

Prüfbericht

Auftraggeber: Xella Trockenbau-Systeme GmbH
Abteilung Anwendungstechnik
Kalkwerk Winterberg
37539 Bad Grund

Gegenstand: Bestimmung der Randlochfestigkeit von FERMACELL-
Platten der Marke Powerpanel HD.

Anzahl der Textseiten:

Anzahl der Anlagen: -

Aufstellungsdatum: 13. Juli 2009

Aktenzeichen: Pxxxx

Gerdemann
Hölscher
Seume
Stoll

(Bearbeiter)

(Leiter)

INHALT

ANHANG.....	2
1 VERANLASSUNG.....	3
2 MATERIAL	4
2.1 BAUPLATTE FERMACELL-POWERPANEL HD	4
2.2 VERBINDUNGSMITTEL	5
2.3 VOLLHOLZ.....	6
3 PRÜFUNGEN.....	7
3.1 PRÜFVORRICHTUNGEN.....	7
3.2 ANFERTIGUNG DER PROBEKÖRPER AR1 BIS AR5 NACH DIN EN 383	9
3.2.1 Probekörper zur Bestimmung der Randlochfestigkeiten Senkrecht zum Rand.....	9
3.3 ANFERTIGUNG DER PROBEKÖRPER BR1 BIS BR8 NACH DIN EN 26891	10
3.3.1 Probekörper zur Bestimmung der Randlochfestigkeiten Parallel zum Plattenrand.....	10
3.4 BELASTUNGSVERFAHREN FÜR AR1 – AR5 N. DIN 383 UND FÜR BR1 - BR8 NACH DIN EN 26891 .	12
4 AUSWERTUNG DER PRÜFUNGSERGEBNISSE DER RANDLOCHFESTIGKEIT NACH DIN EN 383.....	14
5 AUSWERTUNG DER PRÜFUNGSERGEBNISSE DER VERBINDUNGSPRÜFUNG NACH DIN EN 26981.....	19
6 LITERATUR	26

ANHANG

Studienarbeit im Fach Holzbauforschung des Masterstudiengangs Holzingenieurwesens

Fach: Holzbauforschung MH 4800

2. Sem. - SS2009

Bearbeiter: Daniel Hölscher (Matr.Nr.: 501350)
Stefan Gerdemann (Matr.Nr.: 501347)
Matthias Stoll (Matr.Nr.: 501334)
Mirco Seume (Matr.Nr.: 501266)

Prüfer: Dipl.-Ing. Ralf Augustin
Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Hecht

Datum: 13.07.09

1 Veranlassung

Zur Beantragung einer Europäischen Technischen Zulassung für die FERMACELL Powerpanel HD beauftragte die Anwendungstechnik der Xella Trockenbau-Systeme GmbH in Bad Grund das Labor für Holztechnik LHT der Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/ Göttingen mit der Durchführung der dafür notwendigen Prüfungen.

Die Randlochfestigkeit ist für die Festlegung von Randabständen für die Verbindung Vollholz-Powerpanel HD von Bedeutung.

2 Material

2.1 Bauplatte FERMACELL-Powerpanel HD

Die FERMACELL-Powerpanel HD soll für tragende und aussteifende Holztafeln zum Einsatz kommen.

Für die Untersuchungen werden Bauplatten FERMACELL-Powerpanel HD mit der Nenndicken $t = 15$ mm verwendet. Die Anlieferung der Prüfkörper erfolgte durch den Auftraggeber nach Vorgabe der Prüfstelle in den Abmessungen 160 mm x 200 mm und 200 mm x 480 mm. Dabei wurden die Platten vom Hersteller nachdem Zufallsauswahlverfahren aus der Fertigung entnommen und Nummeriert.

Produktbeschreibung

Hersteller der Powerpanel HD ist die Firma Xella Trockenbau-Systeme GmbH, sie vertreiben ihre Produkte für das Segment Trockenbau international. Ergänzt wird das Sortiment durch die zementgebundene Fermacell Powerpanel Familie. Die Fermacell Powerpanel HD fungiert als Bauplatte, sie ist eine zementgebundene Leichtbetonplatte mit Sandwichstruktur. Die Powerpanel wird vorwiegend für den Außenbereich eingesetzt, auf Grund der Bewehrung aus bauaufsichtlich zugelassenen alkaliresistenten Glasfasern, weist sie hohe Werkstofffestigkeiten auf (Z-9.1-510). Dieser Plattentyp kann statisch wirksam sowohl tragend als auch aussteifend angesetzt werden. Weiter weisen alle Platten der Powerpanelfamilie eine hohe Witterungsbeständigkeit auf, dies ist ein wichtiges Merkmal für den Einsatz im Außenbereich. Auf Grund der rein mineralischen Zusammensetzung enthalten die

Platten keinerlei brennbare organische Bestandteile und wurden so in die Baustoffklasse A1 „nichtbrennbare Baustoffe“ entsprechend DIN 4102 sowie DIN EN 13501-1 eingestuft. Die Platten werden hauptsächlich mit keramischen Abdichtungsstoffen beschichtet, so dass sie als keramisch angesehen werden kann. Das Glasschaumgranulat in der Deckschicht wird laut Hersteller aus recyceltem Glas gewonnen. Auf die Deckschicht wird mit Hilfe von einer Dosieranlage Blähtongranulat gleichmäßig verteilt und anschließend abgezogen so entsteht die Mittelschicht. Die oberste Deckschicht wird auf einen Folienträger aufgespritzt und frisch in frisch auf die vorhandenen Schichten aufgetragen. Die Platte erhärtet, anschließend wird die Folie wieder entfernt und die Bauplatte aus der Form ausgeschalt. Anschließend werden die Platten der technischen Trocknung zugeführt. Kommen die Platten aus der Trocknung werden sie durch Längs- und Queresäumung auf Standardformat gebracht, wenn die Reifezeit abgelaufen ist werden sie palletiert, verpackt und konfektioniert. Die Einsatzbereiche der Platten liegen vornehmlich im Außenbereich mit zusätzlicher Putzschicht, der Plattenwerkstoff kann aber auch uneingeschränkt im Innenbereich verwendet werden.

Die Verarbeitung der Powerpanelplatten erfolgt vorzugsweise mit einer herkömmlichen Handkreissäge, die mit einer ausreichenden Absaugung versehen ist. Auf Grund der Zusammensetzung der Platten ist alternativ auch ein Zuschnitt mit einem Cuttermesser möglich. Mit dem Messer umseitig einschneiden und brechen, so wie bei Gipsbauplatten. Das Einatmen der Stäube aufgrund von mechanischer Bearbeitung ist stets zu vermeiden. Abschnitte und Stäube können über Baustoffrecyclinganlagen als Zuschlagstoff dem Wertstoffkreislauf wieder zugeführt werden. Sollte hierfür keine Möglichkeit bestehen, könnten die Reststoffe auch auf einer Baustoffdeponie entsorgt werden. Eine problembehaftet Entsorgung besteht nicht.

2.2 Verbindungsmittel

Die Lochleibungsprüfungen werden mit gehärteten blanken Stahlstiften der Fa. Schaber GmbH, Nürtinger Straße 68 in 72644 Oberboihingen durchgeführt. Die erforderlichen Stifte mit werden der Prüfstelle (LHT) entnommen.

Die Bereitstellung der erforderlichen Nägel und Klammern für die Verbindungsmittelprüfungen erfolgt durch den Auftraggeber. Für die Untersuchungen wurden die nachfolgend aufgeführten stiftförmigen Verbindungsmittel verwendet.

- Klammer KG 750 CnK, Hersteller Fa. Haubold,
 $d_n = 1,53 \text{ mm}$, $b_R = 11,2 \text{ mm}$, $l_n = 50 \text{ mm}$; gemäß Z-9.1-15
- Glattschaftige Coil-Nägel RNCW 22/50, Hersteller Fa. Haubold
 $d_n = 2,5 \text{ mm}$, $l_n = 50 \text{ mm}$, $d_k = 5,2 \text{ mm}$;

2.3 Vollholz

Zur Bestimmung der Randlochfestigkeit parallel zum Plattenrand nach DIN EN 26891 wurde Vollholz in Stangenware (mit Keilzinkenstößen) der Festigkeit C24 Holzart Fichte verwendet. Auf eine genaue Bestimmung der Rohdichte wurde zunächst verzichtet.

Bei den Prüfungen wurde das Holz sorgfältig ausgewählt so dass die Proben weitestgehend ungestört sind. Zudem wurden die Hölzer in 3 Rohdichtklassen eingeteilt, Grob, Mittel und Fein, um beurteilen zu können ob die Rohdichte einen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Wenn ja, würde im Nachgang die Rohdichte genau bestimmt werden.

Die Einteilung in Klassen wurde durch Betrachtung der Jahringbreiten der Stirnseiten vorgenommen.

3 Prüfungen

3.1 Prüfplan

In der Tabelle 1 sind die Prüfserien aufgeführt, die zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit und der Verbindungsfestigkeit am Labor für Holztechnik LHT durchgeführt werden.

Tabelle 1: Prüfserien zur Bestimmung der Randlochfestigkeit

Serie	Verbindungsmittel Durchmesser d	Prüfung	Randabstand	n
AR.1	Stahlstift d = 2,5 mm	Lochleibung entspr. EN 383 Kraft senkrecht zur Plattenlängsseite	20d	5
AR.2	Stahlstift d = 2,5 mm	Lochleibung entspr. EN 383 Kraft senkrecht zur Plattenlängsseite	10d	5
AR.3	Stahlstift d = 2,5 mm	Lochleibung entspr. EN 383 Kraft senkrecht zur Plattenlängsseite	7d	5
AR.4	Stahlstift d = 2,5 mm	Lochleibung entspr. EN 383 Kraft senkrecht zur Plattenlängsseite	5d	5
AR.5	Stahlstift d = 2,5 mm	Lochleibung entspr. EN 383 Kraft senkrecht zur Plattenlängsseite	3d	5
BR.1	Nägel d = 2,2 mm	Verbindungsprüfung entspr. EN 26891 Kraft parallel zur Plattenlängsseite	10d	3
BR.2	Nägel d = 2,2 mm	Verbindungsprüfung entspr. EN 26891 Kraft parallel zur Plattenlängsseite	7d	3
BR.3	Nägel d = 2,2 mm	Verbindungsprüfung entspr. EN 26891 Kraft parallel zur Plattenlängsseite	5d	3
BR.5	Klammer d = 1,5 mm	Verbindungsprüfung entspr. EN 26891 Kraft parallel zur Plattenlängsseite	10d	3
BR.6	Klammer d = 1,5 mm	Verbindungsprüfung entspr. EN 26891 Kraft parallel zur Plattenlängsseite	7d	3
BR.7	Klammer d = 1,5 mm	Verbindungsprüfung entspr. EN 26891 Kraft parallel zur Plattenlängsseite	5d	3

3.1 Prüfvorrichtungen

Die Prüfvorrichtungen mit eingebauten Prüfkörpern sind in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.

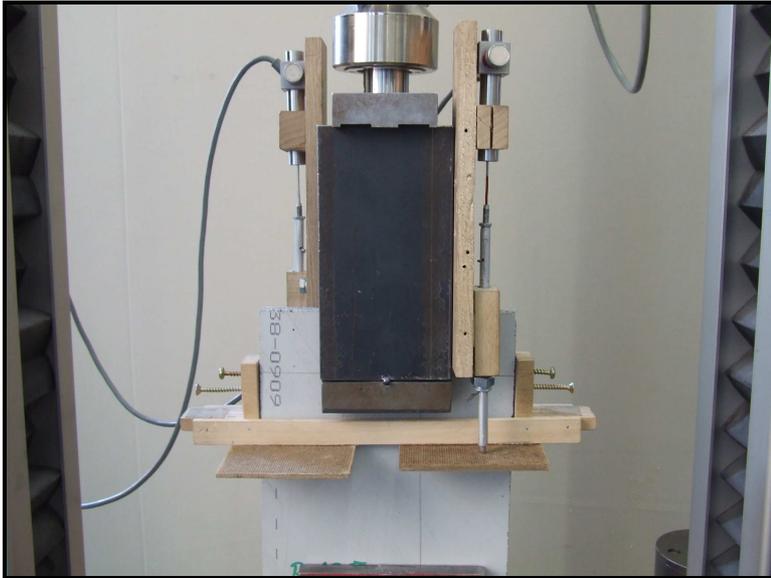


Abbildung 1 Vorrichtung zur Prüfung der Lochleibungsfestigkeit mit Beanspruchung des Stahlstifts senkrecht zum Plattenrand

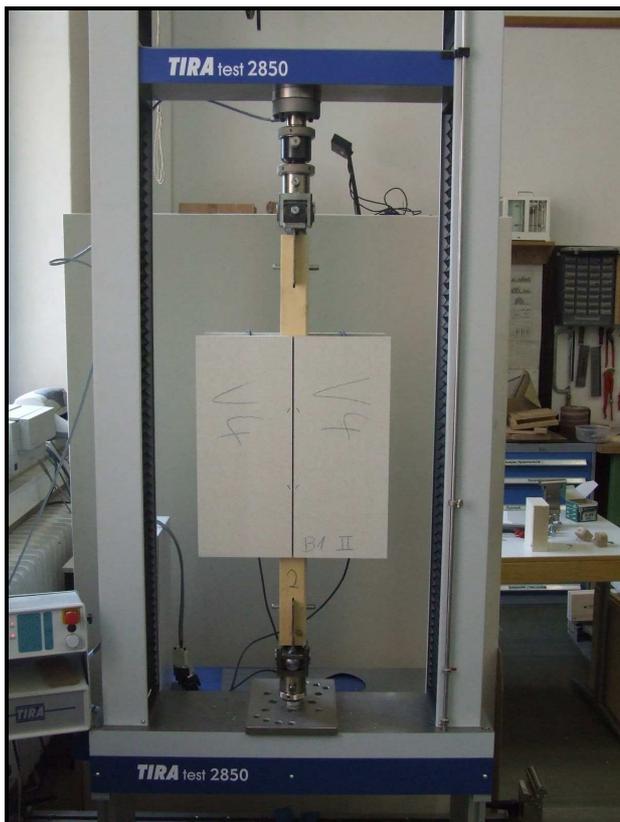


Abbildung 2 Vorrichtung zur Prüfung der Tragfähigkeit des Verbundes mit Beanspruchung der Verbindungsmittel parallel zum Plattenrand

Die Prüfungen werden mit einer Universalprüfmaschine des Typs TIRAtest 2850 E12 (Höchstkraft 50 kN) durchgeführt. Die Prüfmaschine ist mit einer

Kraftmesseinrichtung ausgestattet, die die Anforderungen der DIN EN 26891 in Abschnitt 7a erfüllt. Zur Messung der auftretenden Verschiebung wurden 2 Inkremental-Messtaster des Typs ST3088 der Firma Heidenhain mit einer Systemgenauigkeit von $\pm 0,001\text{mm}$ verwendet. Als Weggröße wird der Mittelwert der Messwerte beider Wegaufnehmer berechnet. Diese sind spiegelsymmetrisch zur Kraftachse angeordnet.

3.2 Anfertigung der Probekörper AR1 bis AR5 nach DIN EN 383

3.2.1 Probekörper zur Bestimmung der Randlochfestigkeiten Senkrecht zum Rand

Zu Beginn wurde der Aufbau der Prüfkörper aus der DIN EN 383 zur Kenntnis genommen. Danach wurden die Platten ausgewählt und nach den Prüfserien nummeriert, zusätzlich wurden die Plattendicken bestimmt.

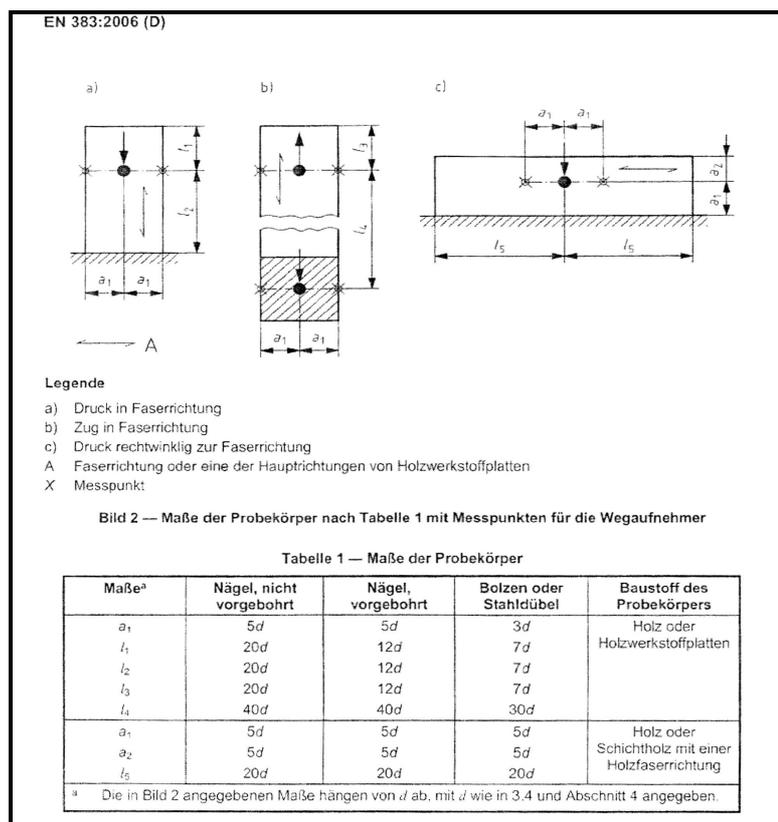


Abbildung 3 Prüfkörperanordnung nach DIN EN 383

Auf den Platten wurden die Randlochabstände der Verbindungsmittel angezeichnet. Im Anschluss wurden die Verbindungsmittel durch den Prüfkörper, an den markierten

Stellen, durchgedrückt bis diese mittig vom Prüfkörper waren. Somit wurde ein schonender und kontinuierlicher Verbindungsmittelintrieb gewährleistet. Bei einem nicht kontinuierlichen Eintrieb, z.B. beim Eintreiben mit einem Druckluftnagler, kann es zur Beschädigung der inneren Struktur des Werkstoffes kommen und somit zu einem vorzeitigen Versagen.

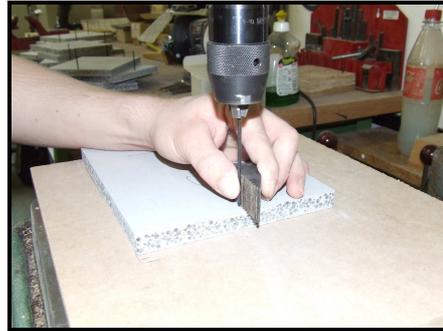


Abbildung 4 Senkrechtes Eintreiben des Nagels mit Hilfsvorrichtung

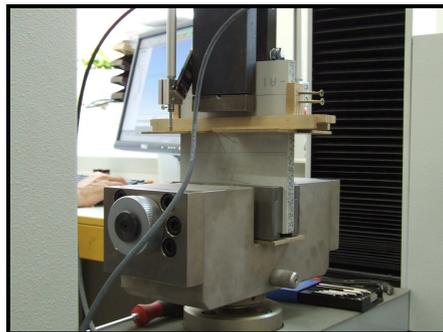
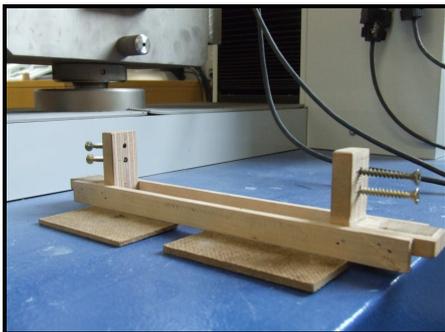


Abbildung 5 Vorrichtung zur Befestigung der Wegaufnehmer

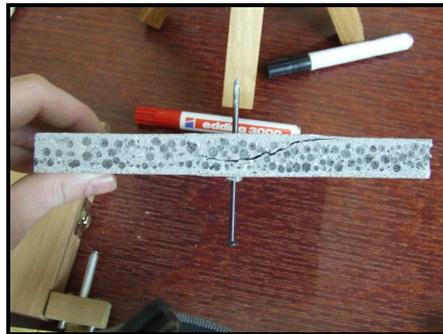
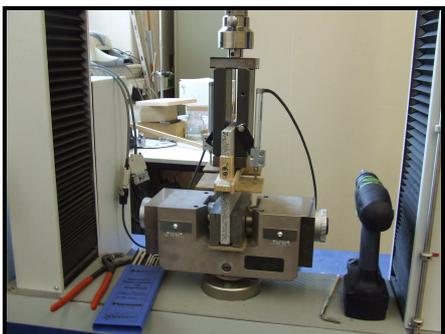


Abbildung 6 Probekörper vor und nach der Prüfung

3.3 Anfertigung der Probekörper BR1 bis BR8 nach DIN EN 26891

3.3.1 Probekörper zur Bestimmung der Randlochfestigkeiten Parallel zum Plattenrand

1. Die Probekörper haben folgenden Aufbau:

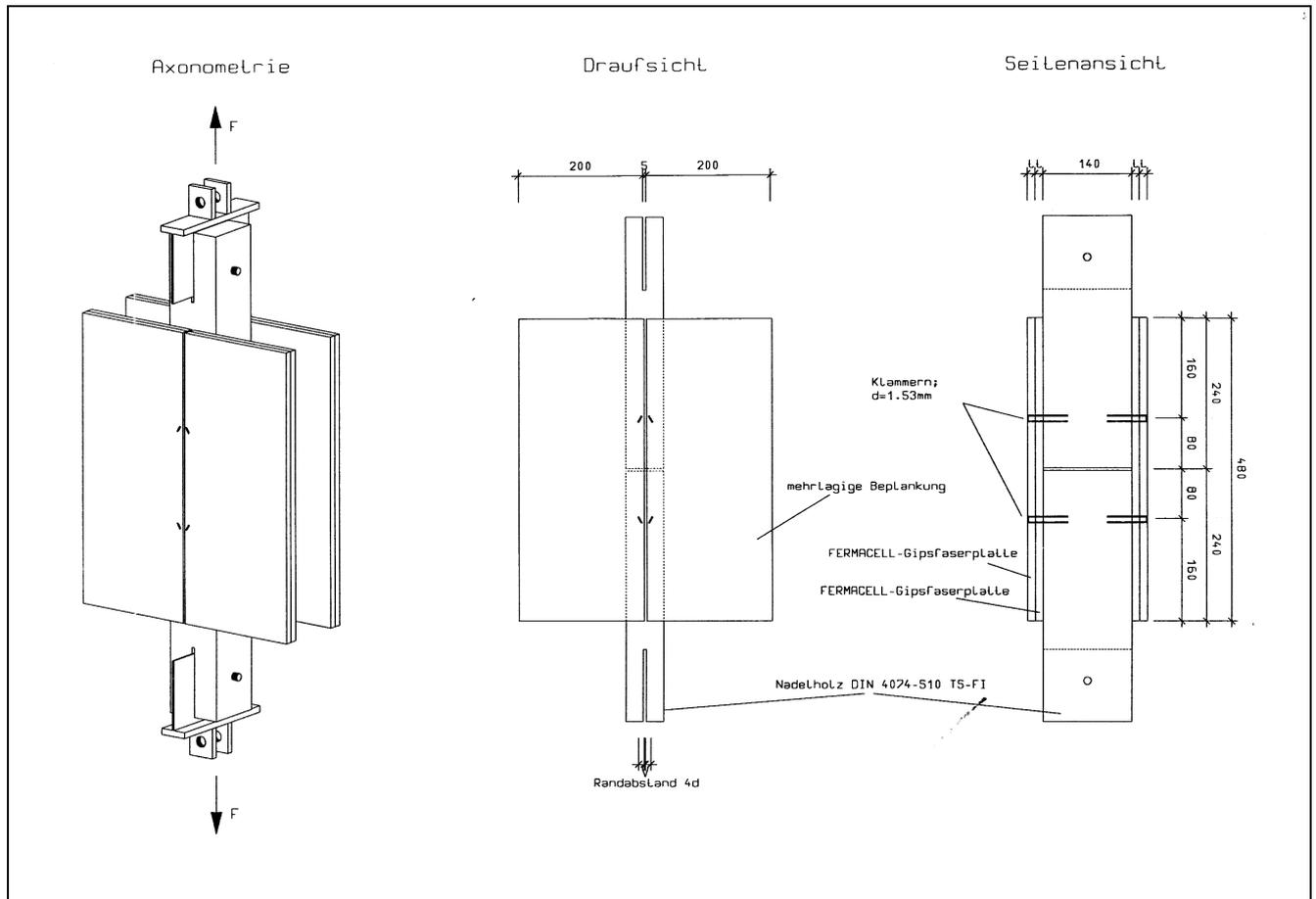


Abbildung 7 Darstellung des Prüfkörpers

Vier Platten mit den Abmessungen 200 x 480 mm wurden beidseitig an zwei Hölzern mit Nägeln bzw. mit Klammern befestigt, sodass ein Verbindungsmittel pro Platte und Belastungsseite verwendet wurde. An den beiden Enden der Hölzer wurden die Hölzer eingeschlitzt um eine Aufnahme der Probekörper mit Schlitzblechen und Stabdübel herzustellen.

2. Fertigung des Probekörpers

Zu Beginn wurden die Platten sortiert, dabei wurden die Platten mit der gleichen Nummerierung aus dem vorherigen Prüfungsgang verwendet, um später die Festigkeiten vergleichen zu können.

Die Hölzer für die Probekörper wurden sorgfältig ausgewählt so dass der Faserverlauf möglichst ungestört ist und im Bereich der Verbindungsmittel keine Äste enthalten sind. Zudem wurden die Hölzer in 3 Klassen mit unterschiedlichen Jahrringbreiten eingeteilt. Die Hölzer wurden zugeschnitten und nummeriert.

Um feststellen zu können ob die Plattendicke einen Einfluss auf die Festigkeiten hat wurden diese im Vorfeld ermittelt und notiert.

Zur Vernagelung / Verklammerung wurden die Hölzer und Platten in eine Vorrichtung gelegt um die Prüfkörper möglichst einheitlich herstellen zu können.



Abbildung 8 Vorrichtung zur Fertigung der Prüfkörper

Um die gewählten Randabstände einhalten zu können wurde bei der Vernagelung mit Schablonen gearbeitet, die für die jeweiligen Verbindungsmittel und Randabstände angefertigt wurden. Die Nägel und Klammern wurden mit einem Druckluftnagler der Firma Haubold eingetrieben.

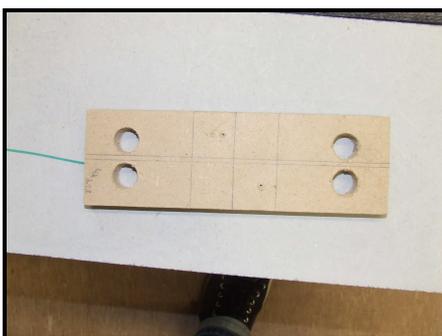


Abbildung 9 Nagelschablone zur Eintreibung von Nägeln

3.4 Belastungsverfahren für AR1 – AR5 n. DIN 383 und für BR1 - BR8 nach DIN EN 26891

Die in Tabelle 1 aufgeführten Prüfungen werden in Anlehnung an DIN EN 26891:1991 durchgeführt. Diese Norm schreibt das in der Abbildung 2 dargestellte Belastungsverfahren vor. Im Steifigkeits-Vorlastzyklus erfolgt danach die Lastaufbringung bis auf 40 % Prozent einer vor Prüfungsbeginn abzuschätzenden Höchstlast F_{est} (Punkte 0→04) und ist dort für 30 Sekunden konstant zu halten (Punkte 04→14). Anschließend folgt eine Entlastung auf $0,1 \cdot F_{est}$ (14→11) und bei konstantem Lastniveau eine weitere Pause von 30 Sekunden (11→21). Zur Bestimmung der maximalen Prüflast folgt nach der Pause die Tragfähigkeitsprüfung (Punkte 21→29→Bruch) bei der die Last bis zum Erreichen der Bruchlast oder Grenzverformung zu steigern ist.

Gleiches Prinzip gilt für die Ermittlung der Randlochfestigkeit nach DIN EN 383.

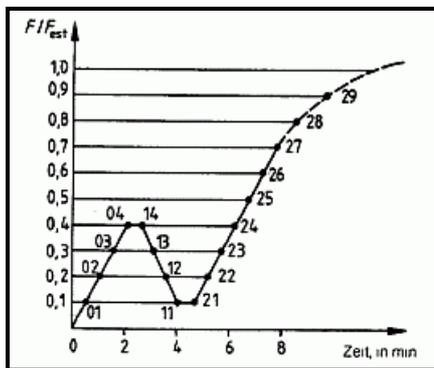


Abbildung 10: Belastungsverfahren nach DIN EN 26891

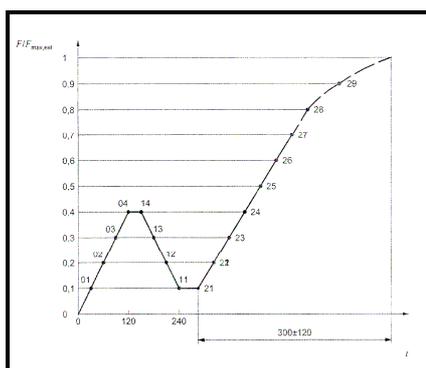


Abbildung 11 Belastungsverfahren nach DIN EN 383

4 Auswertung der Prüfungsergebnisse der Randlochfestigkeit nach DIN EN 383

4.1 Vorprüfung

Herstellungsbedingt gibt es einen Unterschied zwischen den Platten. Um die Herstellrichtung der Platten zu berücksichtigen wurden Vorprüfungen durchgeführt. Zum einen wurde die Lochleibungsfestigkeit parallel zur Herstellrichtung durchgeführt zum Anderen senkrecht zur Herstellrichtung. Für die Vorprüfungen wurden die Randabstände 20D und 25D gewählt. (mit $D =$ Durchmesser der Verbindungsmittel)

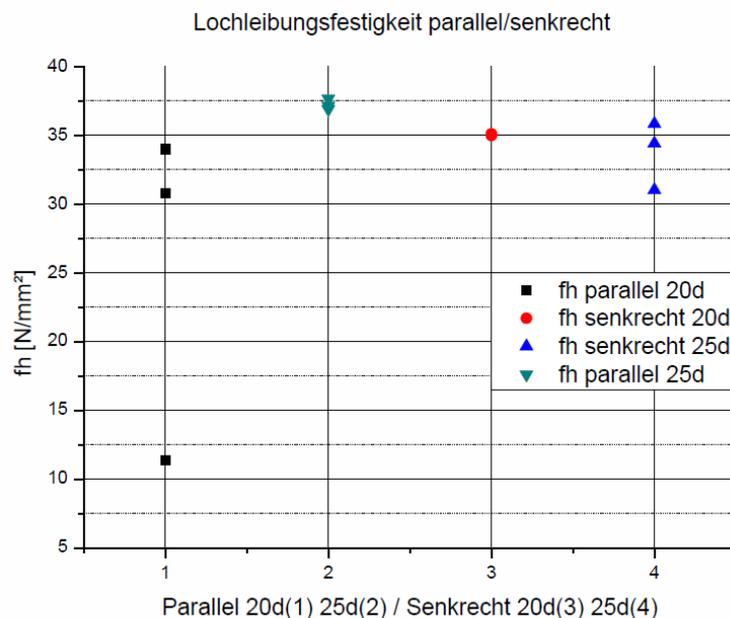


Abbildung 12 Lochleibungsfestigkeit abhängig von der Herstellrichtung der Platte

In dem Diagramm in Abbildung 12 sind die unterschiedlichen Randabstände und unterschiedlichen Herstellrichtungen in Abhängigkeit der Lochleibungsfestigkeit f_h in N/mm^2 dargestellt. Dem Diagramm ist zu entnehmen dass die Festigkeiten parallel zur Herstellrichtung bei einem Randabstand von 20D geringer sind als senkrecht zur Herstellrichtung, jedoch ist die Streuung parallel zur Herstellrichtung sehr hoch im Vergleich zu den restlichen Prüfungen. Jedoch bei einem Randabstand von 25D hat die Herstellrichtung einen geringeren Einfluss auf die Festigkeit, denn die Festigkeiten liegen dichter beieinander. Zusammenfassend ist festzustellen dass die Herstellrichtung einen sehr geringen Einfluss auf die Lochleibungsfestigkeit hat und dass der Einfluss der Herstellrichtung bei größeren Randabständen abnimmt.

Aus den Ergebnissen der Vorprüfung entnehmen wir dass die Prüfungen parallel zur Plattenrichtung geringere Lochleibungsfestigkeiten liefern. Aus dem diesem Grund haben wir uns entschieden alle Prüfungen parallel zur Herstellrichtung zu prüfen.

4.2 Hauptprüfung

Nach den Hauptprüfungen der Lochleibungsfestigkeiten ist nachfolgend die Auswertung der Lochleibungskraft beschrieben. Die Randlochfestigkeit ist abhängig vom Randabstand der Verbindungsmittel Abbildung 12. Mit Vergrößerung des Randabstandes nimmt die Lochleibungsfestigkeit zu. So ergibt sich bei einem Randabstand von 3d die Lochleibungsfestigkeit zu 11,67 N/mm² wobei die Festigkeit bei einem Randabstand von 20d bei 34,47 N/mm² liegt.

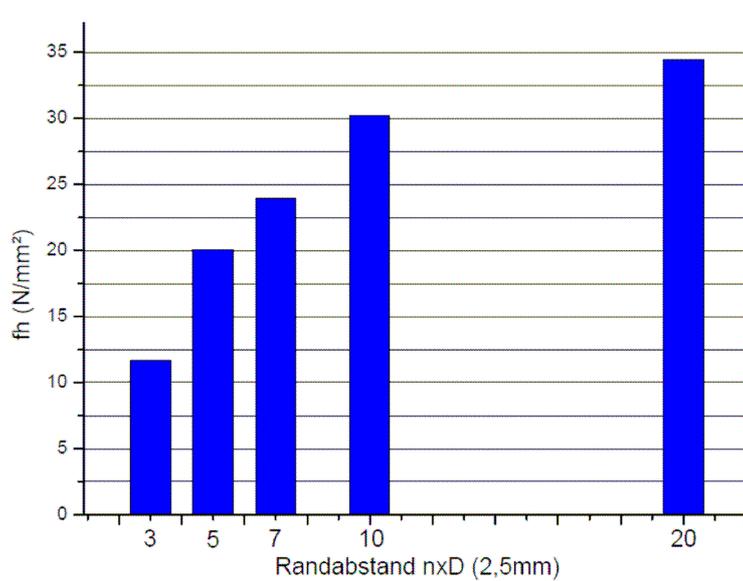


Abbildung 13 Randlochfestigkeit in Abhängigkeit des Randabstandes

Die folgende Abbildung 14 schafft einen Überblick über die gesamte Prüfung. Es sind jeweils die minimalen, mittleren und maximalen Werte der Lochleibungsprüfungen aufgezeigt.

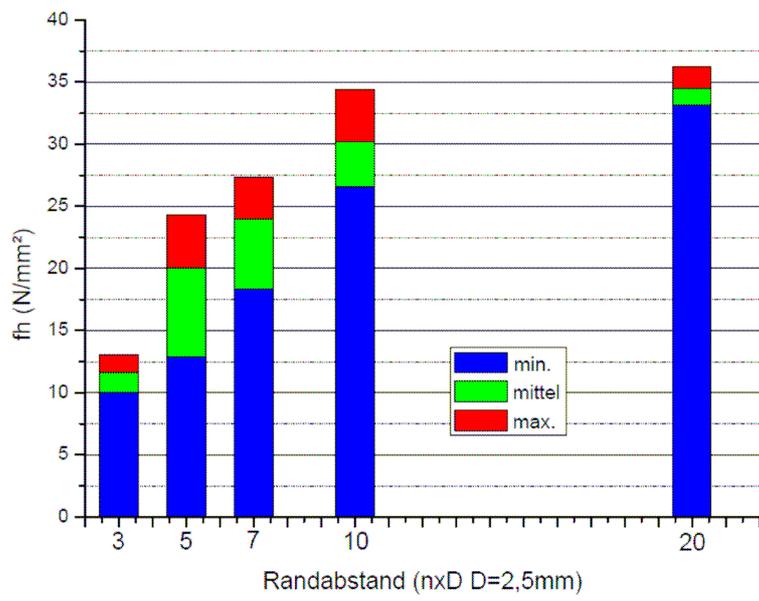


Abbildung 14 Lochleibungsfestigkeit max. mittel min. Werte

Abhängigkeiten der Lochleibungsfestigkeit zur Plattendicke des Prüfkörpers werden hier nicht weiter beachtet, da diese direkt in die Berechnung der Lochleibungsfestigkeit f_h mit ein geht.

$$f_h = F_{\max} / (d * t)$$

F_{\max} = Höchstlast in Newton

d = Querschnittsmaß des Verbindungsmittels, in Millimeter

t = Dicke des Prüfkörpers (Plattendicke), in Millimeter

4.3 Versagensarten der Prüfkörper

Bei den Prüfungen stellten sich folgende Versagensarten ein. Bei dem Verbindungsmittelabstand von 20d (50mm) hat sich die Platte aufgeschoben. Das Verbindungsmittel hat das innere Gefüge der Platte in Kraftrichtung gestaucht.

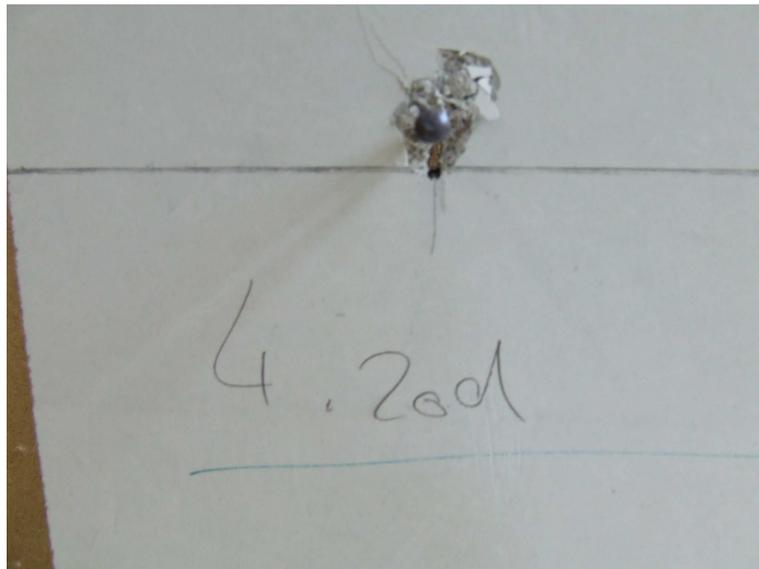


Abbildung 15 Versagen des Probekörpers bei 20d, Vorderseite



Abbildung 16 Versagen des Probekörpers bei 20d, Rückseite

Bei einem Verbindungsmittelabstand von $3d$ (7,5mm) ist die Platte in Krafrichtung ausgebrochen.

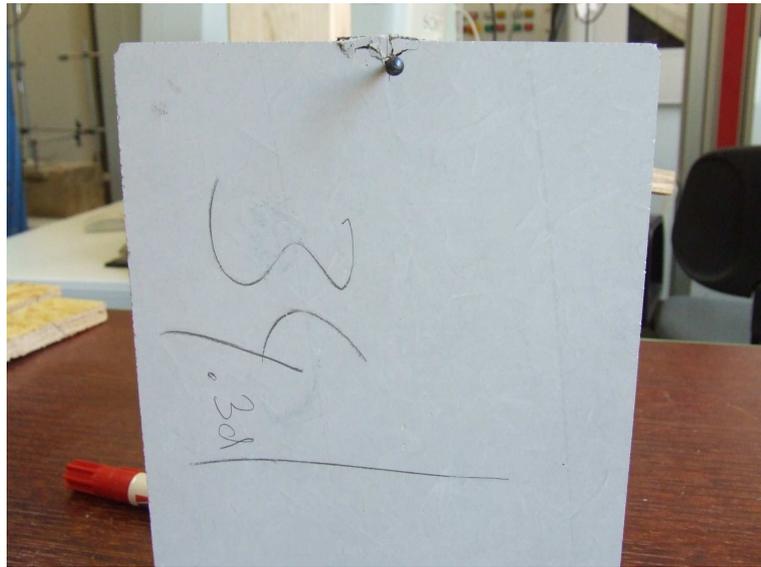


Abbildung 17 Versagen des Prüfkörpers bei $3d$, Vorderseite



Abbildung 18 Versagen des Prüfkörpers bei $3d$, Rückseite

5 Auswertung der Prüfungsergebnisse der Verbindungsprüfung nach DIN EN 26891

5.1 Verbindungsmittelprüfung mit Klammern und Nägel

Bei der Verbindungsmittelprüfung wurden zwei Verbindungsmittel eingesetzt. Es handelt sich hierbei um Nägel mit dem Durchmesser 2,2mm und Klammern mit dem Durchmesser 1,5mm. Im folgenden Diagramm, Abbildung 19, werden die mittleren Verbindungskräfte pro Verbindungsmittel der beiden Verbindungsmittel dargestellt. Diese Prüfungen wurden mit einem Randabstand von 5-, 7- und 10-mal dem Verbindungsmitteldurchmesser durchgeführt.

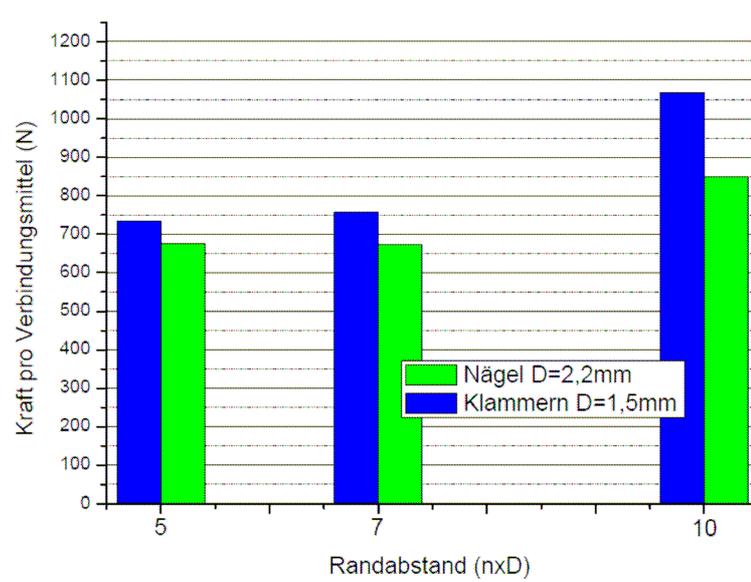


Abbildung 19 Kraft pro Verbindungsmittel, Klammer und Nagel

In den Abbildungen 20 und 21 werden wiederum die minimalen, mittleren und maximalen Werte der Prüfungen gezeigt.

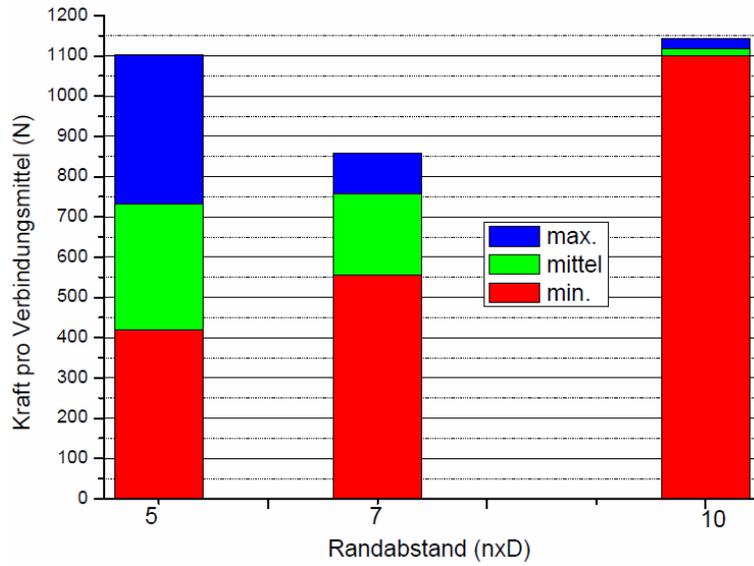


Abbildung 20 Kraft pro Klammer, max. mittel min Werte

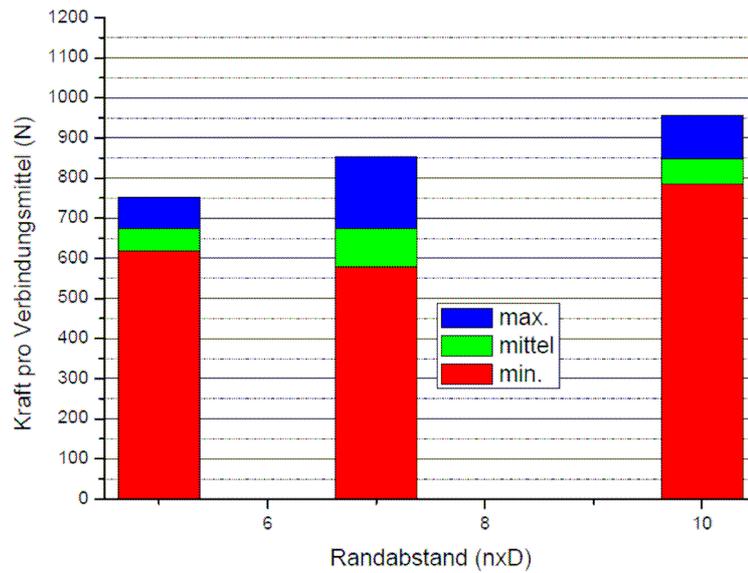


Abbildung 21 Kraft pro Nagel, max. mittel min. Werte

5.2 Einflüsse auf die Prüfergebnisse

Da die Prüfkörper, beschrieben in Abschnitt 3.3, nicht nur aus dem zu prüfendem Material bestehen, muss der Einfluss der Hölzer begutachtet werden. Die Abbildungen 22 und 23 zeigen die gewählten 3 Klassen der Hölzer die für die Prüfung verwendet wurden. Auf der X-Achse sind die Jahrringklassen aufgeführt, von fein bis grob. Wenn die Jahrringabstände einen Einfluss auf die Prüfung haben sollte ein klarer Fall der Kraft von links nach rechts zu erkennen sein. Dies ist hier nicht der Fall von daher gehen wir davon aus das die bei der Prüfung verwendeten Hölzer keinen Einfluss auf die Prüfergebnisse haben.

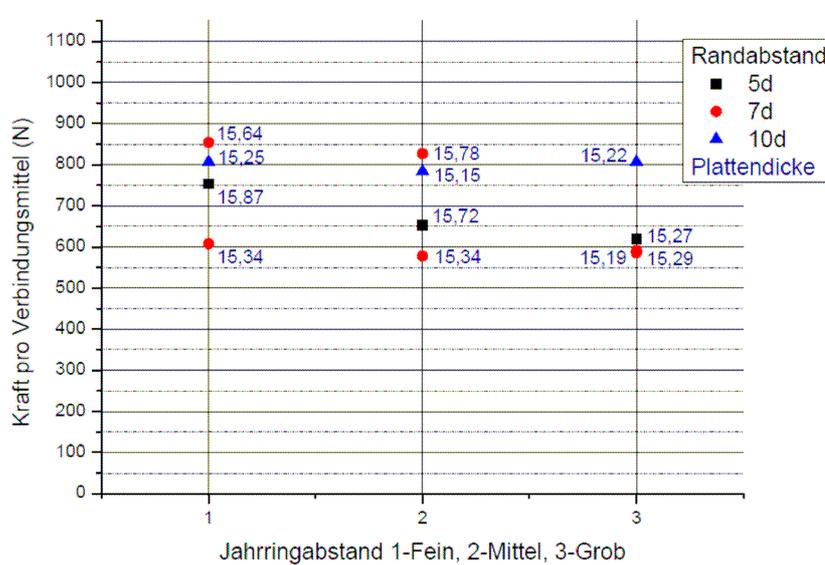


Abbildung 22 Einfluss der Jahrringabstände auf die Prüfung, Nagel

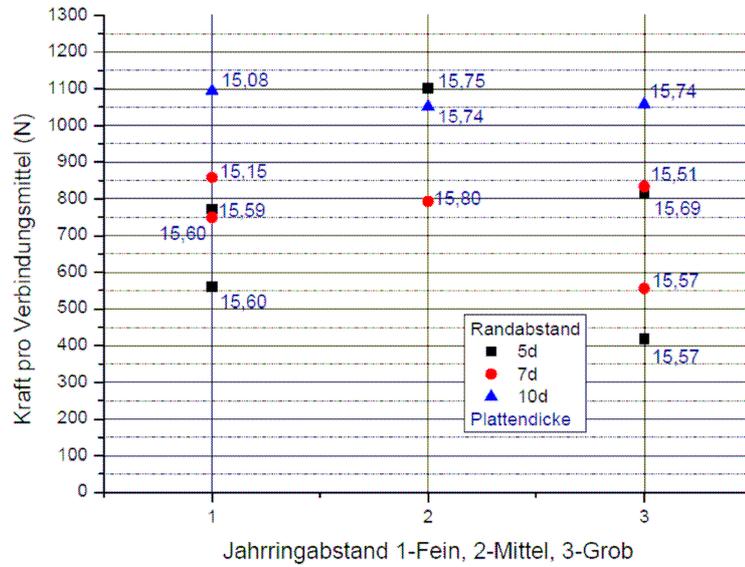


Abbildung 23 Einfluss der Jahrringabstände auf die Prüfung, Klammer

Zuletzt wird noch der Einfluss der Plattendicken auf die Prüfung untersucht.

Auf der Abbildung 24 sind die Einflüsse der Plattendicke auf die Prüfergebnisse der Verbindungsprüfung mit dem Nagel dargestellt. Hier kann man erkennen, dass mit der Dicke der Platte auch die aufnehmbare Kraft ansteigt. Hierbei muss das Versagen der Verbindung weiter untersucht werden.

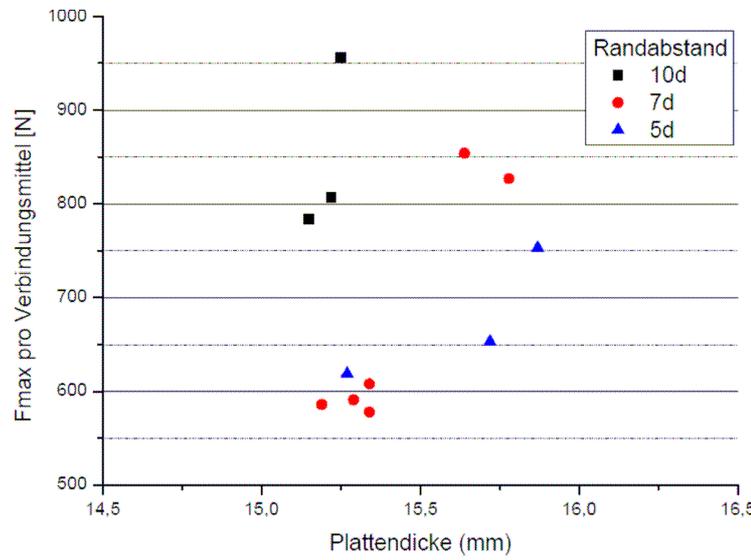


Abbildung 24 Einfluss der Plattendicke auf die Prüfung, Nagel

Bei der Verbindungsprüfung bei der Klammern als Verbindungsmittel verwendet worden sind kann man diesen Trend nicht erkennen.

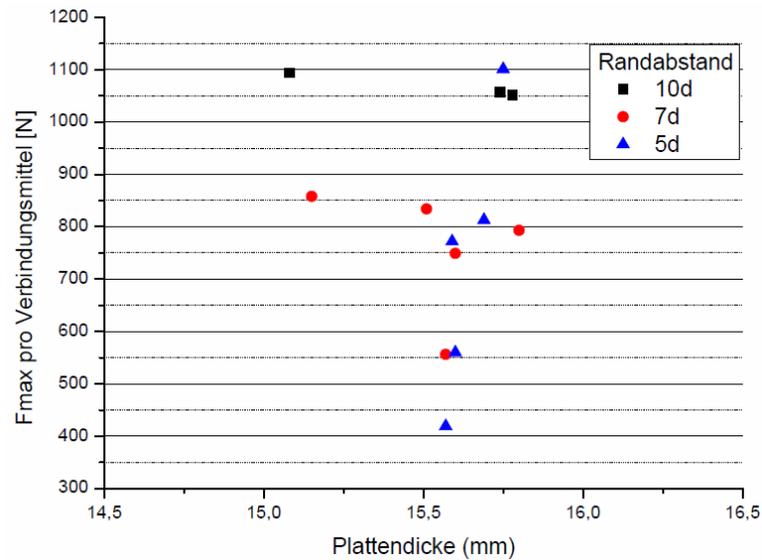


Abbildung 25 Einfluss der Plattendicke auf die Prüfung, Klammer

5.3 Versagensarten der Prüfkörper

5.3.1 Kopfdurchziehen

Bei den Prüfungen mit Randabständen von 10d ist ausschließlich ein Kopfdurchziehen des Nagels durch die Platte zu beobachten.



Abbildung 26 Versagen durch Kopfdurchziehen

5.3.2 Nachgeben des Nagels durch Verformung in Krafrichtung – Randausbruch – Kopfdurchziehen

Bei den Randabständen von $7d$ ist hauptsächlich eine Verformung des Nagels in Krafrichtung zu beobachten, dabei wird der Nagel verformt und herausgezogen. An einigen Verbindungen ist der Rand etwas ausgebrochen und der Nagelkopf hat sich durch Platte gezogen.

Bei den Verbindungsprüfungen mit einem Randabstand von $5d$ ist das Versagen überwiegend durch Ausbrechen des Randes zu beobachten. Jedoch treten auch andere Versagensformen wie Kopfdurchziehen und Verformungen des Nagels in Krafrichtung auf.



Abbildung 27 Versagen durch Verformung des Nagels und Ausbrechen des Randes



Abbildung 28 Versagen durch Kopfdurchziehen und Ausbrechen des Randes

6 Literatur

DIN EN 26891: *Holzbauwerke; Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln; Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens (ISO 6891:1983)*

Deutsche Fassung EN 26891:1991

DIN EN 383: *Holzbauwerke; Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit und Bettungswerte für stiftförmige Verbindungsmittel;*

Deutsche Fassung EN 383:1993