

Kalibrierung der Betriebs-Biegeprüfung
in Holzleimbaubetrieben zur
Überprüfung der maschinell sortierten
Brettlamellen anhand von nach EN 408
im Labor geprüften Zugprüfkörpern

T 2662

T 2662

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

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.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Vergleichende Betrachtungen europäischer Bauprodukten-Normen
mit nationalen Bestimmungen

Teilprojekt

**Kalibrierung der Betriebs-Biegeprüfung in Holzleimbaubetrieben
zur Überprüfung der maschinell sortierten Brettlamellen anhand
von nach EN 408 im Labor geprüften Zugprüfkörpern**

Bericht 93505

Abschlußbericht an das Deutsche Institut für Bautechnik, Berlin
(Projekt - Nr. E - 92/71)

P. Glos, D. Henrici und B. Lederer

1994

Inhaltsverzeichnis

1.	Aufgabenstellung	3
2.	Versuchsprogramm	4
3.	Materialauswahl für die Biege- und Zugproben	5
3.1	Zuordnung von Sortierklasse und Sortierparameter	5
3.2	Entnahme der Brettlamellen für die Biegeproben	6
3.3	Auswahl der entsprechenden Zugproben aus der Datenbank	6
4.	Durchführung der Biegeprüfung	7
4.1	Bestimmung der Holzeigenschaften der Biegeproben	7
4.1.1	Rohdichte, Darrdichte	7
4.1.2	Ästigkeit	7
4.1.3	Holzfeuchte	8
4.2	Bestimmung der Biegefestigkeit und des Biege-E-Moduls	8
5.	Ergebnisse der Untersuchungen	9
5.1	Ergebnisse der Holzeigenschaftsbestimmung.	9
5.2	Ergebnisse der Biegeprüfung	10
5.2.1	Allgemeine Ergebnisse	10
5.2.2	Ergebnisse nach Sortierklassen getrennt	10
5.3	Zusammenhang zwischen Zugfestigkeit und Biegefestigkeit	11
6.	Vorschlag für Grenzwerte der 'Betriebs-Biegefestigkeit'	11
7.	Zusammenfassung	12
8.	Schrifttum	14

Anhang

Tabellen 1 bis 4	15 - 18
Bilder 1 bis 12	19 - 30

1. Aufgabenstellung

Mit der Einführung des Eurocode 5 und der zugehörigen europäischen Stoffnormen sowie auch mit der beabsichtigten Ergänzung der Holzbaunorm DIN 1052 ist zunehmend eine maschinelle Sortierung von Schnittholz in Holzleimbaubetrieben, später auch in anderen Produktbereichen, zu erwarten.

Für die maschinelle Festigkeitssortierung steht zur Zeit eine Sortiermaschine vom Typ Euro-GreComat zur Verfügung¹, der auch für die vorliegende Untersuchung eingesetzt werden sollte.

Während nach der europäischen Norm EN 519 im Regelfall nur eine Überwachung der Arbeitsfunktionen der Sortiermaschine vorgesehen ist, hält der Beratungsausschuß DIN 4074 zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der maschinellen Sortierung - zumindest während einer Erprobungsphase - eine zusätzliche Kontrolle des maschinell sortierten Holzes für erforderlich. Diese Kontrolle soll vor Ort durch eine tägliche Prüfung je eines Brettes jeder Sortierklasse erfolgen. Die Prüfung soll als Biegeprüfung auf einem einfachen Biegeprüfstand durchgeführt werden, wie er in Holzleimbaubetrieben zur routinemäßigen Prüfung von Keilzinkenverbindungen bereits verwendet wird. Dadurch soll eine einfache Qualitätskontrolle mit betriebseigenen Mitteln des Holzleimbaubetriebes ermöglicht werden.

Da für die Einstufung der Brettlamellen in die jeweiligen Sortierklassen deren charakteristische **Zugfestigkeit** maßgebend ist, ist eine Kalibrierung des vorgesehenen Biegeversuchs anhand von Zugversuchen erforderlich, die im Labor nach EN 408 durchgeführt wurden. Auf dieser Grundlage können zur Fremd- und Eigenüberwachung des Holzleimbaubetriebes für die einzelnen Sortierklassen entsprechende 'Betriebs-Biegefestigkeiten'

¹ Dieser Maschinentyp hat im November 1993 die Prüfung nach DIN 4074, Teil 3, erfolgreich bestanden und die Genehmigung zum Führen des DIN-Prüf- und Überwachungszeichens erhalten. Inzwischen sind drei Maschinen in Holzleimbau- bzw. Zulieferbetrieben installiert worden.

der Brettlamellen als Grenzwerte angegeben werden, die mindestens erreicht werden müssen, wenn eine einwandfreie Arbeitsweise der Sortiermaschine gewährleistet werden soll.

2. Versuchsprogramm

Für die Untersuchung sollten in einem Holzleimbaubetrieb aus der laufenden Produktion maschinell in die Sortierklassen MS7, MS10, MS13 und MS17 sortierte, 36 mm dicke Fichtenbretter ausgewählt und diesen Brettern diejenigen Brettabschnitte entnommen werden, die für die Einstufung in die jeweilige Sortierklasse maßgebend gewesen waren.

Nach diesem Verfahren sollten von jeder Sortierklasse jeweils 20 Brettabschnitte für die Biegeprüfung repräsentativ gezogen werden. Als Brettbreiten waren in Anlehnung an die bereits vorliegenden Zugversuche

132 mm, 175 mm und 212 mm

vorgesehen.

Gleichzeitig sollten die wichtigsten, von der Sortiermaschine während des Sortiervorgangs erfaßten Daten der Bretter abgefragt und zur weiteren Auswertung geeignet dokumentiert werden.

Um für den Vergleich von Biegefestigkeit und Zugfestigkeit ein Brettpaar mit möglichst gleichen Eigenschaften zu erhalten, sollten aus früheren Zugversuchen aus einer vorhandenen Datenbank entsprechend viele Zugproben so ausgewählt werden, daß der Sortierparameter der Zugprobe möglichst gut mit dem der Biegeprobe übereinstimmt.

Auf diese Weise sollte für jede Sortierklasse eine Beziehung zwischen der auf einem einfachen Biegeprüfstand im Betrieb bestimmten **Biegefestigkeit** (Betriebs-Biegeprüfung) und der entsprechenden **Zugfestigkeit** der maschinell sortierten Brettlamelle ermittelt und daraus geeignete Grenzwerte für die laufende Qualitätskontrolle abgeleitet werden.

Zur wirklichkeitsnahen Simulierung der Betriebs-Biegeprüfung sollte eine Biegevorrichtung verwendet werden, die in ihrem Funktionsprinzip und in ihren wesentlichen Abmessungen der

Prüfvorrichtung entspricht, wie sie in Holzleimbaubetrieben zur vorgeschriebenen Prüfung von Keilzinkenverbindungen standardmäßig eingesetzt wird (Bild 1).

3. Materialauswahl für die Biege- und Zugproben

3.1 Zuordnung von Sortierklasse und Sortierparameter

Als Auswahl- und Vergleichskriterium für die Zuordnung von Biege- und Zugprüfkörper wurde der von der Sortiermaschine bestimmte Sortierparameter $f(EAB)$ herangezogen. Dieser wird nach einer fest vorgegebenen Beziehung aus den Meßgrößen **E**-Modul, **Ä**stigkeit, **B**rett-**B**reite und **R**ohdichte ermittelt.

Nach diesem Sortierparameter $f(EAB)$ wird das maschinell sortierte Holz den jeweiligen Sortierklassen wie folgt zugeordnet:

MS 7	:	10 N/mm ²	≤	$f(EAB)$	<	18 N/mm ²
MS 10	:	18 N/mm ²	≤	$f(EAB)$	<	31 N/mm ²
MS 13	:	31 N/mm ²	≤	$f(EAB)$	<	40 N/mm ²
MS 17	:	40 N/mm ²	≤	$f(EAB)$		

Bretter mit einem Sortierparameter $f(EAB) < 10 \text{ N/mm}^2$ wurden in die Untersuchung nicht einbezogen.²

Der Sortierparameter sowie weitere wichtige Brettdaten wie minimaler E-Modul und E-Modulverlauf, Rohdichte, Astparameter, Abmessungen und Lagekoordinaten, die während der Brettsortierung von der Sortiermaschine laufend erfaßt und gespeichert werden, wurden zur weiteren Auswertung im Labor auf einen Datenträger (Diskette) kopiert.

² Zum Zeitpunkt der Durchführung dieser Untersuchung war die untere Klassengrenze der Sortierklasse MS7 noch nicht festgelegt. Es wurde hier daher der auf der ungünstigen Seite liegende Wert 10 N/mm² gewählt.

3.2 Entnahme der Brettlamellen für die Biegeproben

Aus der laufenden Produktion eines süddeutschen Brettschicht-holzherstellers wurden vorgehobelte, 36 mm dicke und unterschiedlich breite Brettlamellen für die herzustellenden Biegeprüfkörper unmittelbar nach der maschinellen Sortierung entnommen.

Die Biegeproben wurden dann aus den sortierten Brettlamellen wie folgt hergestellt: Auf dem etwa 5 m langen, sortierten Brett wurden anhand der ausgegebenen Sortierdaten die Stellen mit den relativen Minima des Sortierparameters aufgesucht und die erforderliche Biegeprobenlänge von etwa 0,9 m so eingepaßt, daß der maßgebende Querschnitt - das relative Minimum von $f(EAB)$ - in der Mitte des Prüfbereichs der späteren Biegeprobe zu liegen kam. Der so markierte und gemäß Abschnitt 3.1 einer bestimmten Sortierklasse zugeordnete Brettabschnitt wurde dann aus der Brettlamelle herausgeschnitten.

Auf diese Weise wurden insgesamt 95 Brettabschnitte für die Biegeproben gezogen, deren Sortierparameter weitgehend gleichmäßig über die einzelnen Klassenbreiten verteilt waren. Einen Hinweis auf die Gleichmäßigkeit der erhaltenen Verteilung gibt **Bild 2**, in das auch die jeweiligen Grenzwerte des Sortierparameters nach Abschnitt 3.1 eingezeichnet sind.

Der Umfang der entnommenen Kollektive von Biegeprüfkörpern sowie der jeweilige Mittelwert des Sortierparameters $f(EAB)$ geht aus **Tabelle 1** hervor, die Klassifizierung der Proben nach den Sortierklassen MS7 bis MS17 zeigt **Tabelle 2**.

3.3 Auswahl der entsprechenden Zugproben aus der Datenbank

Für die Untersuchung des Zusammenhangs Biegefestigkeit-Zugfestigkeit wurden aus einer vorhandenen Datenbank, in der die Ergebnisse von über 1000 Zugversuchen an maschinell sortierten Fichten-Brettern archiviert sind, 95 Zugprüfkörper jeweils so ausgewählt, daß bei annähernd gleicher Brettbreite der Sor-

tierparameter $f(\text{EAB})$ der auszuwählenden Zugprobe mit dem der gezogenen Biegeprobe möglichst gut übereinstimmte. Standen mehrere Zugproben mit annähernd gleichem Sortierparameter zur Auswahl, wurde die Zugprobe gewählt, deren Rohdichte- und Ästigkeitswerte mit denen der Biegeprobe am besten übereinstimmten.

Tabelle 3 zeigt die nach Brettbreiten zusammengestellten Daten der ausgewählten Zugproben, in **Tabelle 4** sind dieselben Zugproben nach den Sortierklassen MS7 bis MS17 geordnet. Angegeben sind jeweils die statistischen Kennwerte für die Zugfestigkeit β_z , den Zug-E-Modul E_z , die Rohdichte ρ_{12} und ρ_0 , die Ästigkeit a_{DAB} (siehe Abschnitt 4.1.2) sowie den Sortierparameter $f(\text{EAB})$.

Bild 2 zeigt graphisch die Güte der Zuordnung der 95 Probenpaare in bezug auf den Sortierparameter. Die Entsprechung ist sehr gut, wie der Korrelationskoeffizient von 1,0 ausweist.

4. Durchführung der Biegeprüfung

4.1 Bestimmung der Holzeigenschaften der Biegeproben

4.1.1 Rohdichte

Die Rohdichte (ρ_{12}) wurde nach Klimatisierung der Brettlamellenabschnitte im Normklima (20°C/ 65% rLf) unmittelbar vor der Prüfung aus dem Volumen und dem Gesamtgewicht des Prüfkörpers bestimmt.

Die Darrdichte (ρ_0) des Holzes wurde nach der Festigkeitsprüfung an einer jedem Prüfkörper aus der Umgebung der Bruchstelle entnommenen astfreien Holzscheibe, die den gesamten Querschnitt umfaßte, nach DIN 52182 (1976) durch Darren sowie Volumen- und Gewichtsmessung (Auftriebsverfahren) bestimmt.

4.1.2 Ästigkeit

Die Ästigkeit (a_{DAB}) der Biegeprobe wurde nach DIN 4074 (1989) als Astansammlung nach dem Kriterium 'Äste in Brettern und

Bohlen' ermittelt und zum Vergleich mit der Ästigkeit der jeweiligen Zugprobe aus der Datenbank entsprechend dokumentiert.

4.1.3 Holzfeuchte

Die Holzfeuchte (u) der Prüfkörper zum Zeitpunkt der Prüfung wurde an derselben Querschnittsscheibe, die zur Ermittlung der Darrdichte verwendet wurde, gravimetrisch nach DIN 52 183 (1977) ermittelt. Sie lag bei einem Mittelwert von etwa 13% im Bereich von $11,2\% \leq u \leq 14,8\%$.

4.2 Bestimmung der Biegefestigkeit und des Biege-E-Moduls

Die Biegeprüfung erfolgte flachkant mit der in **Bild 1** schematisch dargestellten Prüfvorrichtung in Anlehnung an DIN 52 186 (1978). Die Biegeproben wurden dabei jeweils so geprüft, daß der beim Durchlaufen der Sortiermaschine druckbeanspruchte Querschnittsteil bei der Biegeprüfung ebenfalls druckbeansprucht war.

Die Stützweite zwischen den Auflagern betrug in Übereinstimmung mit der Prüfvorrichtung für die Keilzinken-Standardprüfung in Holzleimbaubetrieben 600 mm und entsprach damit dem 16,7-fachen der Probenhöhe (> 15-fach, DIN 52 186), der Abstand der Kraftangriffspunkte entsprach mit 200 mm ebenfalls dieser Vorrichtung. Der E-Modul wurde nach DIN 52 186 aus der Gesamtdurchbiegung der Probe bestimmt.

Die Biegeprüfung erfolgte bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit und führte im Mittel nach etwa 4 1/2 Minuten zum Bruch der Probe. Die Biegefestigkeit β_B [N/mm²] wurde nach der Formel

$$\beta_B = \frac{3 \cdot F \cdot (l - l')}{2 \cdot b \cdot h^2},$$

der Biege-E-Modul [N/mm²] nach der Formel

$$E_B = \frac{2 \cdot l^3 - 3 \cdot l \cdot l'^2 + l'^3}{8 \cdot b \cdot h^3} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta f}$$

berechnet (DIN 52 186). Es bedeuten (siehe auch Bild 1):

F	:	Bruchkraft	[N]
l	:	Stützweite	[mm]
l'	:	Abstand der Kraftangriffspunkte	[mm]
b	:	Probenbreite	[mm]
h	:	Probenhöhe	[mm]
ΔF	:	Kraftdifferenz im elastischen Verformungsbereich der Probe	[N]
Δf	:	der Kraftdifferenz entsprechende Durchbiegungsdifferenz in Probenmitte	[mm]

5. Ergebnisse der Untersuchungen

5.1 Ergebnisse der Holzeigenschaftsbestimmung

Tabelle 1 zeigt, nach Brettweiten getrennt, die Daten der geprüften Biegeproben. In **Tabelle 2** sind dieselben Biegeproben nach den Sortierklassen MS7 bis MS17 geordnet. Die **Tabellen 3** und **4** enthalten, ebenfalls nach Brettweiten und Sortierklassen getrennt, die entsprechenden Daten der ausgewählten Zugproben.

Angegeben sind in den Tabellen jeweils die statistischen Kennwerte für die Rohdichte ρ_{12} und ρ_0 , die Ästigkeit a_{DAB} sowie den Sortierparameter $f(EAB)$ der Biege- und Zugproben.

Ein Vergleich der Tabellen 1 und 3 bzw. 2 und 4 zeigt, daß die Sortierparameter der Biege- und Zugproben bei jeder Brettweite und in allen Sortierklassen sehr gut übereinstimmen. Wie auch zu erkennen ist, liegt bei der Brettweite 132 mm die Rohdichte über dem Gesamtmittelwert, und auch die Ästigkeit ist überdurchschnittlich groß.

Die **Bilder 3** bzw. **4** zeigen die Zuordnung der Rohdichten bzw. der Ästigkeiten der ausgewählten Probenpaare zueinander. In beiden Fällen ist der Zusammenhang nicht sehr ausgeprägt. Während bei der Rohdichte immerhin noch eine Korrelation von 0,51 vorliegt, ist der Zusammenhang bei der Ästigkeit nur mehr sehr gering. Dies bestätigt die Tatsache, daß Rohdichte und Ästig-

keit die Festigkeit gegenläufig beeinflussen und sich bei der Sortierung gegenseitig kompensieren, da beispielsweise die geringe Rohdichte eines Brettes durch dessen geringe Ästigkeit festigkeitsmäßig ausgeglichen werden kann und umgekehrt.

5.2 Ergebnisse der Biegeprüfung

5.2.1 Allgemeine Ergebnisse

In **Tabelle 1** sind auch die nach Brettbreiten zusammengestellten Ergebnisse der **Festigkeitsprüfung** der Biegeproben angegeben, in **Tabelle 2** sind dieselben Ergebnisse nach den Sortierklassen MS7 bis MS17 geordnet. Angegeben sind die statistischen Kennwerte für die Biegefestigkeit β_b und den Biege-E-Modul E_b . Bei der Biegefestigkeit zeigt sich ein gewisser Trend zu abnehmenden mittleren Festigkeiten mit zunehmender Brettbreite, der aber wegen der weiteren, notwendigen Differenzierung des Probenmaterials nach Sortierklassen im Hinblick auf die geringe Probenzahl nicht weiter verfolgt wurde.

In **Bild 5** sind die Biegefestigkeiten über dem Sortierparameter der Biegeproben aufgetragen; die Korrelation liegt mit 0,79 im üblichen Rahmen. **Bild 6** zeigt den Zusammenhang zwischen der Biegefestigkeit und der Zugfestigkeit mit einer Korrelation von 0,72. Wie in beiden Bildern zu erkennen, liegen die Werte schmaler Bretter tendenziell über denen der breiten.

Bild 11 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Biege-E-Modul der geprüften Biegeproben und dem Zug-E-Modul der Zugproben aus der Datenbank mit einer Korrelation von 0,84; ein Einfluß der Probenbreite ist hier nicht zu erkennen.

5.2.2 Ergebnisse nach Sortierklassen getrennt

Die **Bilder 7 bis 10** zeigen den Zusammenhang zwischen den Biegefestigkeiten und den Zugfestigkeiten in den einzelnen Sortierklassen MS7 bis MS17. Eingezeichnet (gestrichelt) sind jeweils die charakteristischen Biege- und Zugfestigkeiten der entsprechenden Festigkeitsklassen nach EN 338 [6].

Wie sich zeigt, liegen nur einzelne Werte unter bzw. knapp unter den Grenzwerten (Bild 8, 9). Während bei den unteren Sortierklassen (MS7 in Bild 7 bzw. MS10 in Bild 8) ein gewisser Abstand der Versuchswerte zu den Grenzwerten der charakteristischen Biegefestigkeit erkennbar ist, liegen die Versuchswerte bei den höheren Sortierklassen enger an den Grenzwerten (MS13 in Bild 9 bzw. MS17 in Bild 10). Ein tendenzieller Einfluß der Probenbreite ist i.a. auch hier zu erkennen.

5.3 Zusammenhang zwischen Zugfestigkeit und Biegefestigkeit

Das Verhältnis der Mittelwerte von Zug- zu Biegefestigkeit beträgt im Durchschnitt aller Proben 0,64. In **Bild 12** ist das Verhältnis der Mittelwerte und der charakteristischen Werte (5%-Fraktilwerte) zwischen Zugfestigkeit und Biegefestigkeit weiter aufgeschlüsselt und in Abhängigkeit von der Sortierklasse aufgetragen.

Beim Verhältnis der **Mittelwerte** ist in Bild 12 mit Ausnahme der Sortierklasse MS17 ein konstanter Verhältniswert von etwa 0,60 zu erkennen, was den bekannten Annahmen der EN 338 über das Verhältnis von Zugfestigkeit zu Biegefestigkeit entspricht. Bei der Sortierklasse MS17 steigt dieses Verhältnis dagegen auf etwa 0,72 an.

Das Verhältnis der **5%-Fraktilwerte** steigt mit zunehmender Festigkeit, d.h. mit steigender Sortierklasse stetig von etwa 0,39 auf etwa 0,58 an, wie aus Bild 12 hervorgeht. Die 5%-Fraktilwerte wurden im allgemeinen verteilungsfrei (Abzählkriterium) ermittelt, bei Kollektiven mit weniger als 20 Proben unter der Annahme einer drei-parametrischen Weibullverteilung berechnet.

6. Vorschlag für Grenzwerte der 'Betriebs-Biegefestigkeit'

Aufgrund der Versuchsergebnisse werden für die Eigenüberwachung maschinell sortierter Brettlamellen in Abhängigkeit von der Sortierklasse der Bretter folgende Grenzwerte für die mit

einer Biegeprüfeinrichtung nach Bild 1 bestimmten Biegefestigkeit vorgeschlagen:

Sortierklasse nach [1] und [2]	MS 7	MS 10	MS 13	MS 17
Festigkeitsklasse nach EN 338 [6]	C 16	C 24	C 35	C 40
Betriebs-Biegefestigkeit (N/mm ²) (Mindestbiegefestigkeit)	16	24	35	40

In welcher Weise diese Grenzwerte praktisch verwendet werden sollen, muß von der fremdüberwachenden Stelle in einer Prüfverfahrensanweisung im einzelnen festgelegt werden. Bei der Entnahme der Biegeproben ist aber darauf zu achten, daß der für die Einstufung in die jeweilige Sortierklasse maßgebende Brettabschnitt - in der Regel der Abschnitt mit der größten, visuell leicht erkennbaren Astansammlung - für die Betriebs-Biegeprüfung herangezogen wird.

7. Zusammenfassung

Als Grundlage für eine Qualitätskontrolle maschinell sortierten Holzes mit Hilfe einer Biegeprüfeinrichtung, wie sie routinemäßig in Holzleimbaubetrieben zur Prüfung von Keilzinkenverbindungen verwendet wird (Betriebs-Biegeprüfung), wurde der Zusammenhang zwischen der so bestimmten Biegefestigkeit und der Zugfestigkeit maschinell sortierter Brettlamellen untersucht.

Hierzu wurden aus der laufenden Produktion eines Holzleimbaubetriebes maschinell sortierte, vorgehobelte 36 mm dicke Fich-

tenbretter der Breiten 132 mm, 175 mm und 212 mm ausgewählt. Anhand des von der Sortiermaschine ermittelten Sortierparameters wurden aus den Brettern insgesamt 95 Brettabschnitte der Sortierklassen MS7, MS10, MS13 und MS17 so entnommen, daß die Proben über das gesamte Spektrum der Holzqualität möglichst gleichmäßig verteilt waren.

Die Brettabschnitte wurden im Biegeversuch mit einer Prüfeinrichtung geprüft, die in ihren wesentlichen Abmessungen den in Holzleimbaubetrieben vorhandenen Betriebs-Biegeprüfeinrichtungen entsprach. Dabei lag die Brettstelle mit dem kleinsten Wert des Sortierparameters, der für die Einstufung des Brettes in die jeweilige Sortierklasse maßgebend gewesen war, in Feldmitte.

Zum Vergleich wurde aus einer Datenbank mit archivierten Zugversuchen von maschinell sortierten Brettlamellen für jede Biegeprobe eine Vergleichszugprobe so entnommen, daß der Sortierparameter der Zugprobe möglichst gut mit dem der Biegeprobe übereinstimmte.

Die ermittelten Biegefestigkeiten und die entsprechenden Zugfestigkeiten der Vergleichsproben lagen fast alle über den nach EN 338 [6] festgelegten charakteristischen Festigkeiten (5%-Fraktilwerten) für Nadelschnittholz.

Das Verhältnis der **Mittelwerte** von Zugfestigkeit und Biegefestigkeit ergab sich mit Ausnahme der Sortierklasse MS17 zu etwa 0,60 und entsprach damit den Annahmen der EN 338, bei MS17 war das Verhältnis 0,72.

Das Verhältnis der **5%-Fraktilwerte** wies einen niedrigeren Wert auf. Es stieg von der Klasse MS7 bis zur Klasse MS17 stetig von etwa 0,39 bis auf etwa 0,58 an.

Aufgrund der erhaltenen Ergebnisse wird vorgeschlagen, für die Qualitätskontrolle maschinell sortierten Holzes mit der in Holzleimbaubetrieben vorhandenen Biegeprüfeinrichtung als Mindestbiegefestigkeit (5%-Fraktilwerte) der einzelnen Sortierklassen die charakteristischen Biegefestigkeiten der jeweiligen Festigkeitsklassen nach EN 338 [6] vorzuschreiben.

8. Schrifttum

- [1] Arbeitskreis NAD: Nationales Anwendungsdokument zu Eurocode 5, vierter Entwurf, Oktober 1993. u.a. Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitswerte für Vollholz
- [2] DIN 4074 (1989):
Teil 1: Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit
Teil 3: Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit; Sortiermaschinen, Anforderungen und Prüfung
- [3] DIN 52 182 (1976): Prüfung von Holz, Bestimmung der Rohdichte
- [4] DIN 52 183 (1977): Prüfung von Holz, Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes
- [5] DIN 52 186 (1978): Prüfung von Holz, Biegeversuch
- [6] EN 338 (November 1992): Bauholz für tragende Zwecke, Festigkeitsklassen
- [7] EN 408 (Dezember 1990): Vollholz und Brettschichtholz, Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften für tragende Zwecke
- [8] EN 519 (September 1991): Bauholz für tragende Zwecke; Sortierung, Anforderungen an maschinell nach der Festigkeit sortiertes Bauholz und an Sortiermaschinen

Tabellen 1 - 4

Bilder 1 - 12

Breite	Bezeichnung	Dim.	Mittelwert	Var.-Ko. [%]	Minimalwert	Maximalwert
132 mm						
	β_B	N/mm ²	49,0	31,5	25,3	80,4
	$E_{B\text{ DIN}}$	N/mm ²	9930	26,0	4460	14240
n = 32	ρ_{12}	g/cm ³	0,463	10,5	0,388	0,587
	ρ_0	g/cm ³	0,427	11,6	0,353	0,546
	a_{DAB}	[1]	0,37	46,5	0,11	0,82
	f (EAB)	N/mm ²	29,3	40,0	10,4	47,7
175 mm						
	β_B	N/mm ²	46,5	28,0	25,1	78,1
	$E_{B\text{ DIN}}$	N/mm ²	9610	24,7	5250	15270
n = 35	ρ_{12}	g/cm ³	0,430	7,8	0,375	0,509
	ρ_0	g/cm ³	0,398	10,0	0,325	0,500
	a_{DAB}	[1]	0,31	51,5	0,07	0,72
	f (EAB)	N/mm ²	31,4	40,9	10,2	56,6
212 mm						
	β_B	N/mm ²	44,5	22,4	30,2	65,9
	$E_{B\text{ DIN}}$	N/mm ²	8930	18,4	6400	13910
n = 28	ρ_{12}	g/cm ³	0,437	6,9	0,396	0,516
	ρ_0	g/cm ³	0,404	7,6	0,355	0,486
	a_{DAB}	[1]	0,30	40,5	0,09	0,54
	f (EAB)	N/mm ²	33,1	31,8	12,9	50,6
Gesamt						
	β_B	N/mm ²	46,7	28,0	25,1	80,4
	$E_{B\text{ DIN}}$	N/mm ²	9520	23,9	4460	15270
n = 95	ρ_{12}	g/cm ³	0,443	9,2	0,375	0,587
	ρ_0	g/cm ³	0,410	10,4	0,325	0,546
	a_{DAB}	[1]	0,33	47,3	0,07	0,82
	f (EAB)	N/mm ²	31,2	37,8	10,2	56,6

Tabelle 1: Ergebnisse der **Biegeprüfung**, getrennt nach Brettbreiten

Sort.-Kl.	Bezeichnung	Dim.	Mittelwert	Var.-Ko. [%]	Minimalwert	Maximalwert
MS 7						
	β_B	N/mm ²	31,6	16,9	25,1	43,4
	$E_{B\text{ DIN}}$	N/mm ²	6800	14,7	4460	8660
n = 19	ρ_{12}	g/cm ³	0,417	7,8	0,375	0,491
	ρ_0	g/cm ³	0,374	7,6	0,325	0,423
	a_{DAB}	[1]	0,44	34,6	0,25	0,74
	f (EAB)	N/mm ²	14,4	17,4	10,2	17,8
MS 10						
	β_B	N/mm ²	41,7	19,4	29,0	62,1
	$E_{B\text{ DIN}}$	N/mm ²	8430	15,5	6140	11700
n = 26	ρ_{12}	g/cm ³	0,427	6,6	0,383	0,494
	ρ_0	g/cm ³	0,389	6,9	0,341	0,465
	a_{DAB}	[1]	0,36	46,3	0,07	0,82
	f (EAB)	N/mm ²	25,4	16,9	18,0	31,0
MS 13						
	β_B	N/mm ²	48,5	15,7	31,2	64,2
	$E_{B\text{ DIN}}$	N/mm ²	10180	10,9	8500	12390
n = 23	ρ_{12}	g/cm ³	0,451	7,0	0,396	0,526
	ρ_0	g/cm ³	0,422	7,2	0,379	0,493
	a_{DAB}	[1]	0,29	44,2	0,08	0,55
	f (EAB)	N/mm ²	35,2	7,6	31,0	39,9
MS 17						
	β_B	N/mm ²	60,7	15,8	42,0	80,4
	$E_{B\text{ DIN}}$	N/mm ²	11910	13,0	9220	15270
n = 27	ρ_{12}	g/cm ³	0,470	9,7	0,397	0,587
	ρ_0	g/cm ³	0,444	9,5	0,373	0,546
	a_{DAB}	[1]	0,25	42,6	0,09	0,56
	f (EAB)	N/mm ²	45,3	9,3	40,1	56,6

Tabelle 2: Ergebnisse der **Biegeprüfung**, getrennt nach Sortierklassen

Breite	Bezeichnung	Dim.	Mittelwert	Var.-Ko. [%]	Minimalwert	Maximalwert
132 mm						
	β_z	N/mm ²	28,9	39,9	10,9	51,4
	E_z	N/mm ²	11300	24,1	7020	15780
n = 32	ρ_{12}	g/cm ³	0,465	9,3	0,378	0,542
	ρ_0	g/cm ³	0,436	11,3	0,324	0,526
	a_{DAB}	[1]	0,44	25,3	0,11	0,65
	f (EAB)	N/mm ²	29,4	39,9	10,7	47,7
175 mm						
	β_z	N/mm ²	32,6	45,6	9,7	75,1
	E_z	N/mm ²	11500	22,7	6200	16190
n = 35	ρ_{12}	g/cm ³	0,445	8,5	0,366	0,517
	ρ_0	g/cm ³	0,422	11,0	0,333	0,511
	a_{DAB}	[1]	0,35	36,7	0,05	0,63
	f (EAB)	N/mm ²	31,4	40,9	11,0	56,6
212 mm						
	β_z	N/mm ²	28,1	33,4	13,5	48,8
	E_z	N/mm ²	11010	17,0	7750	13790
n = 28	ρ_{12}	g/cm ³	0,450	8,0	0,378	0,520
	ρ_0	g/cm ³	0,418	8,9	0,338	0,489
	a_{DAB}	[1]	0,32	25,3	0,16	0,44
	f (EAB)	N/mm ²	33,1	31,8	12,9	50,6
Gesamt						
	β_z	N/mm ²	30,0	41,2	9,7	75,1
	E_z	N/mm ²	11290	21,6	6200	16190
n = 95	ρ_{12}	g/cm ³	0,453	8,8	0,366	0,542
	ρ_0	g/cm ³	0,425	10,6	0,324	0,526
	a_{DAB}	[1]	0,36	32,1	0,05	0,65
	f (EAB)	N/mm ²	31,2	37,8	10,7	56,6

Tabelle 3: Zusammenstellung der Ergebnisse der ausgewählten **Zugproben** aus früheren Versuchen (Datenbank), getrennt nach Brettbreiten

Sort.-Kl.	Bezeichnung	Dim.	Mittelwert	Var.-Ko. [%]	Minimalwert	Maximalwert
MS 7						
	β_z	N/mm ²	18,8	32,4	10,9	29,9
	E_z	N/mm ²	8150	13,1	6210	10990
n = 19	ρ_{12}	g/cm ³	0,412	7,9	0,366	0,473
	ρ_0	g/cm ³	0,375	8,3	0,324	0,426
	a_{DAB}	[1]	0,47	24,9	0,28	0,65
	f (EAB)	N/mm ²	14,5	16,8	10,7	17,8
MS 10						
	β_z	N/mm ²	24,4	26,9	9,7	38,7
	E_z	N/mm ²	10120	11,8	7940	12960
n = 25	ρ_{12}	g/cm ³	0,442	7,5	0,378	0,535
	ρ_0	g/cm ³	0,411	8,9	0,338	0,497
	a_{DAB}	[1]	0,38	24,2	0,19	0,59
	f (EAB)	N/mm ²	25,2	16,9	18,1	30,8
MS 13						
	β_z	N/mm ²	29,4	21,3	19,1	42,9
	E_z	N/mm ²	11900	9,0	10430	14530
n = 25	ρ_{12}	g/cm ³	0,468	5,5	0,431	0,542
	ρ_0	g/cm ³	0,443	6,2	0,407	0,526
	a_{DAB}	[1]	0,35	25,8	0,11	0,50
	f (EAB)	N/mm ²	35,2	8,1	31,0	40,0
MS 17						
	β_z	N/mm ²	44,4	25,8	25,6	75,1
	E_z	N/mm ²	14110	8,9	11930	16190
n = 26	ρ_{12}	g/cm ³	0,480	6,9	0,425	0,539
	ρ_0	g/cm ³	0,458	7,9	0,401	0,511
	a_{DAB}	[1]	0,28	35,4	0,05	0,55
	f (EAB)	N/mm ²	45,5	9,1	40,1	56,6

Tabelle 4: Zusammenstellung der Ergebnisse von ausgewählten **Zugproben** aus früheren Versuchen (Datenbank), getrennt nach Sortierklasse

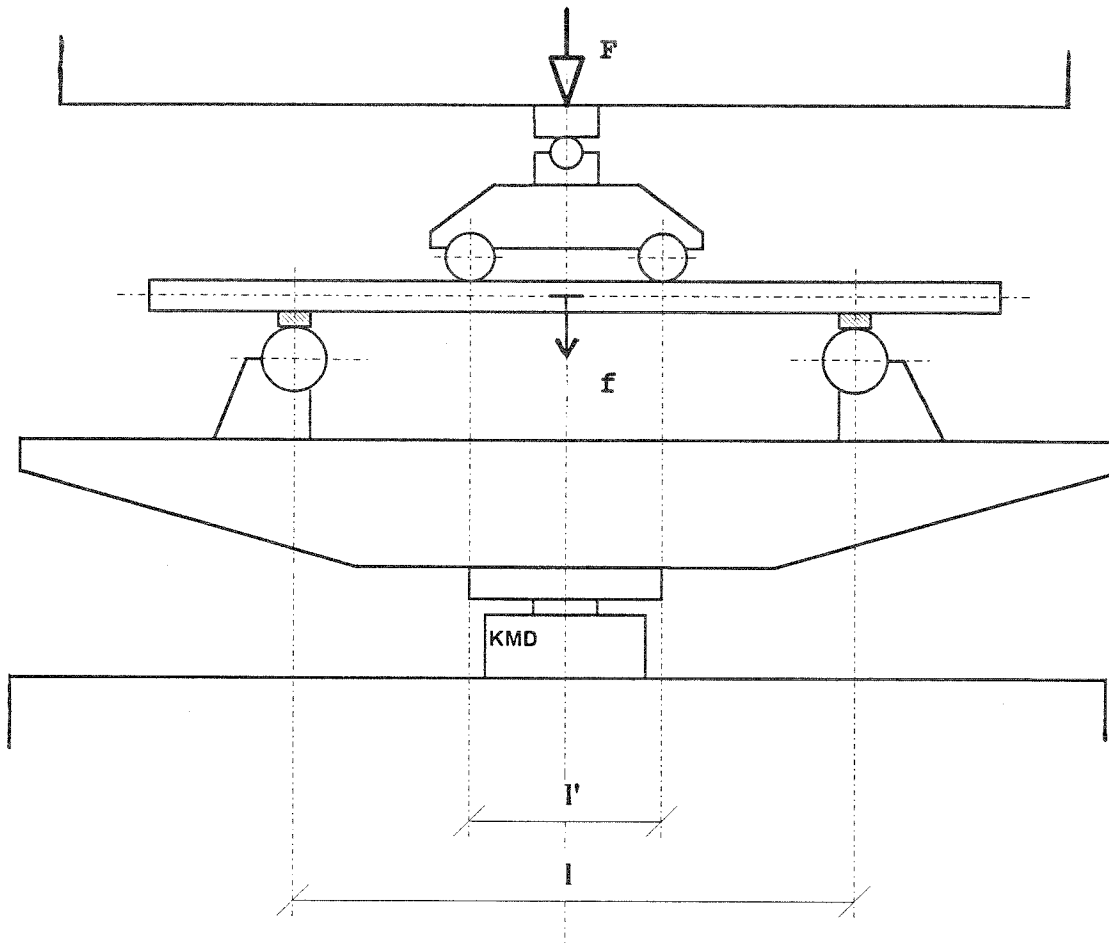


Bild 1: Schema der benutzten Biegeprüfeinrichtung (KMD Kraftmeßdose)

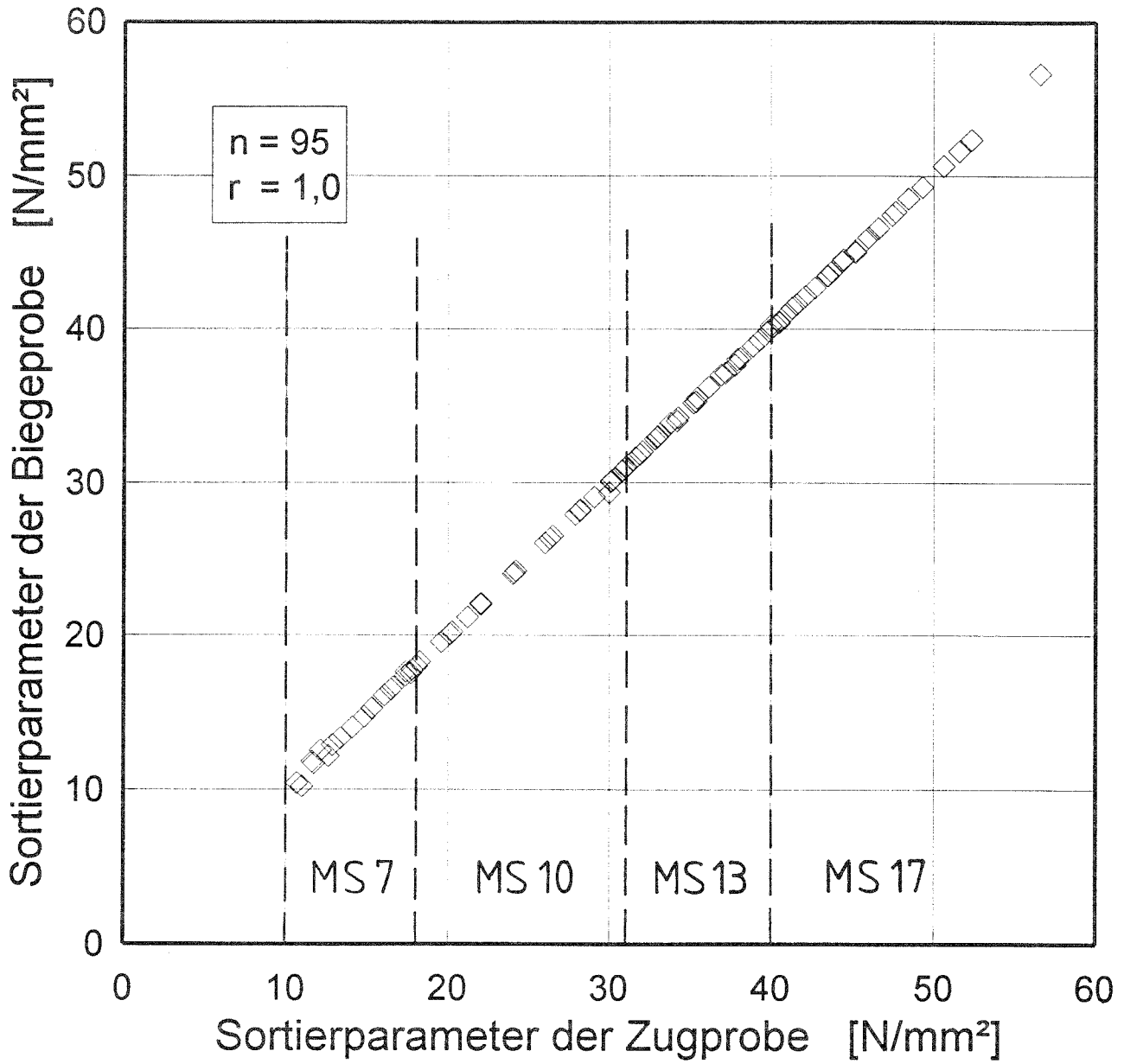


Bild 2: Zuordnung der **Sortierparameter** der ausgewählten Zugproben ($n = 95$) zu denen der geprüften Biegeproben ($n = 95$)

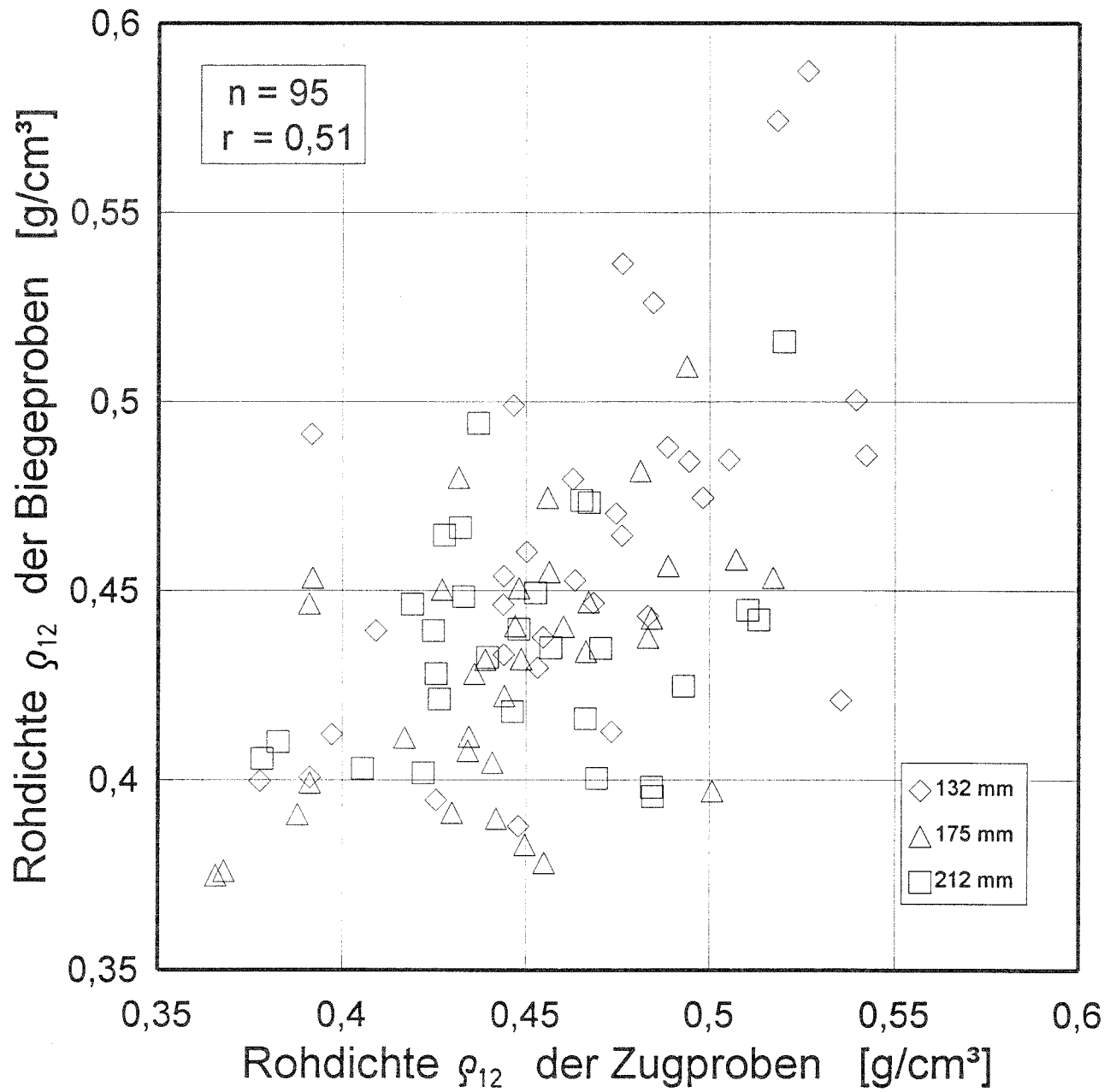


Bild 3: Zuordnung der **Rohdichten** der ausgewählten Zugproben zu denen der geprüften Biegeproben, getrennt nach Brettbreiten

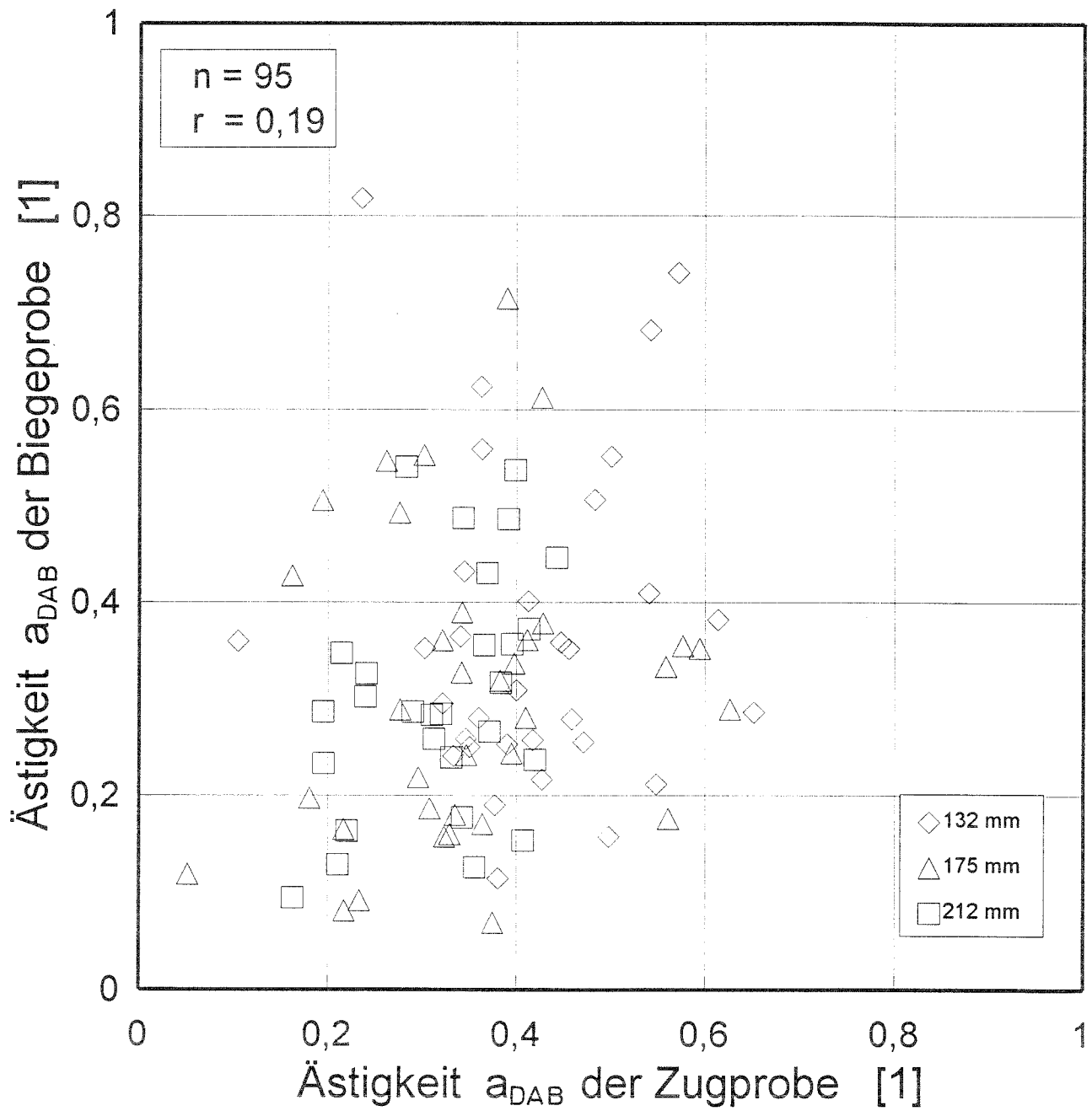


Bild 4: Zuordnung der **Ästigkeiten** der ausgewählten Zugproben zu denen der geprüften Biegeproben, getrennt nach Brettbreiten

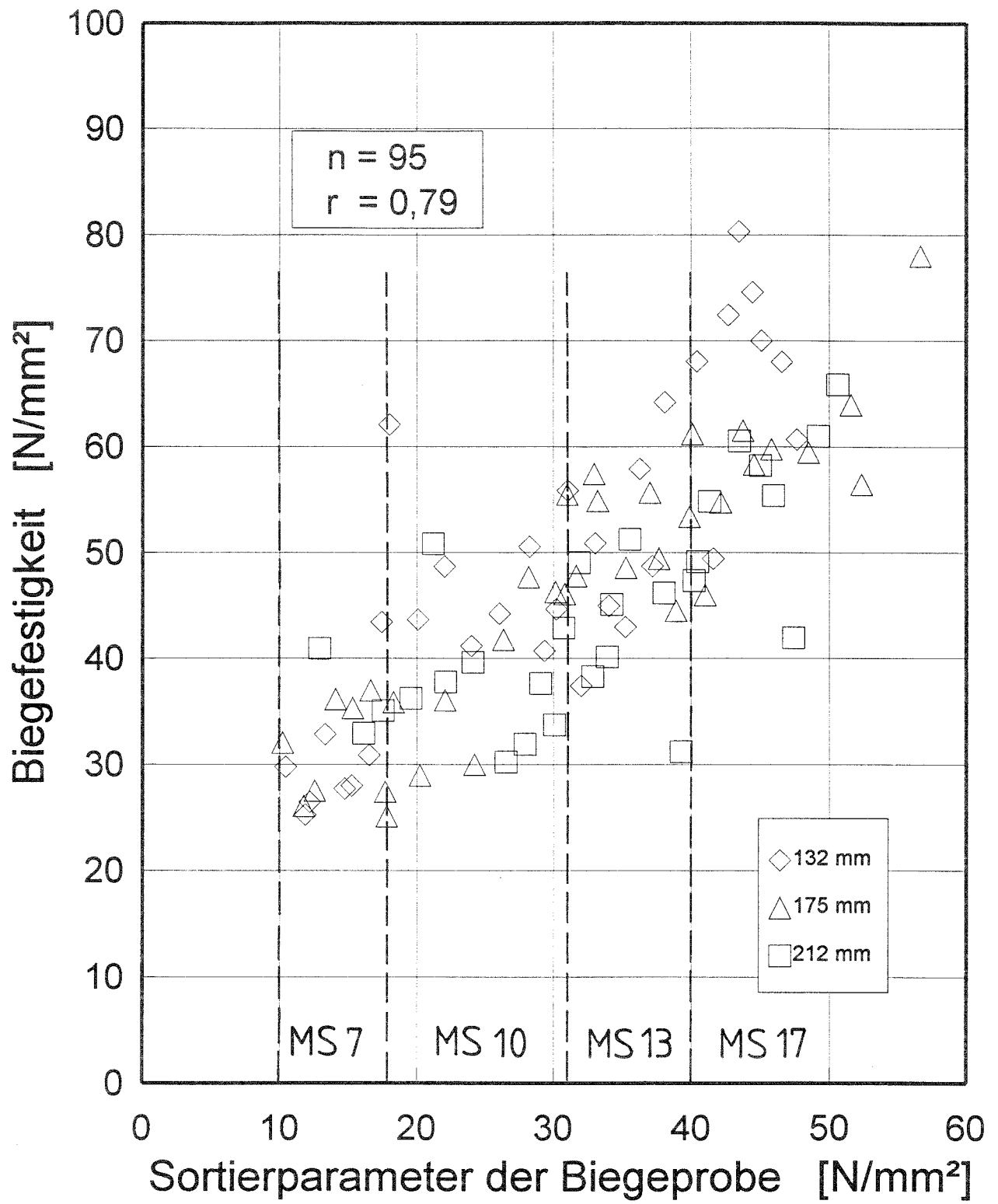


Bild 5: Biegefestigkeit in Abhängigkeit vom Sortierparameter der Biegeprobe und von der Brettbreite

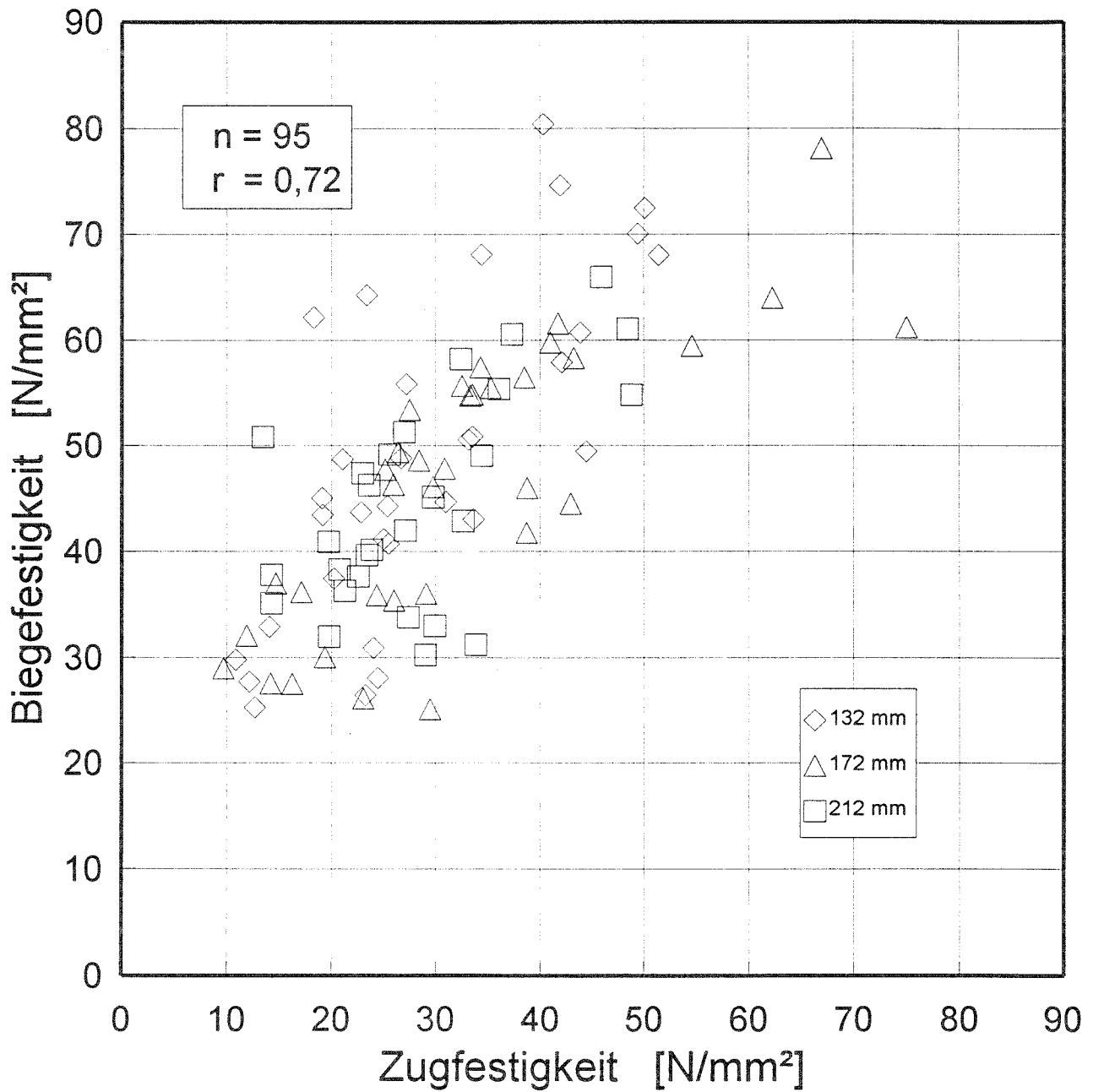


Bild 6: **Biegefestigkeit** der Biegeproben in Abhängigkeit von der Zugfestigkeit der ausgewählten Zugproben, getrennt nach Brettbreiten

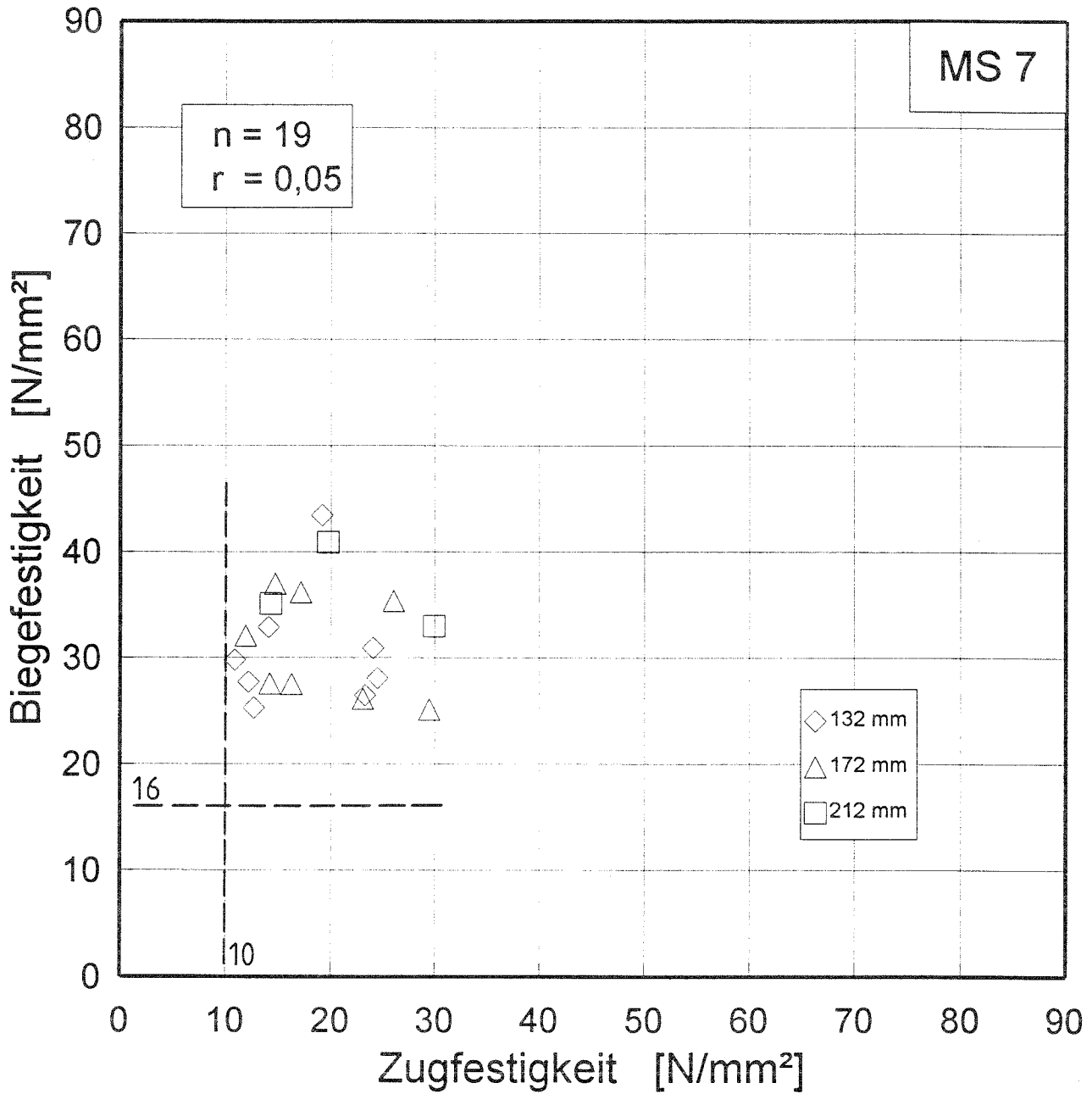


Bild 7: **Biegefestigkeit** der Biegeproben in Abhängigkeit von der Zugfestigkeit der ausgewählten Zugproben für die Sortierklasse **MS7**, getrennt nach Brettbreiten

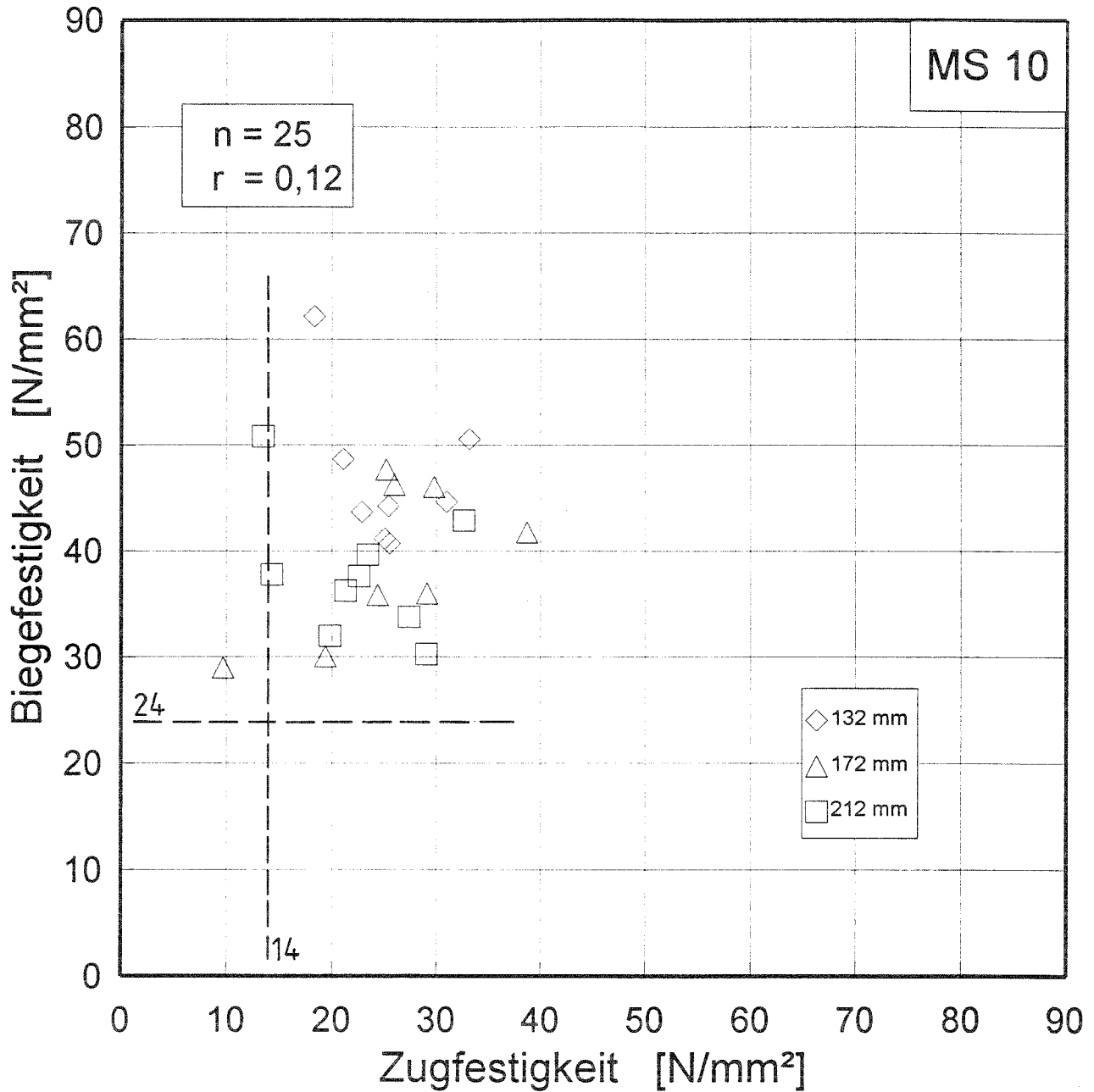


Bild 8: Biegefestigkeit der Biegeproben in Abhängigkeit von der Zugfestigkeit der ausgewählten Zugproben für die Sortierklasse MS10, getrennt nach Brettbreiten

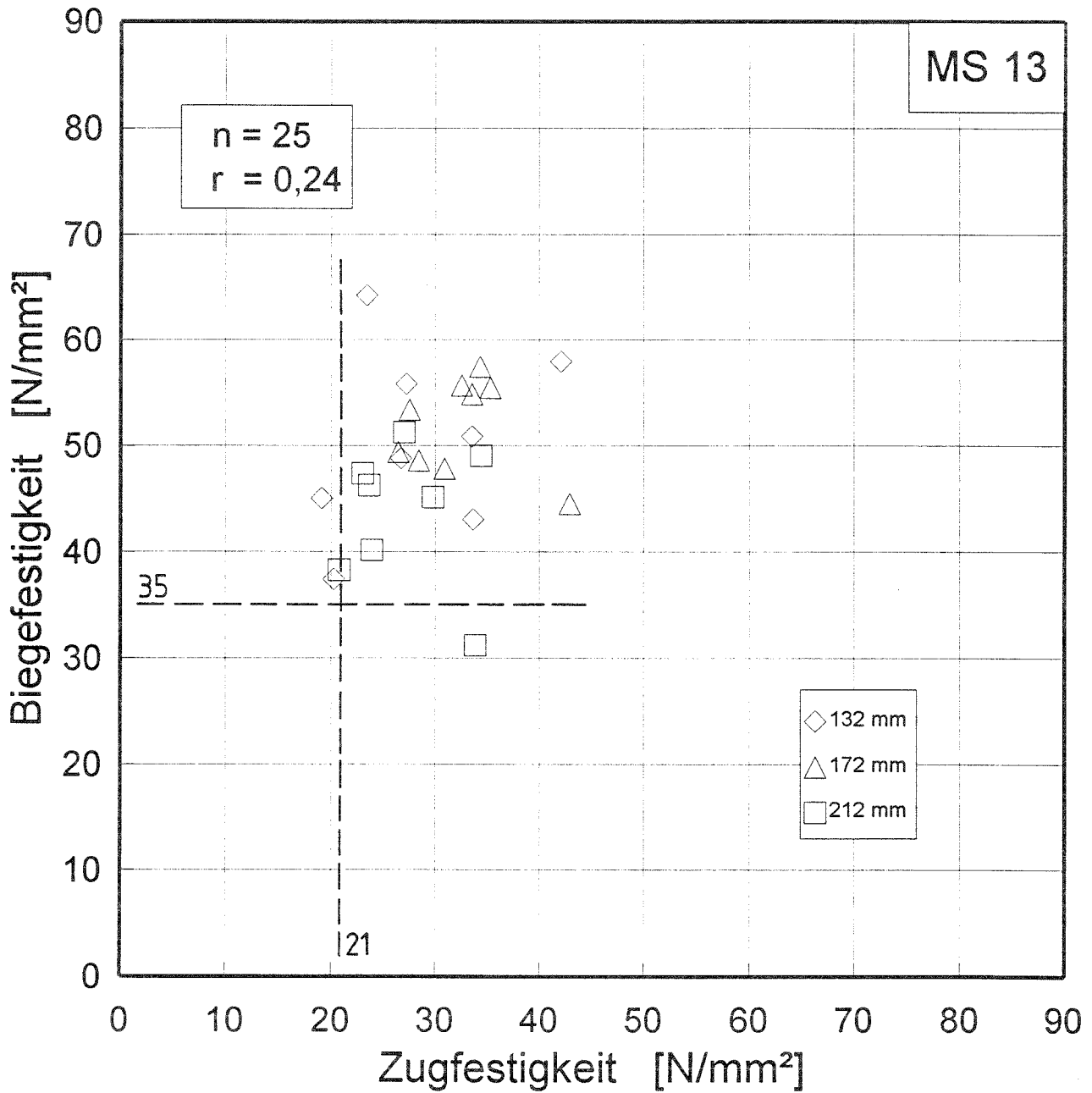


Bild 9: **Biegefestigkeit** der Biegeproben in Abhängigkeit von der Zugfestigkeit der ausgewählten Zugproben für die Sortierklasse **MS13**, getrennt nach Brettbreiten

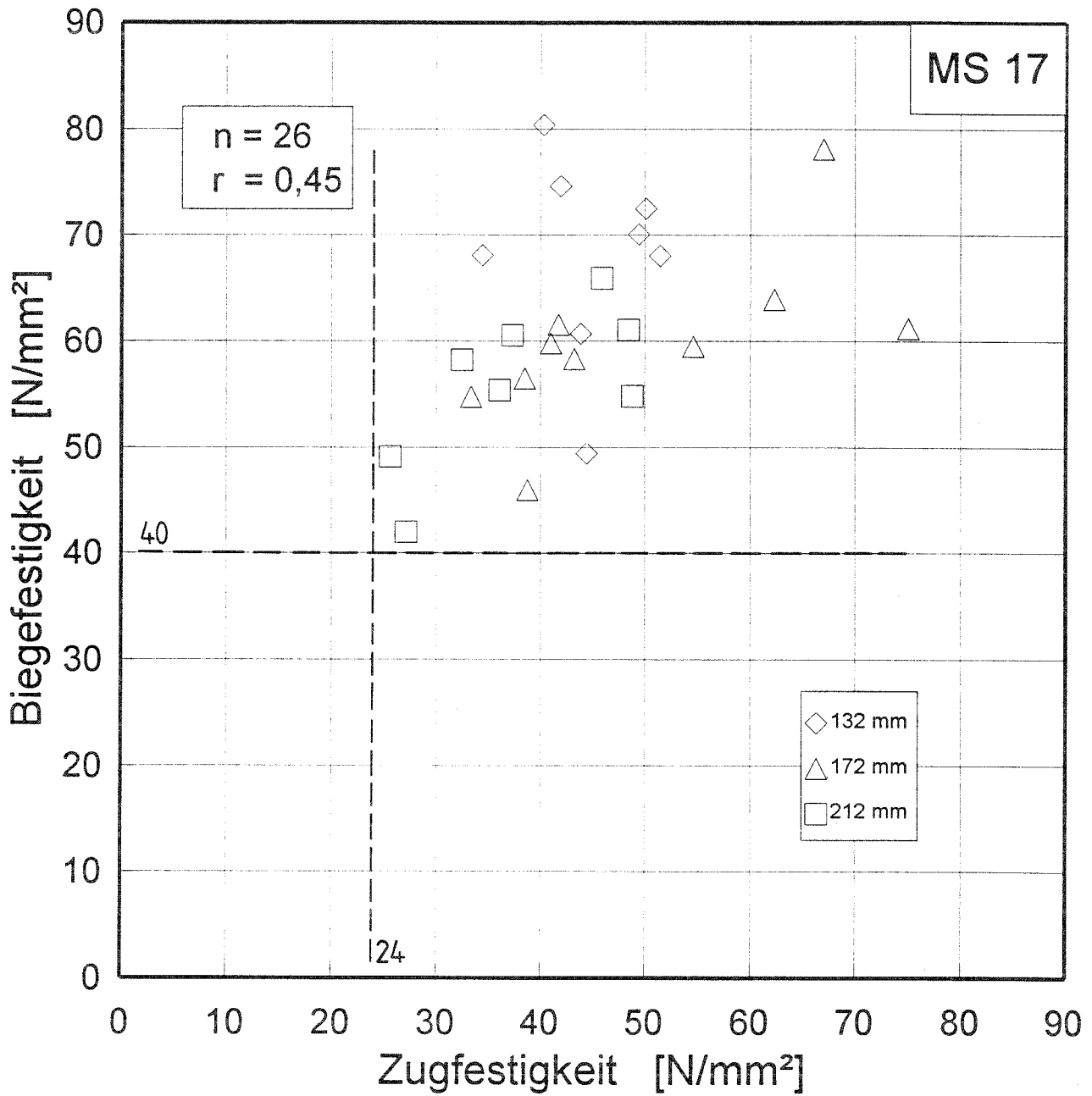


Bild 10: **Biegefestigkeit** der Biegeproben in Abhängigkeit von der Zugfestigkeit der ausgewählten Zugproben für die Sortierklasse **MS17**, getrennt nach Brettbreiten

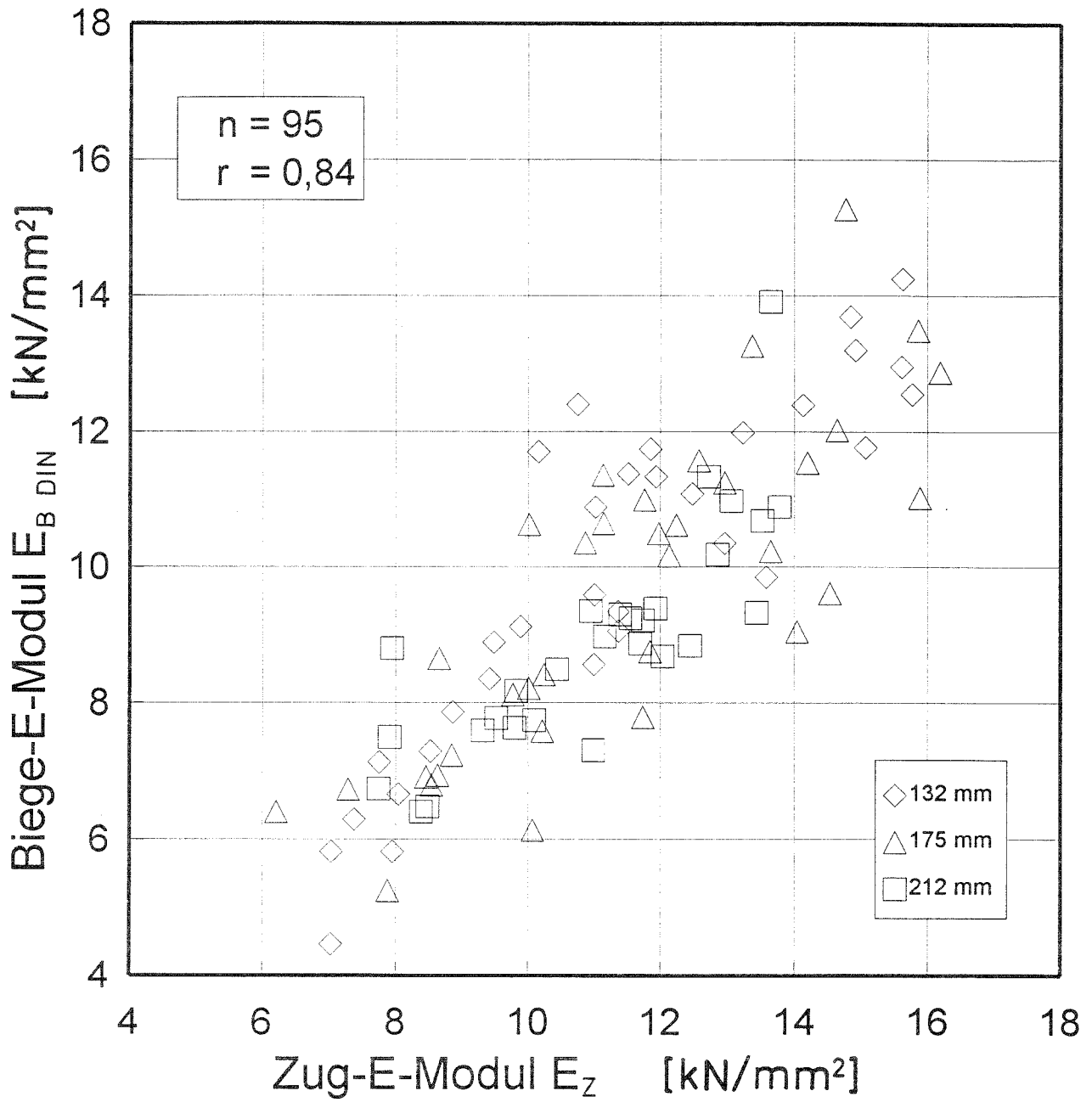


Bild 11: Biege-E-Modul der Biegeproben in Abhängigkeit vom Zug-E-Modul der ausgewählten Zugproben, getrennt nach Brettbreiten

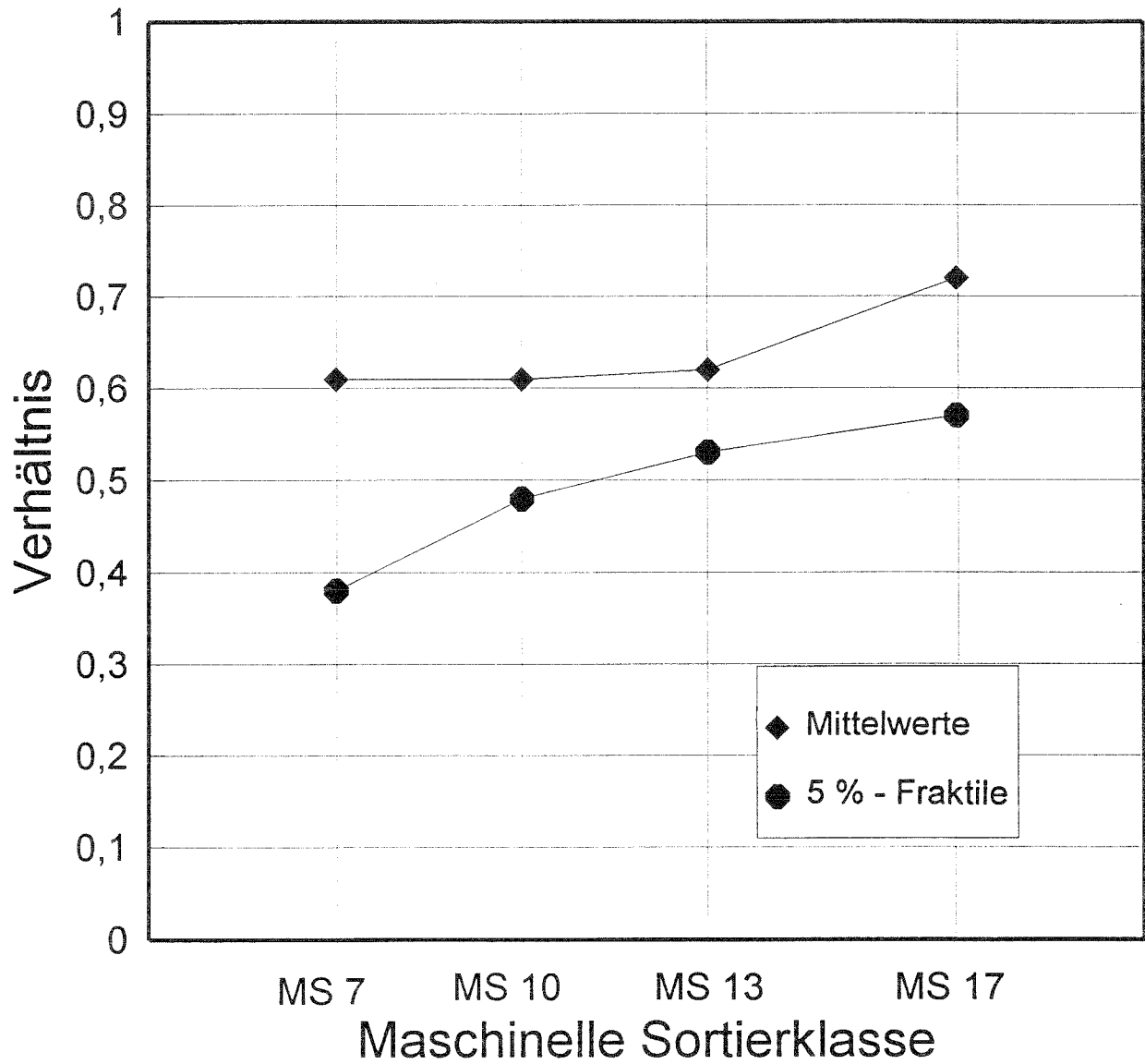


Bild 12: Verhältnis der Mittelwerte und der 5%-Fraktile von Zugfestigkeit und Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Sortierklasse