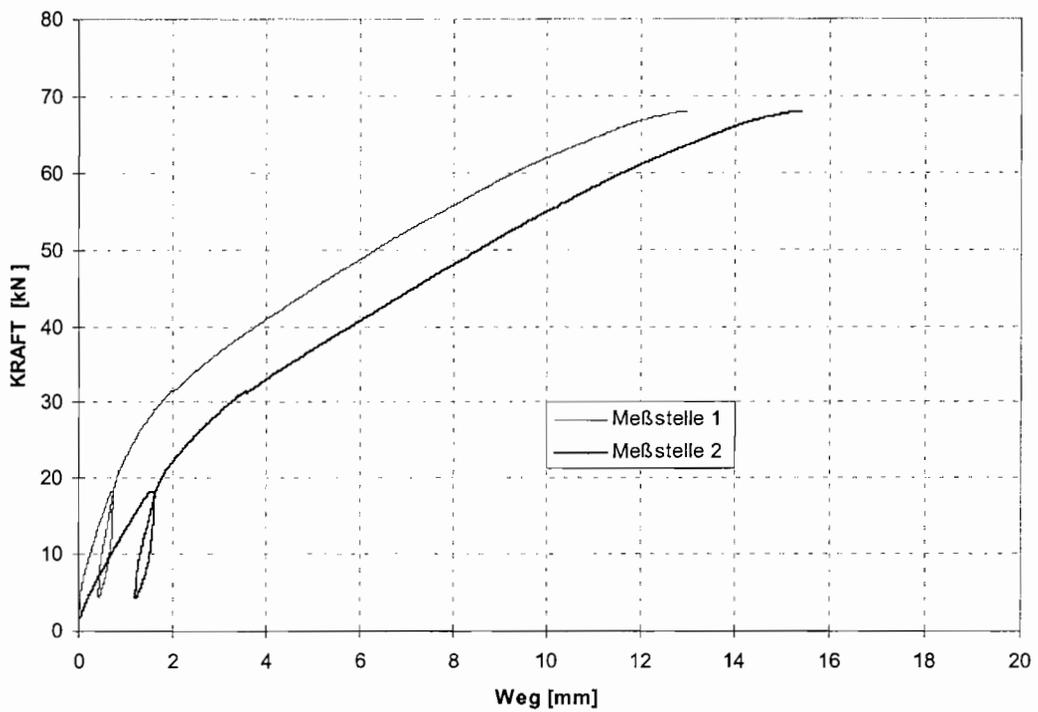


Bild A4: Last-Verschiebungsdiagramm für Versuch B1-1

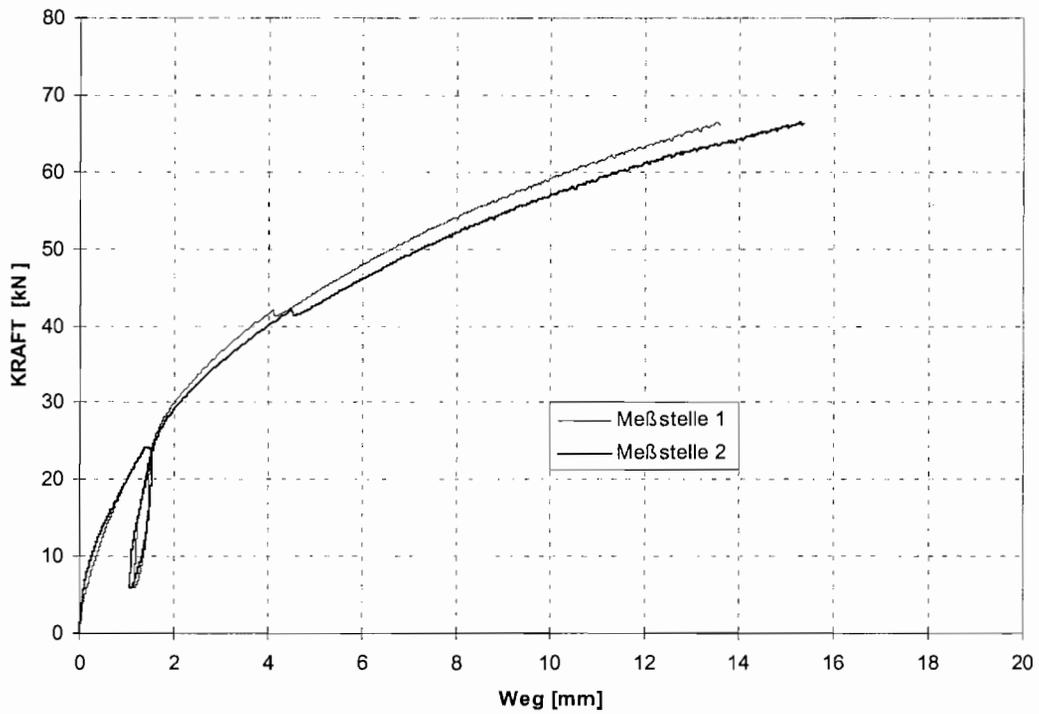


Bild A5: Last-Verschiebungsdiagramm für Versuch B1-2

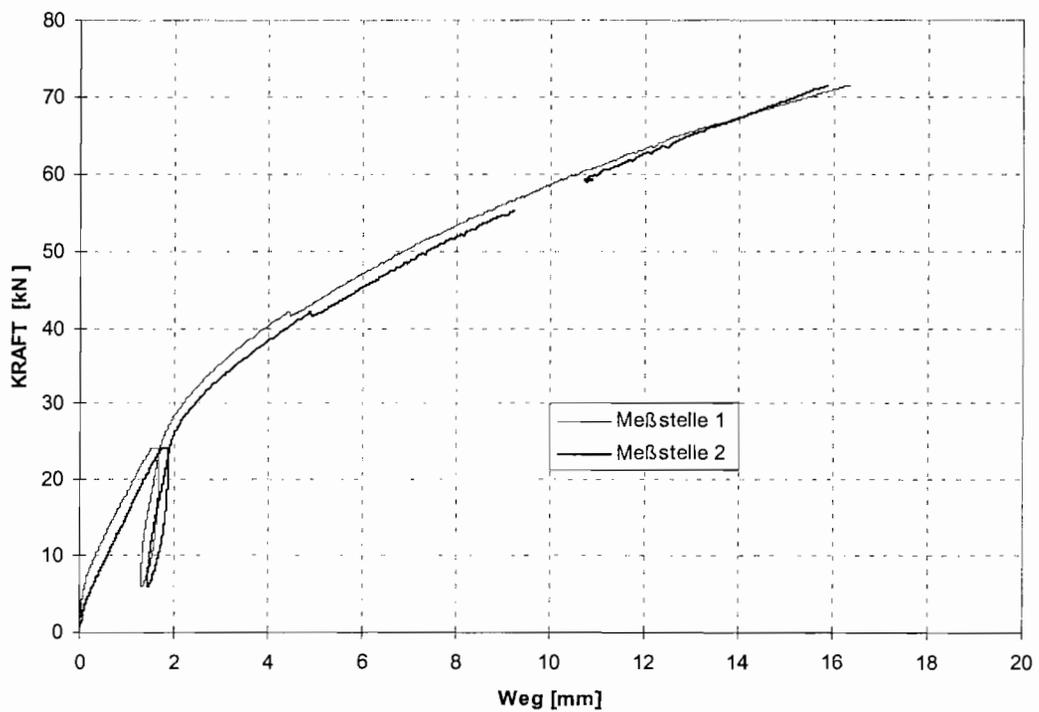


Bild A6: Last-Verschiebungsdiagramm für Versuch B1-3

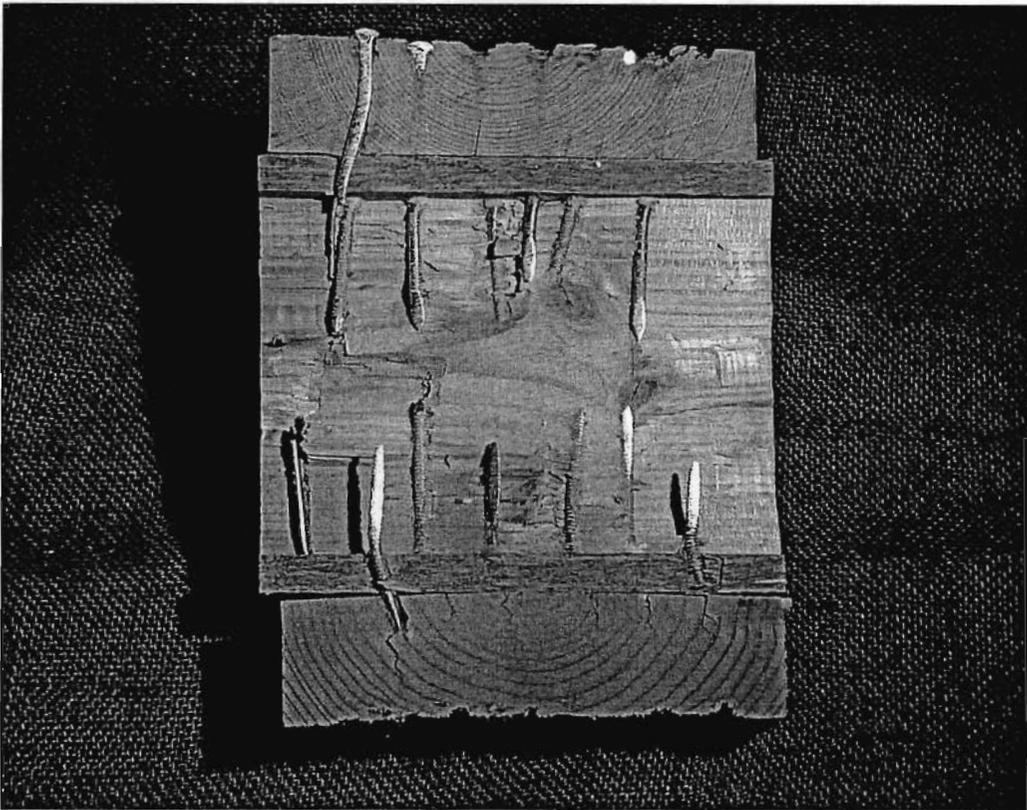


Bild A7: Aufgespaltener Versuchskörper

Tabelle A3: Holzeigenschaften der Zugversuche

| Versuch | Rohdichte [g/m ³] | Holzfeuchte [%] |
|---------|----------------------------------|--------------------|
| A-1 | 0,527 | 12,9 |
| A-2 | 0,543 | 12,7 |
| A-3 | 0,389 | 12,5 |
| B-1 | 0,530 | 12,7 |
| B-2 | 0,510 | 12,9 |
| B-3 | 0,511 | 12,7 |

Tabelle A4: Ergebnisse der Zugversuche und deren Auswertung in
Anlehnung an DIN EN 26891

| Versuch | F _{max} [kN] | V _{max} [mm] | V ₀₁ [mm] | V ₀₄ [mm] | V _{i,mod} [mm] | k _i [kN/mm] | k _s [kN/mm] |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| A-1/1 | 32,7 | 15,00 | 0,104 | 1,380 | 1,701 | 10,14 | 8,23 |
| A-1/2 | 32,7 | 11,66 | 0,078 | 1,359 | 1,708 | 10,30 | 8,20 |
| A-2/1 | 33,7 | 15,00 | 0,188 | 1,774 | 2,115 | 7,89 | 6,62 |
| A-2/2 | 33,7 | 11,36 | 0,093 | 1,318 | 1,633 | 10,62 | 8,57 |
| A-3/1 | 32,2 | 15,00 | 0,197 | 2,561 | 3,152 | 5,47 | 4,44 |
| A-3/2 | 32,2 | 11,86 | 0,167 | 1,864 | 2,263 | 7,51 | 6,19 |
| Mittelwert | 32,9 | - | - | - | - | 8,66 | 7,04 |
| Variationskoeffizient [%] | 2,3 | - | - | - | - | 23,6 | 22,7 |
| B-1/1 | 32,4 | 3,97 | 0,086 | 1,032 | 1,261 | 13,57 | 17,65 |
| B-1/2 | 32,4 | 5,23 | 0,133 | 1,284 | 1,535 | 10,90 | 9,12 |
| B-2/1 | 34,4 | 7,86 | 0,099 | 0,975 | 1,168 | 14,36 | 11,99 |
| B-2/2 | 34,4 | - | 0,090 | 1,135 | 1,393 | 12,33 | 10,05 |
| B-3/1 | 34,8 | 5,94 | 0,109 | 0,923 | 1,085 | 15,17 | 12,90 |
| B-3/2 | 34,8 | - | - | - | - | - | - |
| Mittelwert | 33,9 | - | - | - | - | 13,27 | 12,3 |
| Variationskoeffizient [%] | 3,8 | - | - | - | - | 12,7 | 26,95 |

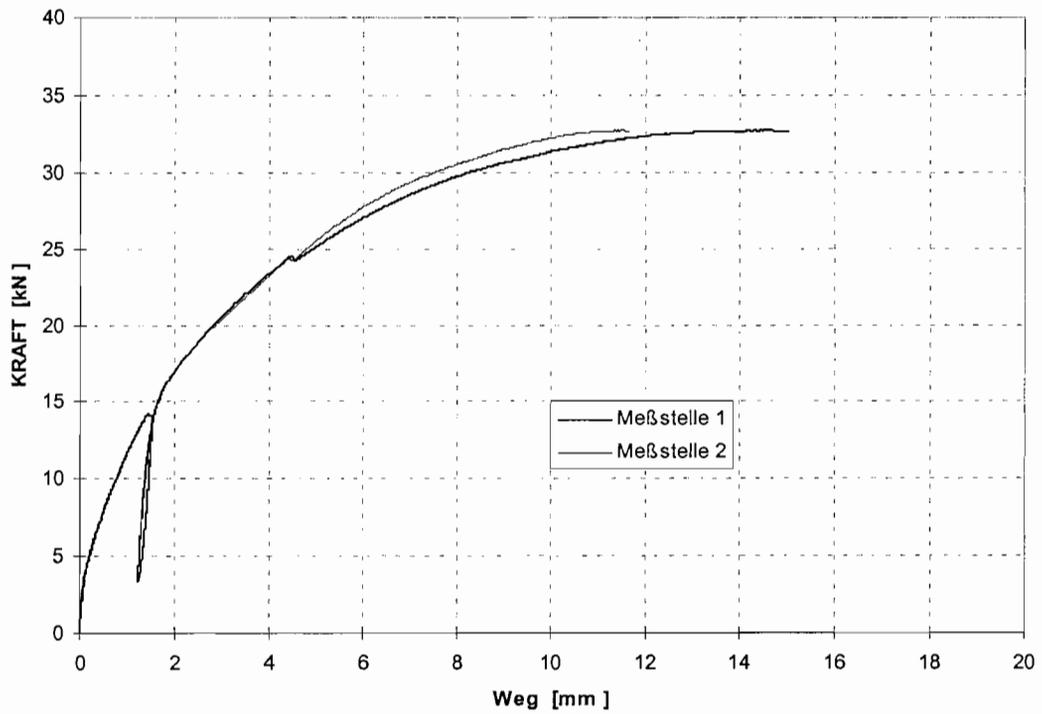


Bild A8: Last-Verschiebungsdiagramm für Versuch A-1

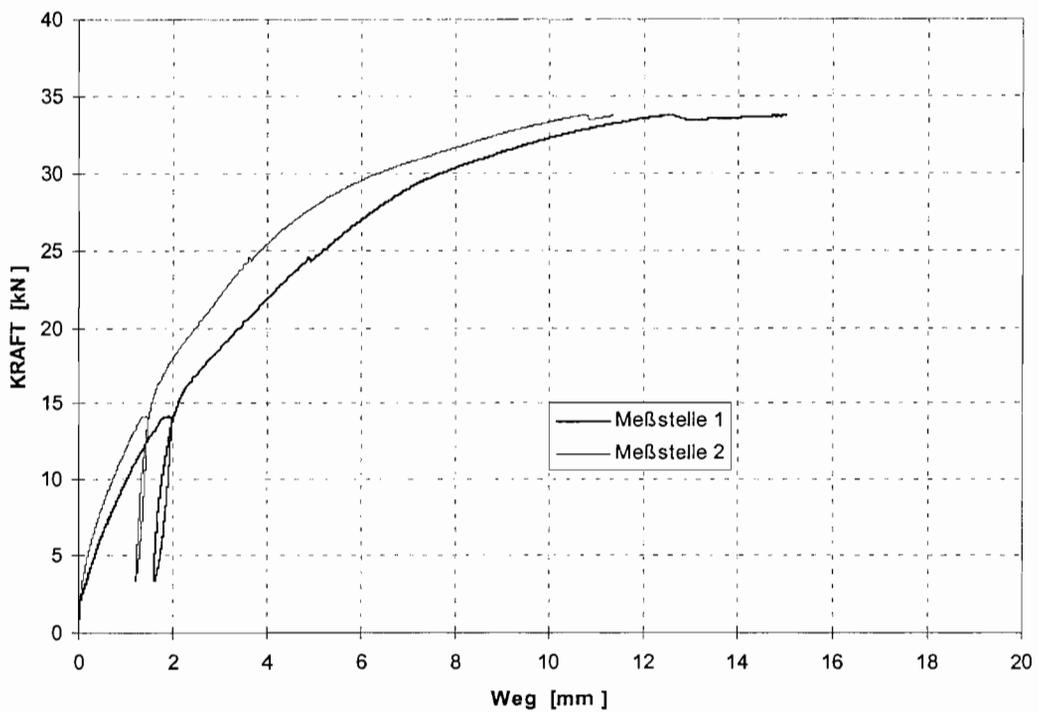


Bild A9: Last-Verschiebungsdiagramm für Versuch A-2

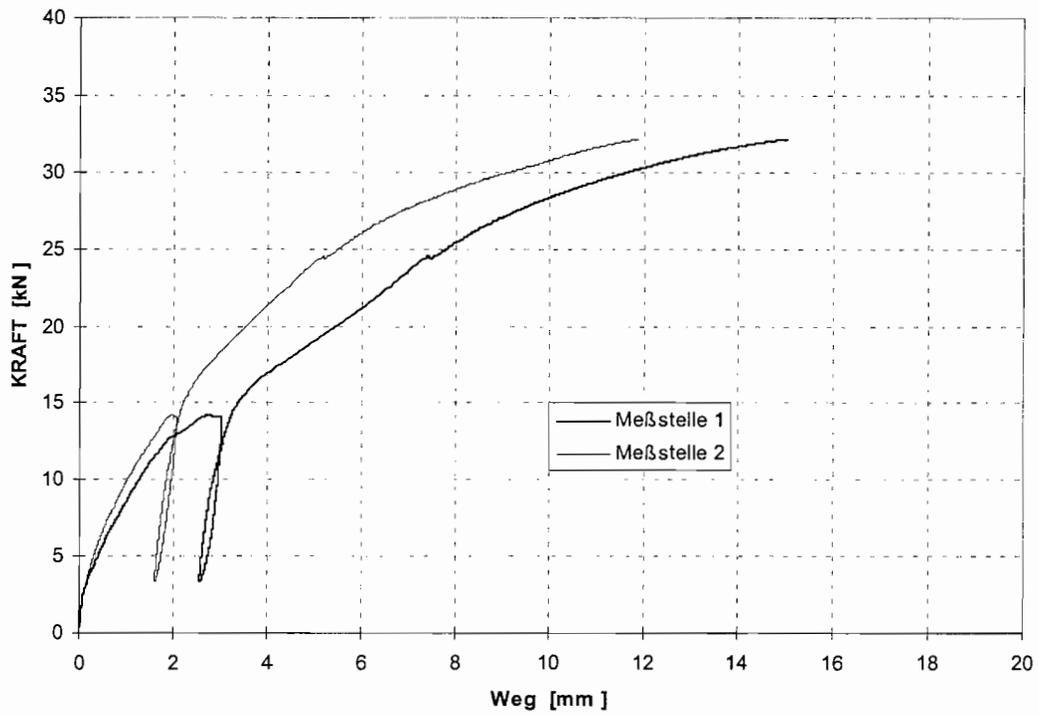


Bild A10: Last-Verschiebungsdiagramm für Versuch A-3

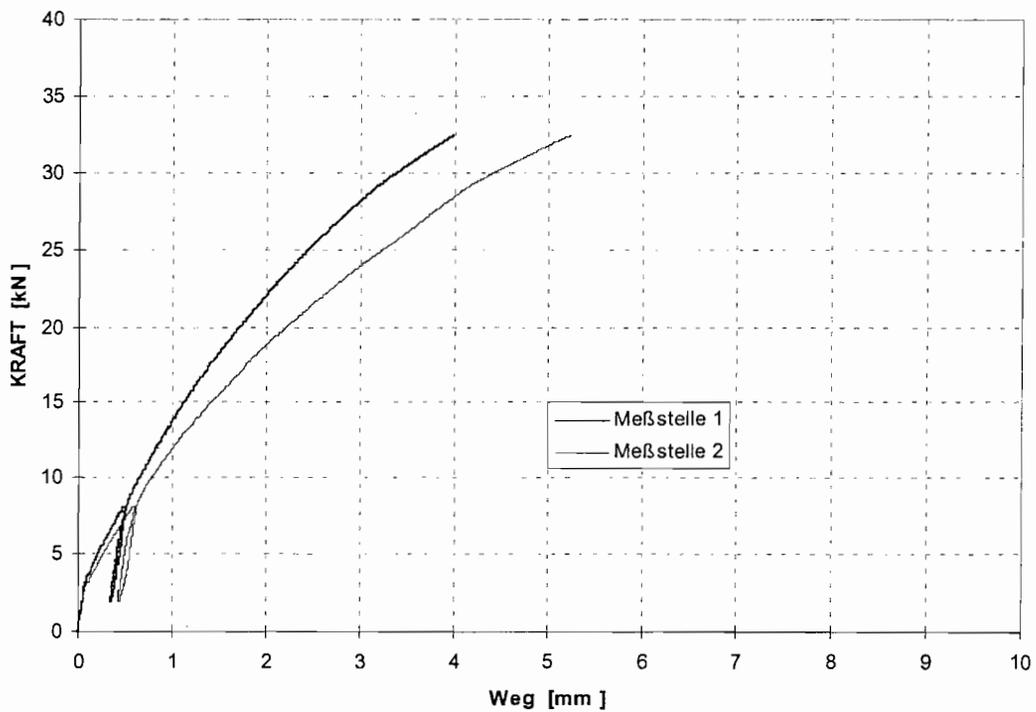


Bild A11: Last-Verschiebungsdiagramm für Versuch B-1

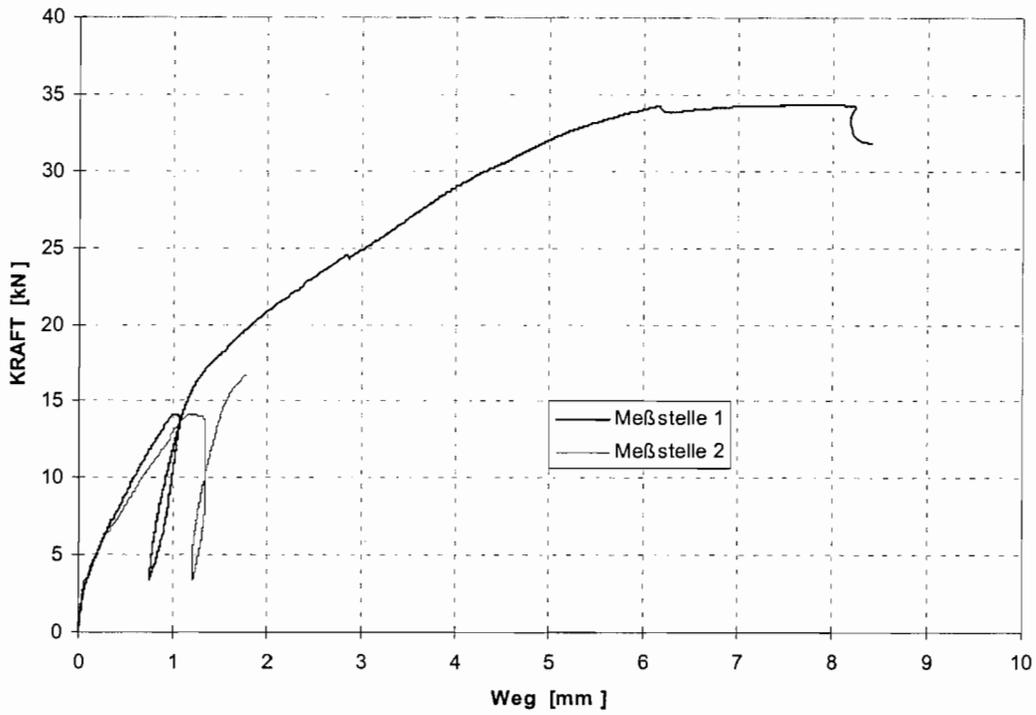


Bild A12: Last-Verschiebungsdiagramm für Versuch B-2 (Ausfall einer Wegmessung)

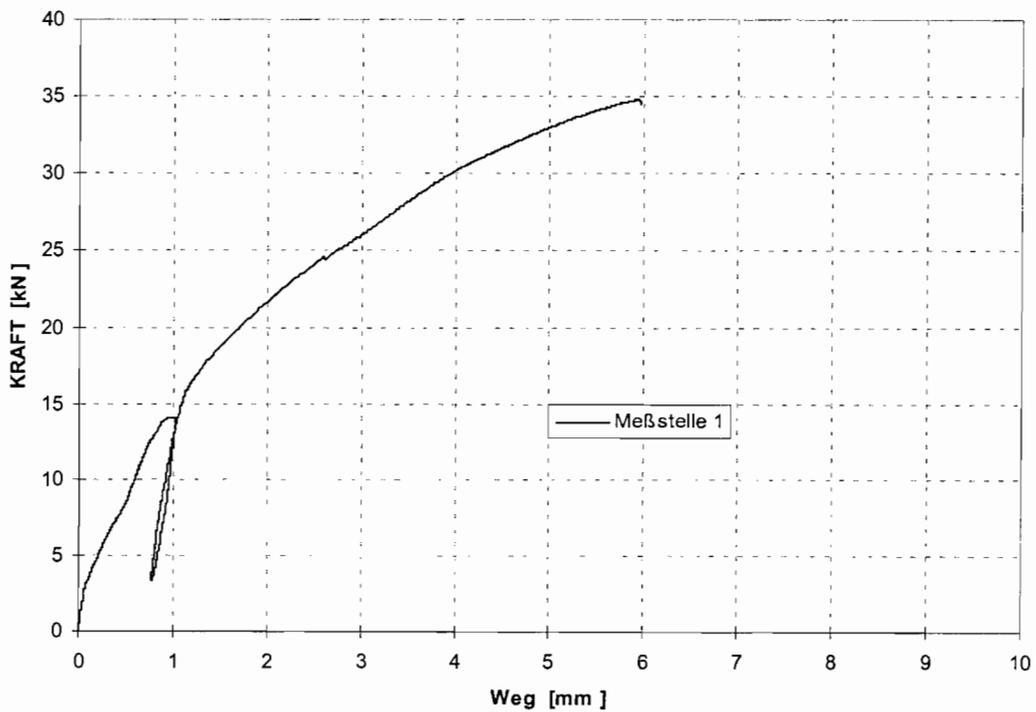


Bild A13: Last-Verschiebungsdiagramm für Versuch B-3 (Ausfall einer Wegmessung)

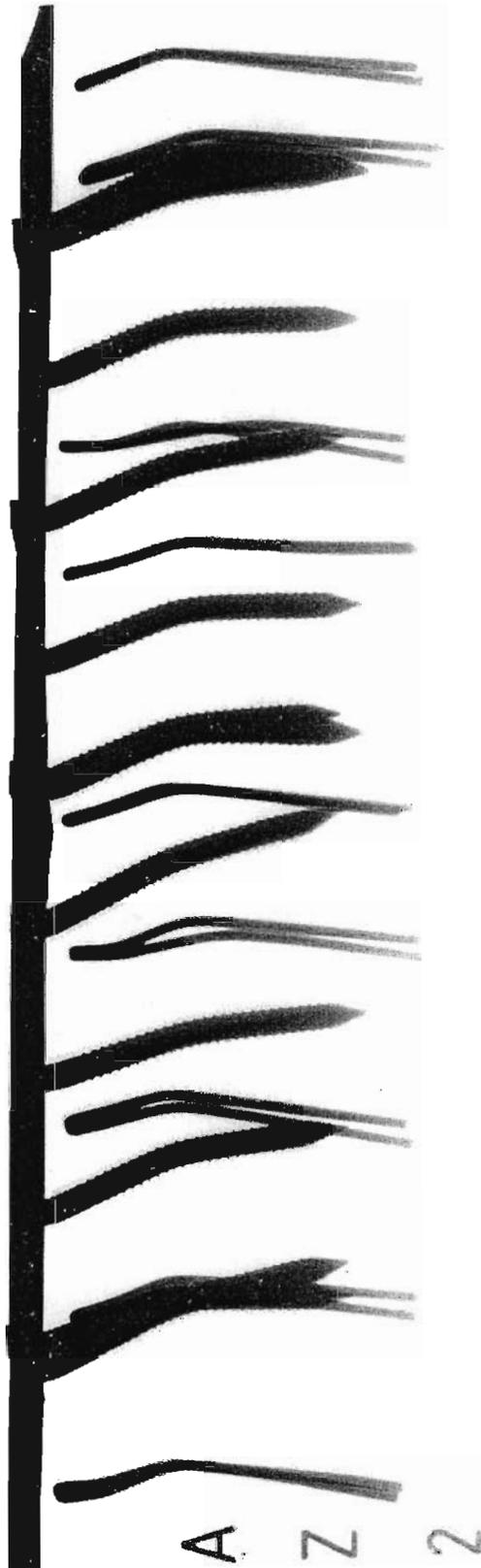


Bild A14: Röntgenaufnahme eines Prüfkörpers der Reihe A-1

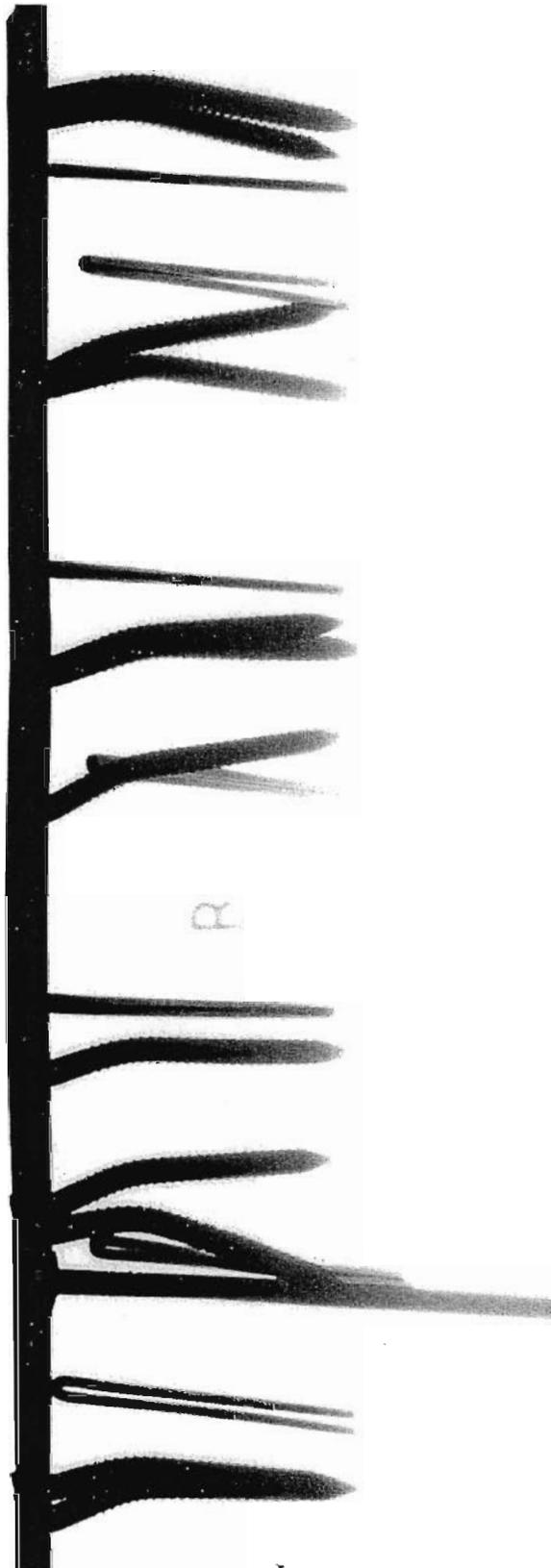


Bild A15: Röntgenaufnahme eines Prüfkörpers der Reihe B-1

Tabelle A5: Fließmomente nach DIN EN 409 der glattschaftigen Nägel 3,8x100 mm, der Ankernägel 4,0x100 mm und 4,0x50 mm

| | glattschaftige Nägel 3,8x100 mm | Ankernägel 4,0x100 mm | Ankernägel 4,0x50 mm |
|---------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Einzelwerte [Nm] | 7,360 | 7,029 | 7,898 |
| | 7,493 | 6,628 | 8,165 |
| | 7,426 | 7,430 | 8,232 |
| | 7,493 | 7,096 | 8,232 |
| | 7,493 | 7,163 | 8,165 |
| | 7,493 | 7,229 | 8,199 |
| | 7,225 | 7,096 | 7,931 |
| | 7,426 | 7,129 | 8,132 |
| | 7,392 | 7,363 | 8,132 |
| | 7,226 | 7,163 | 8,299 |
| Mittelwert [Nm] | 7,403 | 7,132 | 8,139 |
| Standardabw. [Nm] | 0,104 | 0,216 | 0,129 |
| Variationskoef. [%] | 1,41 | 3,03 | 1,58 |

Tabelle A6: Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der Lochleibungsfestigkeiten von OSB (Zul.-Nr. Z-9.1-387) in Anlehnung an DIN EN 383

| Zugbeanspruchung Spanausrichtung parallel zur Kraftrichtung [N/mm ²] | Druckbeanspruchung Spanausrichtung rechtwinklig zur Kraftrichtung [N/mm ²] | Zugbeanspruchung Spanausrichtung rechtwinklig zur Kraftrichtung [N/mm ²] |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 54,30 | 43,51 | 37,50 |
| 43,20 | 45,42 | 60,53 |
| 37,50 | 40,55 | 42,04 |
| 51,34 | 62,13 | 53,00 |
| 34,01 | 52,37 | 41,91 |
| 40,15 | 33,09 | 69,58 |
| 20,90 | 24,41 | 34,34 |
| 35,44 | 29,06 | 48,57 |
| 41,36 | 46,01 | 44,08 |
| 37,02 | 35,90 | 26,91 |
| 31,51 | 49,69 | - |
| 27,30 | 59,30 | - |
| 29,14 | 53,16 | - |
| 38,90 | 38,03 | - |
| 35,07 | 48,49 | - |
| 42,06 | 45,92 | - |
| 37,89 | 61,12 | - |
| 35,75 | - | - |
| 42,65 | - | - |
| Mittelwert | | |
| 37,66 | 45,18 | 45,85 |
| Variationskoeffizient [%] | | |
| 20,65 | 24,04 | 27,51 |