

# Klassifizierung von Brettlamellen für den Holzleimbau

**T 2600**

T 2600

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](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

INSTITUT FÜR HOLZFORSCHUNG  
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
80797 MÜNCHEN, WINZERERSTR. 45

---

Vergleichende Betrachtungen europäischer Bauprodukten-Normen  
mit  
nationalen Bestimmungen

Teilprojekt

**Klassifizierung von Brettlamellen für den Holzleimbau**

Bericht 91509

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

**P. Glos und D. Henrici**

**München**

**1993**

## Inhaltsübersicht

1. Problemstellung . . . . .	3
2. Versuchsprogramm . . . . .	5
3. Untersuchungsmaterial und Prüfkörperherstellung . . .	5
4. Untersuchungsmethoden . . . . .	6
4.1 Bestimmung der allgemeinen Holzeigenschaften . . .	6
4.2 Durchführung der Biegeprüfung . . . . .	7
4.3 Durchführung der Zugprüfung . . . . .	7
5. Ergebnisse . . . . .	8
5.1 Biegeversuch hochkant . . . . .	8
5.2 Biegeversuch flachkant . . . . .	9
5.3 Zugversuch an langen Prüfkörpern . . . . .	9
5.4 Zugversuch an kurzen Prüfkörpern . . . . .	10
6. Diskussion der Ergebnisse . . . . .	10
6.1 Klassifizierung von Brettlamellen nach prEN 338 entsprechend den Sortierungsklassen nach DIN 4074	10
6.1.1 Sortierklasse S10 . . . . .	11
6.1.2 Sortierklasse S13 . . . . .	12
6.2 Einfluß der freien Prüflänge des Zugprüfkörpers . .	13
7. Zusammenfassung . . . . .	13
8. Schrifttum . . . . .	15
Anlagen:	
Tabelle 1 bis 12 (Anlage 1 bis 11) . . . . .	16
Bild 1 bis 33 (Anlage 12 bis 36) . . . . .	27

## 1. Problemstellung

In der zur Zeit im Entwurf vorliegenden europäischen Brettschichtholznorm EN TC 124.207 (1992) ist vorgesehen, die Festigkeitsklassen von Brettschichtholz in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse der verwendeten Brettlamellen festzulegen.

Für die Einstufung von Brettlamellen in Festigkeitsklassen gilt dabei die für normales Bauholz (Kantholz) erstellte prEN 338. Nach dieser Norm sind für die Einstufung in eine Festigkeitsklasse die charakteristische Biegefestigkeit (5%-Fraktilewert), der zugehörige Elastizitätsmodul (ISO) und die Rohdichte des Holzes maßgebend. Diese Kenngrößen werden nach prEN 384 (1991) ermittelt und nach prEN 408 (1991) experimentell geprüft. Die charakteristische Zugfestigkeit wird grundsätzlich mit 60% der charakteristischen Biegefestigkeit angenommen.

Nach dem gegenwärtigen Normungsstand wird unterstellt, daß die Biegefestigkeit des Holzes mit zunehmender Querschnittshöhe abnimmt. Daher wird die charakteristische Biegefestigkeit von Vollholzquerschnitten auf eine Bezugshöhe von 150 mm bezogen. Versuchsergebnisse, die an Biegeprüfkörpern mit davon abweichenden Querschnittshöhen gewonnen wurden, müssen daher nach der Formel

$$\sigma_{150} = \sigma_h / k_h \quad (1)$$

mit dem Höhenfaktor

$$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \leq 1,3 \quad (2)$$

auf die Bezugshöhe  $h = 150$  mm umgerechnet werden.

Die Tragfähigkeit eines biegebeanspruchten Brettschichtholzträgers hängt neben der Festigkeit der Keilzinkenverbindungen maßgebend von der Zugfestigkeit der Brettlamellen in der äußersten Zugzone des Trägers ab. Daher stellt sich die Frage, ob die Klassifizierung von Brettlamellen nach o.a. Verfahren, das sich an der Biegefestigkeit der Brettlamelle orientiert,

zuverlässig und wirtschaftlich ist.

Ferner ist unsicher, ob das unterstellte Verhältnis Biege- zu Zugfestigkeit sowie der anzusetzende Höhenfaktor bei üblicherweise flachkant biegegeprüften Brettlamellen zutreffend festgelegt sind. Während angloamerikanische Untersuchungen einen Höheneinfluß unterstellen, ergaben Versuche von Glos u. Henrici (1993) an europäischem Fichtenschnittholz, daß im unteren Streubereich der Biegefestigkeit ein Höhenfaktor nicht angesetzt zu werden braucht.

Bisher liegen keine Untersuchungen vor, die belegen können, daß nach prEN 338 klassifizierte Brettlamellen bezüglich ihrer Festigkeitseigenschaften den Annahmen entsprechen, die dem Normenentwurf EN TC 124.207 zugrunde liegen. Es wird vielmehr vermutet, daß Brettlamellen nach dem dargestellten Klassifizierungsverfahren ungünstiger eingestuft werden als bei Erstellung des Entwurfs von EN TC 124.207 unterstellt wurde, so daß bei Anwendung des Verfahrens unwirtschaftliche Querschnitte erhalten werden.

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war es deshalb, die Grundlagen für die geplanten Festlegungen zur Einstufung von Brettlamellen in Festigkeitsklassen nach prEN 338 an üblichem Fichtenschnittholz experimentell zu überprüfen, um gegebenenfalls eine Änderung der vorliegenden Normenentwürfe vorschlagen zu können. Insbesondere sollte der Zusammenhang zwischen der Zugfestigkeit und der Biegefestigkeit von Brettlamellen untersucht und deren Biegefestigkeit sowohl bei Flachkant- als auch bei Hochkantprüfung ermittelt werden.

Da ferner die gegenwärtigen Normenentwürfe für die Bemessung von Brettschichtholz im wesentlichen auf Zugversuchen an Prüfkörpern mit einer freien Prüflänge von  $l_0 = 150$  mm beruhen, andererseits aber die freie Prüflänge nach prEN 408 das jeweils 9-fache der Brettbreite  $b$  betragen muß, sollte zu Vergleichszwecken die Zugfestigkeit sowohl an einem weiteren Kollektiv mit einer freien Prüflänge von  $l_0 = 9 \cdot b$  als auch von  $l_0 = 150$  mm bestimmt werden.

## 2. Versuchsprogramm

Entsprechend der Aufgabenstellung wurden 4 Serien von Brettlamellen aus Fichtenschnittholz mit Querschnittsabmessungen von  $145/35 \text{ mm}^2$  bei konstanter Holzfeuchte ( $u \approx 12\%$ ) im Biege- und Zugversuch geprüft. Je Kollektiv wurden 53 Prüfkörper gewählt. Das Versuchsprogramm ist in Tabelle 1 (Anlage 1) zusammengestellt. Die Prüflänge betrug beim Biegeversuch in Anlehnung an DIN 52 186 bzw. prEN 408 jeweils das 18-fache der Prüfkörperhöhe. Die freie Prüflänge im Zugversuch betrug einmal nach prEN 408  $l_0 = 9 \cdot b = 1305 \text{ mm}$ , zum anderen  $l_0 = 150 \text{ mm}$  entsprechend den früheren Versuchen.

## 3. Untersuchungsmaterial und Prüfkörperherstellung

Für die Prüfkörper wurde technisch getrocknetes Fichtenschnittholz der Sortierklassen S 7 bis S 13 nach DIN 4074 (früher Gkl. III bis I) mit den Abmessungen  $42/152/4000 \text{ mm}^3$  aus einem oberbayerischen Sägewerk beschafft. Nach Abrichten und Aushobeln der Bretter betragen die fertigen Querschnittsabmessungen bei allen Prüfkörpern  $35/145 \text{ mm}^2$ .

Die Biegeprüfkörper wurden auf etwa 3000 mm, die Zugprüfkörper auf 3500 mm (freie Prüflänge  $l_0 = 9 \cdot b = 1305 \text{ mm}$ ) bzw. 1700 mm (freie Prüflänge  $l_0 = 150 \text{ mm}$ ) abgelängt und bis zum Beginn der Prüfung im Normalklima  $20^\circ\text{C}/65\% \text{ rLf}$  (Holzfeuchte  $\approx 12\%$ ) gelagert

Bei der Zusammenstellung der Probenkollektive wurde auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung von Rohdichte und Ästigkeit der Prüfkörper auf die einzelnen Kollektive geachtet, so daß auch vergleichbare Mittelwerte dieser Parameter in den Kollektiven zu erwarten waren.

Die tatsächlich erzielte Verteilung der Parameter ist aus den **Tabellen 4, 6, 8 und 10** (Anlagen 3, 5, 7 und 9) sowie den **Histogrammen der Bilder 2, 3, 10, 11, 18, 19 und 26, 27** (Anlagen 13, 19, 25 und 31) ersichtlich <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Die Anlagen (Tabellen, Bilder) sind in der Reihenfolge Biegeversuche hochkant, flachkant, Zugversuche lange Probe, kurze Probe angeordnet.

Wie erkennbar, ist die Rohdichte in allen vier Kollektiven weitgehend gleichmäßig verteilt und bezüglich ihrer Mittelwerte auch in den beiden Sortierklassen S10 und S13 vergleichbar. Die Ästigkeit ist in allen Kollektiven ebenfalls vergleichbar. Mittelwerte und Standardabweichung bzw. Variationskoeffizienten entsprechen den von Colling u. Görlacher (1989) festgestellten Werten.

#### 4. Untersuchungsmethoden

##### 4.1 Bestimmung der allgemeinen Holzeigenschaften

Die **Rohdichte** ( $\rho_0$ ,  $\rho_{12}$ ) der Prüfkörper wurde nach DIN 52 182 sowohl als Darr-Rohdichte an einer astfreien, den ganzen Querschnitt umfassenden Probenscheibe aus der Umgebung der Bruchstelle als auch an der im Normalklima bei 20°C/65% rLf klimatisierten Probe ( $u \approx 12\%$ ) aus dessen Gesamtgewicht und Gesamt-abmessungen bestimmt.

Die **Ästigkeit** ( $a_{DAB}$ ) wurde nach DIN 4074 (1989) nach dem Kriterium "Äste in Brettern und Bohlen" als Astansammlung auf einer Strecke von 150 mm ermittelt. Dieser Parameter wird im folgenden mit  $a_{DAB}$  bezeichnet. Um eine einheitliche Vergleichsbasis zu haben, wird die Ästigkeit aller vier Kollektive, auch des Kollektivs Biegung hochkant, durch das Kriterium  $a_{DAB}$  beschrieben, für das nach DIN 4074 je nach Sortierklasse folgende Bereiche festgelegt sind:

$$S13: \quad 0 \leq a_{DAB} \leq 0,33 \quad (3)$$

$$S10: \quad 0,33 < a_{DAB} \leq 0,50 \quad (4)$$

$$S7 \text{ und schlechter: } a_{DAB} > 0,50 \quad (5)$$

Daneben wurde bei den Biegeprüfkörpern noch der Ästigkeitsparameter  $a_{DEK}$  (DIN - Einzelast Kantholz) bestimmt.

Die **Holzfeuchte** ( $u$ ) der Prüfkörper wurde gravimetrisch nach DIN 52 183 im Darrversuch an derselben Querschnittsscheibe wie die Darrdichte bestimmt.



#### 4.2 Durchführung der Biegeprüfung

Die Biegeprüfung, deren Prinzip in **Bild 1** (Anlage 12) dargestellt ist, wurde in Anlehnung an DIN 52 186 bzw. prEN 408 durchgeführt. Die Biegeprüfkörper wurden dabei jeweils so geprüft, daß die Seite mit der maximalen Ästigkeit in der Zugzone lag. Die Stützweite zwischen den Auflagern betrug das 18-fache der Probenhöhe, der Abstand der Kraftangriffspunkte ein Drittel der Stützweite. Die Biegeprüfung erfolgte bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit, wobei im vorliegenden Fall die Biegeproben im Mittel nach etwa 260 Sekunden brachen.

Zur Bestimmung des Biege-E-Moduls wurde die Durchbiegung der Prüfkörper in Feldmitte mit insgesamt 4 Induktivaufnehmern gemessen. Die Meßbasis zur Bestimmung des DIN-E-Moduls (DIN 52 186) war gleich der Prüfkörperstützweite, die Meßbasis zur Bestimmung des ISO-E-Moduls (ISO 8375 bzw. prEN 408) lag dagegen im mittleren Drittel der Stützweite und besaß eine Länge von  $l_1 = 0,8 \cdot 1/3$  (Bild 1, Anlage 12).

#### 4.3 Durchführung der Zugprüfung

Während der Zugprüfung, deren Prinzip ebenfalls in **Bild 1** (Anlage 12) dargestellt ist, wurde den Prüfkörpern ein ebener Verformungszustand so aufgeprägt, daß bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit der Bruch der Zugproben im Mittel nach etwa 250 Sekunden erfolgte.

Die Wegmessung zur Bestimmung des Zug-E-Moduls in Faserrichtung des Holzes erfolgte mit zwei an diagonal gegenüberliegenden Prüfkörperkanten angebrachten Induktivaufnehmern. Die Meßbasis hierfür betrug  $l_1 = 133$  mm beim kurzen Prüfkörper bzw.  $l_1 = 5 \cdot b = 725$  mm beim langen Prüfkörper (prEN 408).

### 5. Ergebnisse

Die Prüfungsergebnisse sind in den **Tabellen 3 bis 10** (Anlagen 2 bis 9) sowie in den **Bildern 4 bis 9, 12 bis 17, 20 bis 25**

und 28 bis 33 zusammengestellt (Anlagen 14 bis 18, 20 bis 24, 26 bis 31 und 32 bis 36). In den Tabellen sind jeweils angegeben die Mittelwerte, Variationskoeffizienten und Extremwerte der Biege- bzw. Zugfestigkeit  $\beta_B$  bzw.  $\beta_Z$ , des nach DIN bzw. ISO ermittelten Biege- bzw. Zug-E-Moduls  $E_{B \text{ DIN}}$  ( $E_{B \text{ ISO}}$ ) bzw.  $E_Z$ , der Rohdichte  $Q_0$  bzw.  $Q_{12}$ , des Ästigkeitskriteriums  $a_{\text{DAB}}$  für Bretter und Bohlen (Astansammlung) bzw.  $a_{\text{DEK}}$  für Kanthölzer (zum Vergleich) nach DIN 4074 und schließlich der Holzfeuchte  $u$  zum Zeitpunkt des Bruchs. Im einzelnen wurden folgende Ergebnisse erzielt:

### 5.1 Biegeversuch hochkant

Das Gesamtergebnis der Biegeversuche hochkant zeigt **Tabelle 3** (Anlage 2), während in **Tabelle 4** (Anlage 3) die Ergebnisse getrennt nach den Sortierklassen S10 und S13 zusammengestellt sind; alle Prüfkörper mit einer Ästigkeit  $a_{\text{DAB}} > 0,50$  (S7 und schlechter, Gl. 5) wurden hier nicht berücksichtigt. Angegeben sind neben der mittleren Biegefestigkeit  $\beta_B$  und deren 5%-Fraktilwert  $\beta_{B \text{ 5\%}}$  die Biege-E-Moduli  $E_{B \text{ DIN}}$  und  $E_{B \text{ ISO}}$  sowie die holzphysikalischen Kenngrößen des Kollektivs.

Die **5%-Fraktilwerte** der Festigkeiten sowohl für die 4 Kollektive insgesamt als auch differenziert nach den Sortierklassen S10 und S13 wurden in **Tabelle 11** (Anlage 10) nach prEN 384 verteilungsfrei (Abzählkriterium) ermittelt, wobei für nicht-ganze Prüfkörperzahlen entsprechend interpoliert wurde. Zum Vergleich wurden die 5%-Fraktilwerte unter Annahme einer normalverteilten Grundgesamtheit ermittelt. Größere Unterschiede in den Fraktilwerten ergeben sich wie erkennbar in der Sortierklasse S10 bei den langen Zugprüfkörpern und in der Sortierklasse S13 bei den Biegeprüfkörpern flachkant.

Für die weitere Untersuchung wurden die verteilungsfrei bestimmten 5%-Fraktilwerte der Festigkeiten (charakteristische Werte) herangezogen. Soweit Fraktilwerte für die Rohdichte angegeben werden, wurden diese nach prEN 384 unter der Annahme einer normalverteilten Grundgesamtheit berechnet.

In den **Bildern 4 bis 9** (Anlagen 14 bis 18) sind die Versuchsergebnisse des Kollektivs Biegung hochkant graphisch dargestellt.

## 5.2 Biegeversuch flachkant

**Tabelle 5** (Anlage 4) zeigt die Ergebnisse für das Gesamtkollektiv Biegung flachkant, **Tabelle 6** (Anlage 5) getrennt nach Sortierklasse S10 und S13. Die Festigkeitswerte fallen gegenüber der Hochkantprüfung erkennbar höher aus. Die Reduzierung auf die Bezugshöhe von 150 mm erfolgt in Abschnitt 6.

In den **Bildern 12 bis 17** (Anlagen 20 bis 24) sind die Versuchsergebnisse graphisch dargestellt bzw. über den Holzparametern Rohdichte  $\rho_{12}$  und Ästigkeit  $a_{DAB}$  aufgetragen.

Bei der Darstellung des Biege-E-Moduls  $E_{B, ISO}$  flachkant wurden die Versuchswerte von 7 Prüfkörpern nicht berücksichtigt, bei denen die maximale Ästigkeit des Prüfkörpers außerhalb des Meßbereichs nach ISO 8375 ( $l_1 = 0,8 \cdot l/3$ , Bild 1, Anlage 12) gelegen war.

Der Vergleich zeigt, daß der Biege-E-Modul hochkant um etwa 15% ( $E_{B, DIN}$ ) bzw. 33% ( $E_{B, ISO}$ ) höher ist als der Biege-E-Modul flachkant.

## 5.3 Zugversuch an langen Prüfkörpern

Die Ergebnisse für die langen Zugprüfkörper mit einer freien Prüflänge von  $l_0 = 9 \cdot b = 1305$  mm sind in **Tabelle 7** (Anlage 6) bzw. **Tabelle 8** (Anlage 7) und in den **Bildern 20 bis 25** (Anlagen 26 bis 30) dargestellt bzw. über den Holzparametern Rohdichte  $\rho_{12}$  und Ästigkeit  $a_{DAB}$  aufgetragen.

## 5.4 Zugversuch an kurzen Prüfkörpern

Die Ergebnisse für die kurzen Zugprüfkörper mit einer freien Prüflänge von  $l_0 = 150$  mm sind in **Tabelle 9** (Anlage 8) bzw.

**Tabelle 10** (Anlage 9) und in den **Bildern 28 bis 33** (Anlagen 32 bis 36) dargestellt.

Bei in etwa vergleichbarer Rohdichte und Ästigkeit liegt die Zugfestigkeit der kurzen Probe im Mittel um etwa 17% über derjenigen der langen Probe (Anlage 6 bzw. 8).

## 6. Diskussion der Ergebnisse

### 6.1 Klassifizierung von Brettlamellen nach prEN 338 entsprechend den Sortierungsklassen nach DIN 4074

Nach EN TC 124.207 (1992) soll die Einstufung von Brettlamellen für Brettschichtholz entsprechend der charakteristischen **Biegefestigkeit** (5%-Fraktilwert) des Brettes erfolgen, wobei die erhaltene, hochkant oder flachkant bestimmte Festigkeit mit der Beziehung (1) auf eine Referenzhöhe von  $h = 150$  mm umgerechnet werden muß.

Die charakteristische Zugfestigkeit (5%-Fraktilwert) des Holzes ist in prEN 338 mit 60% der charakteristischen Biegefestigkeit der jeweiligen Festigkeitsklasse festgelegt.

Außer der Klassifizierung nach der Biegefestigkeit entsprechend prEN 338 wäre davon abweichend auch eine Einstufung der Brettlamelle nach ihrer **Zugfestigkeit** vorstellbar.

Im folgenden werden die verschiedenen Möglichkeiten der Einstufung für die beiden Sortierklassen S10 und S13 erörtert und einander gegenübergestellt.

**Tabelle 2** (Anlage 1) zeigt zunächst einen Auszug aus prEN 338 mit den drei für die Einstufung maßgebenden charakteristischen Größen **Rohdichte**, **Biege-E-Modul** (Mittelwert) und **Biegefestigkeit**. Für die Einstufung ist dabei jeweils der ungünstigste Wert maßgebend.

In der **Tabelle 12** (Anlage 11) sind für die beiden Sortierklassen S10 und S13 (DIN 4074) die entsprechenden Ergebnisse der Biegeprüfung hochkant und flachkant sowie der Zugprüfung mit langem und kurzem Prüfkörper zusammengestellt. Angegeben sind die unter Annahme einer Normalverteilung bestimmten 5%-Frak-

tilwerte der Rohdichte, der mittlere E-Modul, die nach Tabelle 11 (Anhang 10) verteilungsfrei ermittelten 5%-Fraktilwerte der Festigkeiten, die auf 150 mm Querschnittshöhe umgerechnete charakteristische Biegefestigkeit  $\sigma_{150\ 5\%}$  sowie die jeweilige formale Einstufung in Festigkeitsklassen entsprechend den Grenzwerten nach prEN 338 (Tabelle 2, Anlage 1).

Versteht man im folgenden unter Zugfestigkeit die charakteristische Zugfestigkeit der langen Probe, so zeigt sich in Abhängigkeit von der Sortierklasse nach DIN 4074 folgendes:

#### 6.1.1 Sortierklasse S10

Die ermittelte **Biegefestigkeit hochkant** führt zu einer Einstufung der Brettlamellen in die Festigkeitsklasse C18, da hier mit  $\sigma_{150\ 5\%} = 21,3\ \text{N/mm}^2$  die Biegefestigkeit maßgebend ist (Tabelle 12, Anlage 11). Der Vergleich der entsprechend zugeordneten Zugfestigkeit von nur  $11\ \text{N/mm}^2$  (Tabelle 2, Anlage 1) mit der im Versuch erhaltenen Zugfestigkeit von  $18,1\ \text{N/mm}^2$  (Tabelle 8, Anlage 7) zeigt deutlich, daß die Brettlamellen in ihrer tatsächlichen Zugfestigkeit weit unterschätzt werden.

Die **Biegefestigkeit flachkant** führt zu einem ähnlichen Ergebnis. Maßgebend ist auch hier die Biegefestigkeit, die wiederum nur eine Einstufung der Brettlamellen nach C18 zuläßt (Tabelle 12, Anlage 11).

Die ermittelte **Zugfestigkeit** der langen Brettlamelle von  $18,1\ \text{N/mm}^2$ , die entsprechend der vorwiegenden Beanspruchung der Brettlamellen im Brettschichtholzträger als angemesseneres Einstufungskriterium angesehen werden muß, würde dagegen nach Tabelle 2 (Anlage 1) zunächst eine Einstufung der geprüften Brettlamellen nach "C30" erlauben, wenn als Beurteilungskriterium lediglich der experimentell erzielte Wert der charakteristischen Zugfestigkeit herangezogen wird.

Übernimmt man dagegen wie bei der Einstufung nach der Biegefestigkeit die übrigen Kriterien Rohdichte und E-Modul unverändert, so müßten die Brettlamellen der Sortierklasse S10 in die Festigkeitsklasse "C24" eingestuft werden, da mit  $11\ 610\ \text{N/mm}^2$

der E-Modul maßgebend wird (Tabelle 12, Anlage 11).

Hält man aber an der Leitgröße 'Biegefestigkeit' fest, so müßte die charakteristische Zugfestigkeit der Brettlamelle zwischen etwa 85% (Biegung hochkant) und rund 92% (Biegung flachkant) der charakteristischen Biegefestigkeit festgelegt werden, um die ermittelte Zugfestigkeit (5%-Fraktilwert) der Brettlamelle von  $18,1 \text{ N/mm}^2$  in der Sortierklasse S10 wirklichkeitsnah zu erfassen.

### 6.1.2 Sortierklasse S13

Die ermittelte **Biegefestigkeit hochkant** führt hier zu einer Einstufung der Brettlamellen in die Festigkeitsklasse C27. Maßgebend ist hier wiederum die Biegefestigkeit (Tabelle 12, Anlage 11).

Die **Biegefestigkeit flachkant** führt zu einer Einstufung der Brettlamellen nach C24, da hier jetzt mit  $11\,300 \text{ N/mm}^2$  der E-Modul maßgebend wird (Tabelle 12, Anlage 11)<sup>2</sup>. Die Ergebnisse zeigen, daß bei Flachkantprüfung stets ein deutlich niedrigerer E-Modul als bei Hochkantprüfung ermittelt wird.

Die ermittelte **Zugfestigkeit** als Einstufungskriterium würde dagegen mit Rücksicht auf die geforderte Mindestrohndichte (5%-Fraktilwert) von  $380 \text{ kg/m}^3$  (Tabelle 2, Anlage 1) eine Einstufung der geprüften Brettlamellen nach "C30" erlauben (Tabelle 12, Anlage 11).

Hält man auch hier an der Leitgröße 'Biegefestigkeit' fest, so müßte die charakteristische Zugfestigkeit der höherwertigen Brettlamelle (S13) zwischen etwa 78% (Biegung hochkant) und rund 76% (Biegung flachkant) der charakteristischen Biegefestigkeit festgelegt werden, um die tatsächliche Zugfestigkeit (5%-Fraktilwert) der Brettlamelle von  $21,0 \text{ N/mm}^2$  in der Sor-

---

<sup>2</sup> In Tabelle 12 ist generell der E-Modul  $E_{B \text{ DIN}}$  statt  $E_{B \text{ ISO}}$  angegeben, da  $E_{B \text{ ISO}}$  flachkant wegen der geringeren Meßlänge  $l_1 = 168 \text{ mm}$  (Bild 1) weiter streute und an einer geringeren Probenzahl bestimmt wurde (Tabelle 5).

tierklasse S13 wirklichkeitsnah zu erfassen.

## 6.2 Einfluß der freien Prüflänge des Zugprüfkörpers

Die Zugfestigkeit (5%-Fraktilwert) der langen Probe ( $l_{0 \text{ lang}} = 1305 \text{ mm}$ ) betrug bei der Sortierklasse S 10 etwa 86% des Wertes der kurzen Probe ( $l_{0 \text{ kurz}} = 150 \text{ mm}$ ), wobei beim Vergleich allerdings die etwas unterschiedlichen Rohdichten (5%-Fraktilwerte) zu berücksichtigen sind (Tabelle 12, Anlage 11).

In der Sortierklasse S13 fiel die Festigkeit bei vergleichbaren Rohdichten auf etwa 81% ab. Für beide Kollektive zusammen (Gesamtkollektiv) ergibt sich nach Tabelle 11 (Anlage 10) ein Festigkeitsabfall auf 80%, so daß im Mittel  $\sigma_{\text{lang}} \approx 0,80 \cdot \sigma_{\text{kurz}}$  gilt.

Der Einfluß der freien Prüflänge, bezogen auf  $l_0 = 2540 \text{ mm}$ , kann nach Lam u. Varoglu (1990) nach der Formel

$$\sigma_l = \sigma_{2540} \cdot k_l \quad (6)$$

mit dem Längenfaktor

$$k_l = \left( \frac{2540}{l_0} \right)^s \quad (7)$$

abgeschätzt werden, wobei für  $l_0$  die freie Prüflänge des jeweiligen Prüfkörpers in [mm] einzusetzen ist. Die Autoren geben für den Exponenten Werte von  $0,12 \leq s \leq 0,19$  an.

Mit den gegebenen Daten und  $l_{0 \text{ lang}} = 1305 \text{ mm}$  bzw.  $l_{0 \text{ kurz}} = 150 \text{ mm}$  ergibt sich ein Wert von  $s \approx 0,10$ <sup>3</sup>.

## 7. Zusammenfassung

Zur Klärung der Frage, ob Brettlamellen für Brettschichtholz wie nach EN TC 124.207 (1992) vorgesehen zuverlässig und wirtschaftlich nach ihrer **Biegefestigkeit** klassifiziert werden können, wurden die erforderlichen elastomechanischen und physikalischen Kenngrößen von insgesamt 212 Brettlamellen (Feuch-

<sup>3</sup> Der Wert für  $s$  ergibt sich anhand der Gl. (6) und (7) aus der Beziehung  $\sigma_{\text{kurz}}/\sigma_{\text{lang}} = (l_{0 \text{ lang}}/l_{0 \text{ kurz}})^s$

te  $\approx 12\%$ ) vom Querschnitt von  $145/35 \text{ mm}^2$  experimentell bestimmt.

Zwei Kollektive wurden im Biegeversuch (hochkant, flachkant) und zwei Kollektive im Zugversuch (lange bzw. kurze Probe) geprüft, wobei beim Zugversuch die freien Prüflängen nach prEN 408  $l_0 = 9 \cdot b = 1305 \text{ mm}$  und in Anlehnung an frühere Versuche  $l_0 = 150 \text{ mm}$  betragen.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Klassifizierung von Brettlamellen nach deren Biegefestigkeit wie vermutet zu einer ungünstigeren Einstufung führt. Maßgebend war hier in der Regel die als gebräuchlich angesehene Flachkantbiegeprüfung, weil in diesem Fall ein um 15% bis 20% geringerer E-Modulwert als bei Hochkantbiegeprüfung ermittelt wurde.

Die Brettlamellen der **Sortierklasse S10** mußten nach prEN 338 entsprechend den bei Hoch- und Flachkantprüfung erreichten charakteristischen Biegefestigkeiten in die Festigkeitsklasse C18 mit einer zugeordneten charakteristischen Zugfestigkeit von  $11 \text{ N/mm}^2$  eingestuft werden, obwohl die charakteristische **Zugfestigkeit** der experimentell geprüften Brettlamellen  $18,1 \text{ N/mm}^2$  betrug. Die tatsächliche charakteristische Zugfestigkeit der langen Brettlamelle der Sortierklasse S 10 würde somit bei diesem Klassifizierungsverfahren nur zu etwa 61% ausgenützt werden.

Die Brettlamellen der **Sortierklasse S13** konnten nach prEN 338 entsprechend den charakteristischen Grenzwerten in die Festigkeitsklassen C27 (Hochkantprüfung) bzw. C24 (Flachkantprüfung) eingestuft werden, denen nach prEN 338 Werte für die charakteristischen Zugfestigkeiten von  $16 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $14 \text{ N/mm}^2$  zugeordnet sind.

Der experimentell bestimmte Wert der charakteristischen **Zugfestigkeit** der langen Brettlamelle betrug jedoch  $21,0 \text{ N/mm}^2$ , so daß die tatsächliche Zugfestigkeit der Brettlamellen der Sortierklasse S13 bei diesem Klassifizierungsverfahren nur zu etwa 76% bzw. 67% ausgenützt würde.

Um die tatsächlich vorhandene Zugfestigkeit von Brettlamellen



für Brettschichtholz ausnützen zu können, wird deshalb vorgeschlagen, die Brettlamellen auch nach der charakteristischen **Zugfestigkeit** und nicht wie vorgesehen ausschließlich nach der charakteristischen **Biegefestigkeit** zu klassifizieren. Dabei wäre zu berücksichtigen, daß im Zugversuch oft ein niedrigerer Elastizitätsmodul als im Biegeversuch bestimmt wird.

### 8. Schrifttum

- Colling, F. und Görlacher, R. (1989)  
Eigenschaften des in Leimbaubetrieben verarbeiteten  
Schnittholzes.  
Bauen mit Holz, Bd. 91 (5), S. 327 - 331
- EN TC 124.207 (1992)  
Holzbauwerke. Brettschichtholz - Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte
- DIN 4074, Teil 1 (1989)  
Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit. Nadel-schnittholz. Beuth-Verlag, Berlin
- Glos, P. und Henrici, D. (1993)  
Einfluß der Querschnittshöhe auf die Biegefestigkeit von Fichtenschnittholz mit kleinen Querschnitten.  
Institut für Holzforschung der Universität München, Bericht 91508
- prEN 338 (1991)  
Structural timber - Strength classes. Prepared by TC 124, Timber Structures, September 1991, Brüssel
- prEN 384 (1991)  
Structural timber - Determination of characteristic values of mechanical properties and density
- prEN 408 (1991)  
Timber structures - Test methods, solid timber and glued laminated timber, determination of some physical and mechanical properties
- Lam, F. und Varoglu, E. (1990)  
Effect of length on the tensile strength of lumber.  
Forest Products Journal 40 No. 5, S. 37 - 42

## **Anlagen 1 - 36**

Versuch	n	Querschnitt mm	Prüflänge mm
Biegung hochkant	53	35/145	2610
Biegung flachkant	53	145/35	630
Zug, lange Probe	53	145/35	1305
Zug, kurze Probe	53	145/35	150

**Tabelle 1:** Versuchsprogramm und Anzahl der Prüfkörper

Festig- keitsklasse	$\rho_k (\rho_{12, 5\%})$ kg/m <sup>3</sup>	$E_{0,k50} (E_B \text{ ISO})$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{m,k} (\sigma_B 5\%)$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{t,0,k} (\sigma_Z 5\%)$ N/mm <sup>2</sup>
C18	320	9 000	18	11
C22	340	10 000	22	13
C24	350	11 000	24	14
C27	370	12 000	27	16
C30	380	12 000	30	18
C35	400	13 000	35	21

**Tabelle 2:** Anforderungen nach prEN 338 an die Festigkeits-  
klassen C

Biegung hochkant, n = 53				
Größe	$\bar{x}$	V(%)	$x_{\min}$	$x_{\max}$
$\beta_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	42,1	28,2	21,3	68,0
$E_{B \text{ DIN}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12 110	19,5	7 270	20 160
$E_{B \text{ ISO}}$	13 260	20,1	7 990	22 150
$\rho_{12}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,451	9,4	0,370	0,598
$\rho_o$	0,421	11,5	0,332	0,583
$a_{\text{DAB}}$ [1]	0,38	37,9	0,09	0,82
$a_{\text{DEK}}$	0,41	40,4	0,10	0,77
u [%]	11,4	3,8	10,6	12,4

**Tabelle 3:** Ergebnisse der Biegeversuche für Hochkantprüfung

S10	Biegung hochkant, n = 22				
	$\bar{x}$	$x_{5\%}$	V(%)	$x_{\min}$	$x_{\max}$
$\beta_B$	39,4	21,5 <sup>1)</sup>	24,1	21,3	56,8
$E_{B \text{ DIN}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	11 620	-	17,3	7 270	14 830
$E_{B \text{ ISO}}$	12 950	-	17,6	7 990	16 480
$\rho_{12}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,440	0,381	8,1	0,379	0,521
$a_{\text{DAB}}$ [1]	0,42	-	10,1	0,34	0,50

S13	Biegung hochkant, n = 22				
	$\bar{x}$	$x_{5\%}$	V(%)	$x_{\min}$	$x_{\max}$
$\beta_B$	49,0	27,2 <sup>1)</sup>	23,7	27,2	68,0
$E_{B \text{ DIN}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	13 270	-	18,8	8 960	20 160
$E_{B \text{ ISO}}$	14 300	-	20,0	9 790	22 150
$\rho_{12}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,467	0,384	10,9	0,370	0,598
$a_{\text{DAB}}$ [1]	0,25	-	25,3	0,09	0,32

<sup>1)</sup> Verteilungsfrei bestimmt

**Tabelle 4:** Ergebnisse der Biegeversuche bei Hochkantprüfung für die Sortierklassen S10 und S13

Biegung flachkant, n = 53				
Größe	$\bar{x}$	V(%)	$x_{\min}$	$x_{\max}$
$\beta_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	53,1	27,1	26,0	79,7
$E_B$ DIN [N/mm <sup>2</sup> ]	10 550	22,5	6 150	16 000
$E_B$ ISO <sup>1)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	9 950	33,8	4 070	17 620
$\rho_{12}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,449	9,3	0,361	0,570
$\rho_0$	0,418	10,4	0,327	0,536
$a_{DAB}$ [1]	0,31	43,8	0,07	0,69
$a_{DEK}$	0,37	63,5	0,06	0,96
u [%]	11,5	3,5	10,7	12,6

<sup>1)</sup> n = 46

**Tabelle 5:** Ergebnisse der Biegeversuche für Flachkantprüfung

S10	Biegung flachkant, n = 18				
	$\bar{x}$	$x_{5\%}$	V(%)	$x_{\min}$	$x_{\max}$
$\beta_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	43,2	25,5 <sup>1)</sup>	26,8	26,0	70,6
$E_{B \text{ DIN}}$	9 480	-	20,4	7 330	13 880
$\rho_{12}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,440	0,363	10,7	0,391	0,570
$a_{DAB}$ [1]	0,41	-	9,8	0,34	0,48

S13	Biegung flachkant, n = 31				
	$\bar{x}$	$x_{5\%}$	V(%)	$x_{\min}$	$x_{\max}$
$\beta_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	60,6	35,9 <sup>1)</sup>	19,3	30,4	79,7
$E_{B \text{ DIN}}$	11 300	-	21,5	6 150	16 000
$\rho_{12}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,454	0,388	8,8	0,361	0,537
$a_{DAB}$ [1]	0,22	-	36,3	0,07	0,33

<sup>1)</sup> Verteilungsfrei bestimmt

**Tabelle 6:** Ergebnisse der Biegeversuche bei Flachkantprüfung für die Sortierklassen S10 und S13

Zugprüfung, lange Probe $l_0 = 1305 \text{ mm}$ ; $n = 53$				
Größe	$\bar{x}$	V (%)	$x_{\min}$	$x_{\max}$
$\beta_z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	35,9	42,6	17,6	81,3
$E_z$	12 250	21,3	7 640	19 180
$\rho_{12}$ g/cm <sup>3</sup> ]	0,449	8,9	0,355	0,541
$\rho_0$	0,423	10,6	0,327	0,535
$a_{DAB}$ [1]	0,36	38,0	0,10	0,70
$a_{DEK}$	0,41	53,0	0,10	1,00
u [%]	10,5	5,0	9,3	11,6

**Tabelle 7:** Ergebnisse der Zugversuche für lange Prüfkörper



S10	Zug, lange Proben, n = 20				
	$\bar{x}$	$x_{5\%}$	V(%)	$x_{\min}$	$x_{\max}$
$\beta_z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	29,8	18,1 <sup>1)</sup>	35,0	18,1	55,9
$E_z$	11 610	-	16,7	8 690	15 630
$\rho_{12}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,445	0,382	8,6	0,355	0,512
$a_{DAB}$ [1]	0,40	-	12,5	0,34	0,49

S13	Zug, lange Proben, n = 24				
	$\bar{x}$	$x_{5\%}$	V(%)	$x_{\min}$	$x_{\max}$
$\beta_z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	45,0	21,0 <sup>1)</sup>	35,8	20,2	81,3
$E_z$	13 430	-	21,0	7 640	19 180
$\rho_{12}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,454	0,380	10,0	0,388	0,541
$a_{DAB}$ [1]	0,24	-	21,6	0,10	0,33

1) Verteilungsfrei bestimmt

**Tabelle 8:** Ergebnisse der Zugversuche für lange Prüfkörper ( $l_0 = 1305$  mm) für die Sortierklassen S10 und S13

Zugprüfung, kurze Probe $l_0 = 150 \text{ mm}$ ; $n = 53$				
Größe	$\bar{x}$	V(%)	$x_{\min}$	$x_{\max}$
$\beta_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	42,1	32,9	20,8	95,7
$E_2$	10 560	27,4	4 750	18 100
$\rho_{12}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	0,449	8,6	0,363	0,557
$\rho_0$	0,423	9,9	0,336	0,527
$a_{\text{DAB}}$ [1]	0,34	37,9	0,09	0,73
$a_{\text{DEK}}$	0,36	48,2	0,09	0,85
u [%]	10,6	5,2	9,6	11,8

**Tabelle 9:** Ergebnisse der Zugversuche für kurze Prüfkörper

S10		Zug, kurze Proben, n = 20				
		$\bar{x}$	$x_{5\%}$	V(%)	$x_{\min}$	$x_{\max}$
$\beta_z$	[N/mm <sup>2</sup> ]	38,3	21,0 <sup>1)</sup>	25,2	21,0	52,2
$E_z$		9 560	-	23,8	5 180	13 860
$\rho_{12}$	[g/cm <sup>3</sup> ]	0,448	0,404	6,0	0,392	0,504
$a_{DAB}$	[1]	0,41	-	11,1	0,35	0,49

S13		Zug, kurze Proben, n = 28				
		$\bar{x}$	$x_{5\%}$	V(%)	$x_{\min}$	$x_{\max}$
$\beta_z$	[N/mm <sup>2</sup> ]	47,0	25,8 <sup>1)</sup>	32,8	25,0	95,7
$E_z$		11 770	-	24,4	6 380	18 100
$\rho_{12}$	[g/cm <sup>3</sup> ]	0,453	0,376	10,4	0,363	0,557
$a_{DAB}$	[1]	0,24	-	25,4	0,09	0,33

<sup>1)</sup> Verteilungsfrei bestimmt

**Tabelle 10:** Ergebnisse der Zugversuche für kurze Prüfkörper ( $l_0 = 150$  mm) für die Sortierklassen S10 und S13

## Gesamtkollektiv

Versuch	n	5% von n	Kleinstwerte $\beta$ (N/mm <sup>2</sup> )		$\beta_{5\%}$ (N/mm <sup>2</sup> )		$\bar{\beta}$ N/mm <sup>2</sup>
			2.	3.	Verteil. frei	Normal- verteil.	
Bieg. hochk.	53	2,65	22,7	23,1	23,0	22,6	42,1
Bieg. flachk.	53	2,65	30,4	30,5	30,5	29,5	53,1
Zug lang	53	2,65	18,1	18,4	18,3	10,8	35,9
Zug kurz	53	2,65	21,0	23,9	22,9	19,4	42,1

## Getrennt nach Sortierklassen

Sortierklasse und Versuch	n	5% von n	Kleinstwerte $\beta$ (N/mm <sup>2</sup> )		$\beta_{5\%}$ (N/mm <sup>2</sup> )		$\bar{\beta}$ N/mm <sup>2</sup>
			1.	2.	Verteil. frei	Normal- verteil.	
<b>S10</b>							
Bieg. hochk.	22	1,1	21,3	23,1	21,5	23,8	39,4
Bieg. flachk.	18	0,9	26,0	31,0	25,5	24,2	43,2
Zug lang	20	1,0	18,1	18,4	18,1	12,7	29,8
Zug kurz	20	1,0	21,0	23,9	21,0	22,5	38,3
<b>S13</b>							
Bieg. hochk.	22	1,1	27,2	27,4	27,2	30,0	49,0
Bieg. flachk.	31	1,55	30,4	40,4	35,9	47,4	60,6
Zug lang	24	1,2	20,2	24,3	21,0	18,6	45,0
Zug kurz	28	1,4	25,0	26,9	25,8	21,7	47,0

Tabelle 11: Ermittlung der 5%-Fraktilewerte der Festigkeiten

<b>S10</b>	n	$\rho_{12, 5\%}$ kg/m <sup>3</sup>	E N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{5\%}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{150\ 5\%}$ <sup>2)</sup> N/mm <sup>2</sup>	Einstuf. nach prEN 338
<b>Biegeprüfung</b>						
hochkant	22	381	11 620 <sup>1)</sup>	21,5	21,3	C18
flachkant	18	361	9 480 <sup>1)</sup>	25,5	19,6	C18
<b>Zugprüfung</b>						
lange Probe	20	382	11 610	18,1	-	"C24"
kurze Probe	20	404	9 560	21,0	-	-

<sup>1)</sup> Biege-E-Modul nach DIN

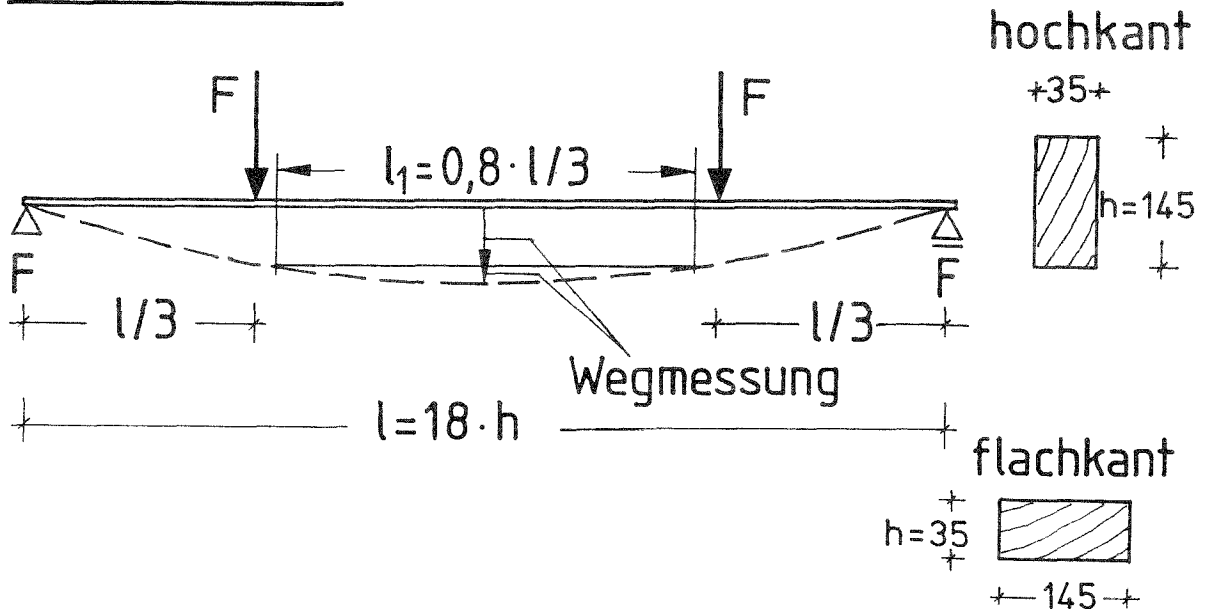
<sup>2)</sup> berechnet nach Gl. (1)

<b>S13</b>	n	$\rho_{12, 5\%}$ kg/m <sup>3</sup>	E N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{5\%}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{150\ 5\%}$ <sup>2)</sup> N/mm <sup>2</sup>	Einstuf. nach prEN 338
<b>Biegeprüfung</b>						
hochkant	22	384	13 270 <sup>1)</sup>	27,2	27,0	C27
flachkant	31	388	11 300 <sup>1)</sup>	35,9	27,6	C24
<b>Zugprüfung</b>						
lange Probe	24	380	13 430	21,0	-	"C30"
kurze Probe	28	376	11 770	25,8	-	-

<sup>1)</sup> Biege-E-Modul nach DIN <sup>2)</sup> berechnet nach Gl. (1)

**Tabelle 12:** Einstufung der geprüften Brettlamellen der Sortierklassen **S10** und **S13** in die Festigkeitsklassen nach prEN 338

## Biegeversuch



## Zugversuch

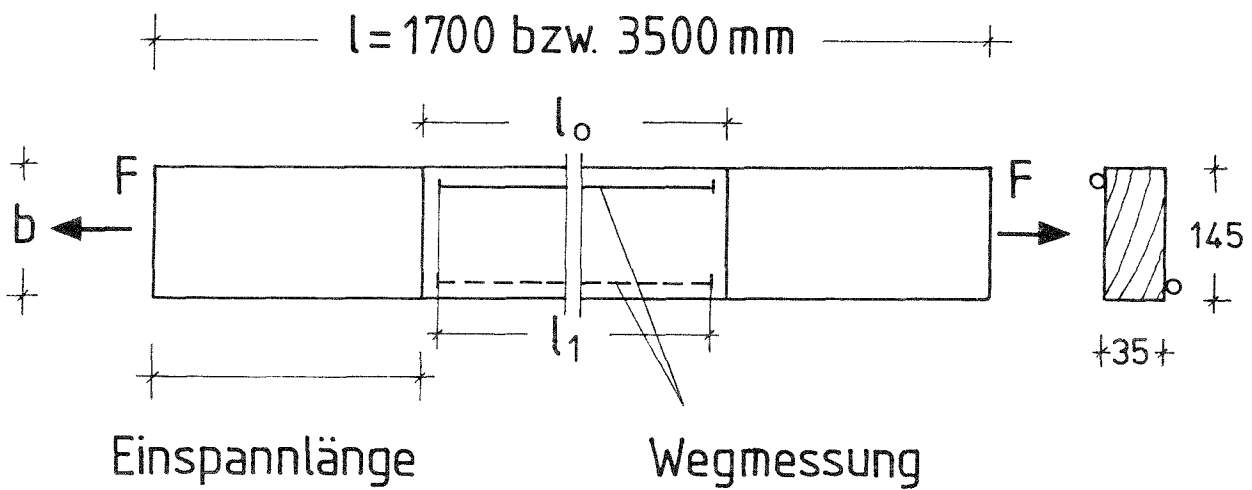
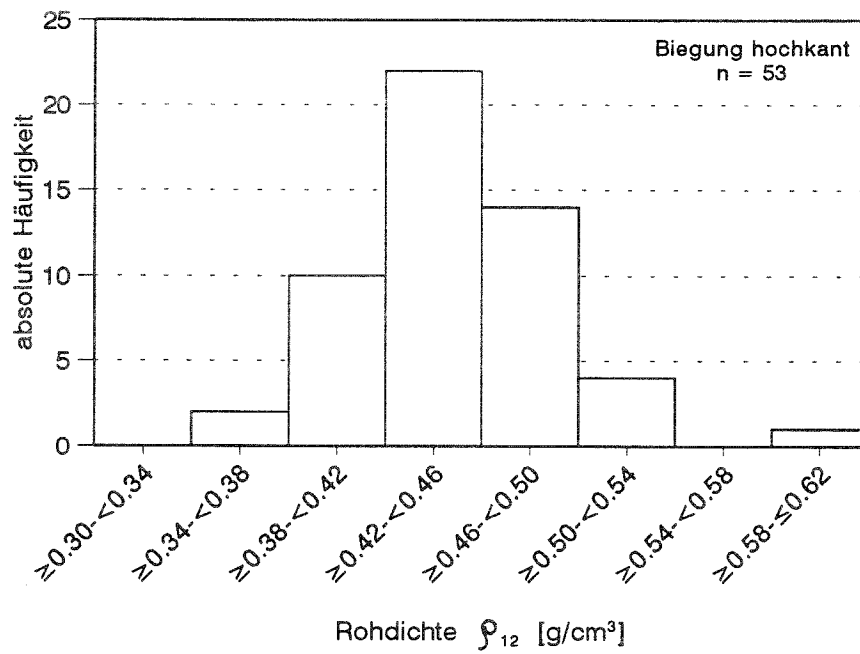
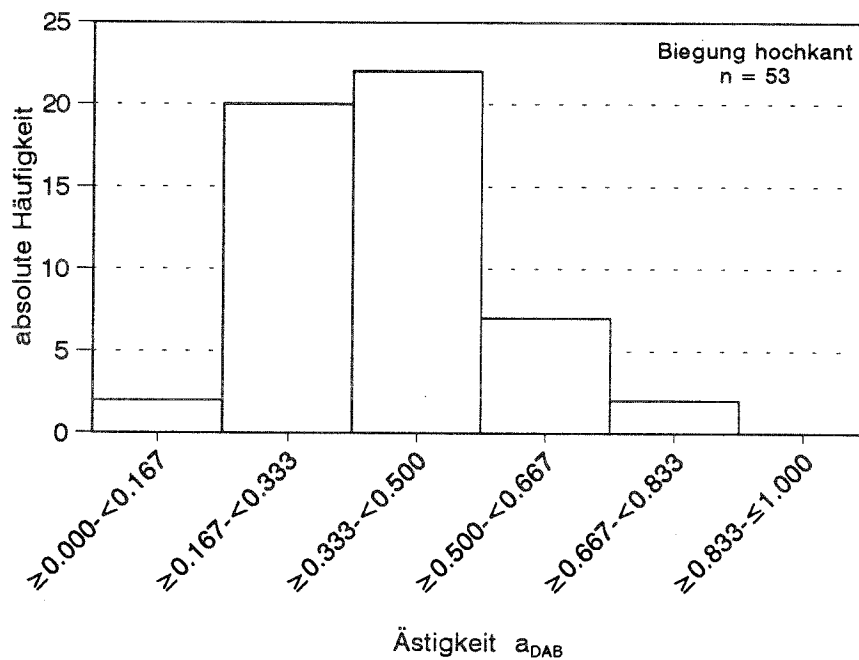


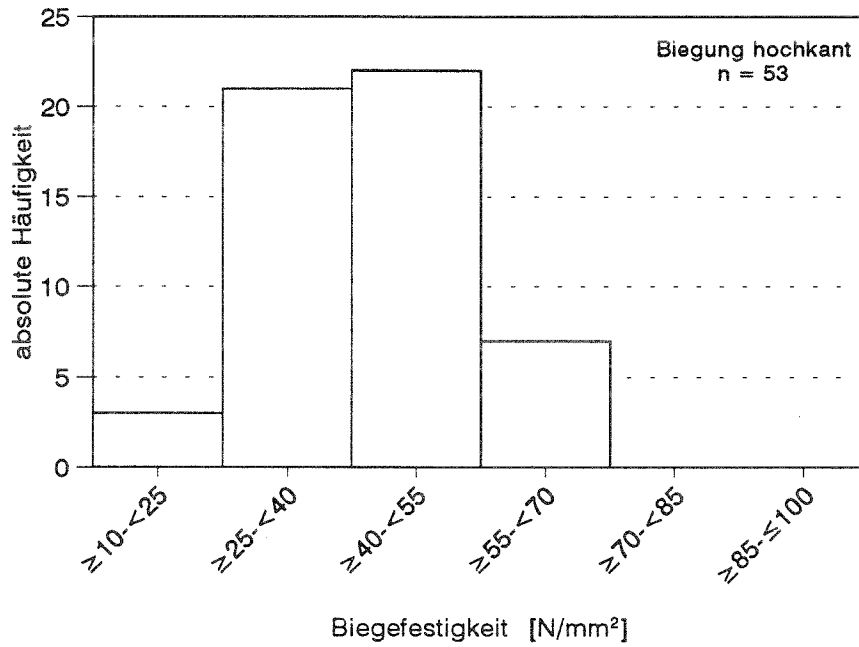
Bild 1: Prinzip der Festigkeitsprüfung (Maße in mm)



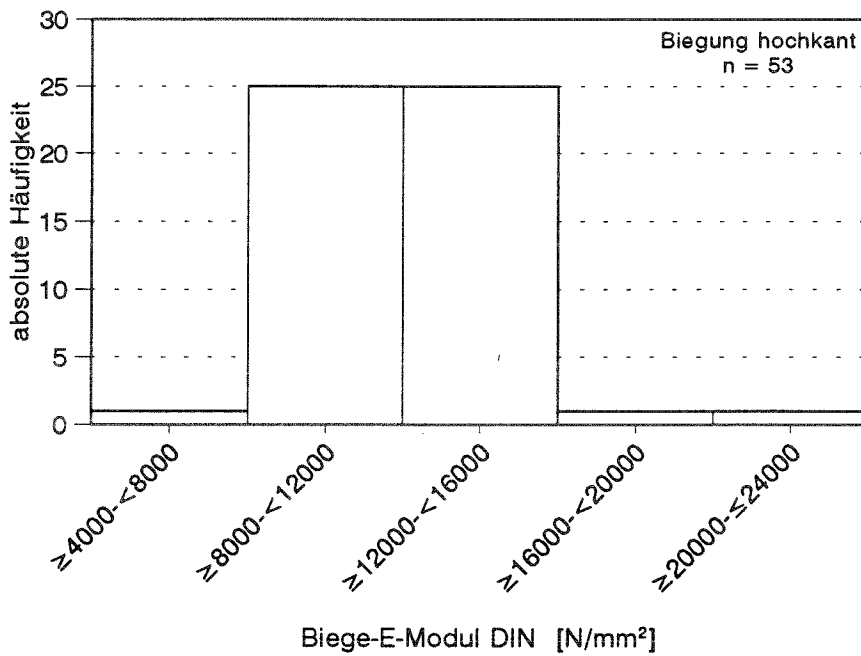
**Bild 2:** Biegung hochkant. Verteilung der Rohdichte



**Bild 3:** Biegung hochkant. Verteilung der Ästigkeit

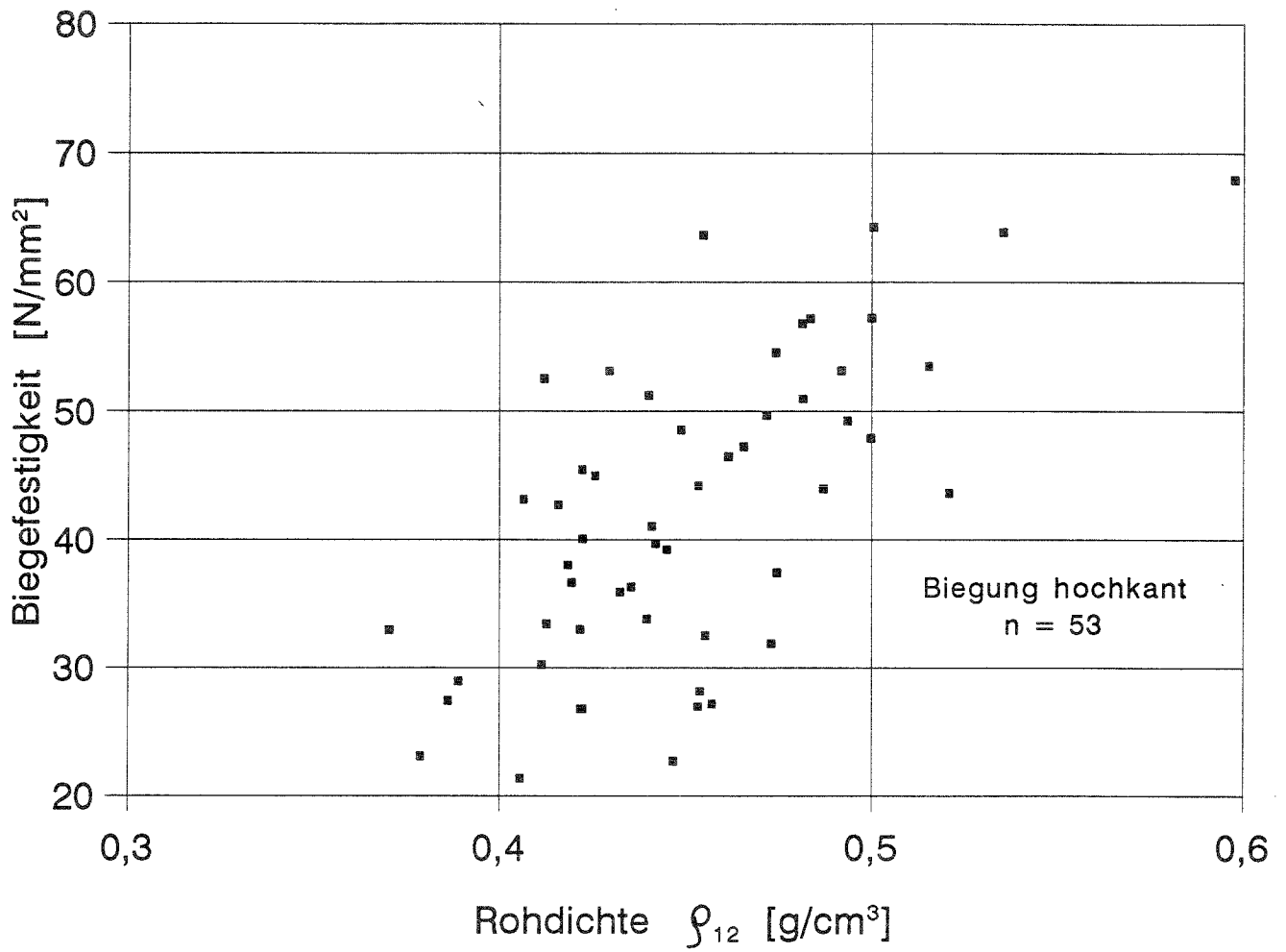


**Bild 4:** Biegung hochkant. Verteilung der Biegefestigkeit  $\beta_b$

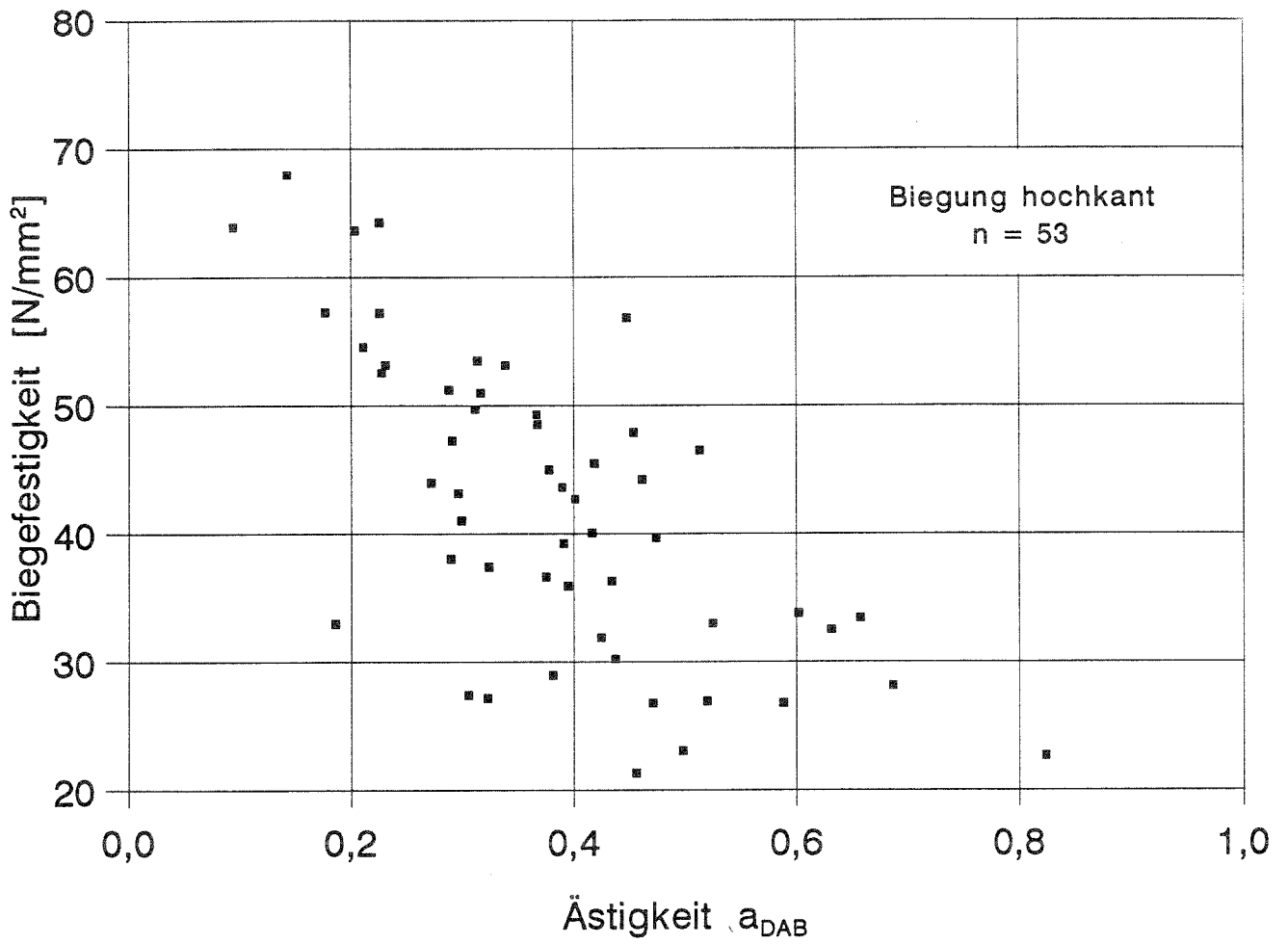


**Bild 5:** Biegung hochkant. Verteilung des Biege-E-Moduls  $E_{B \text{ DIN}}$

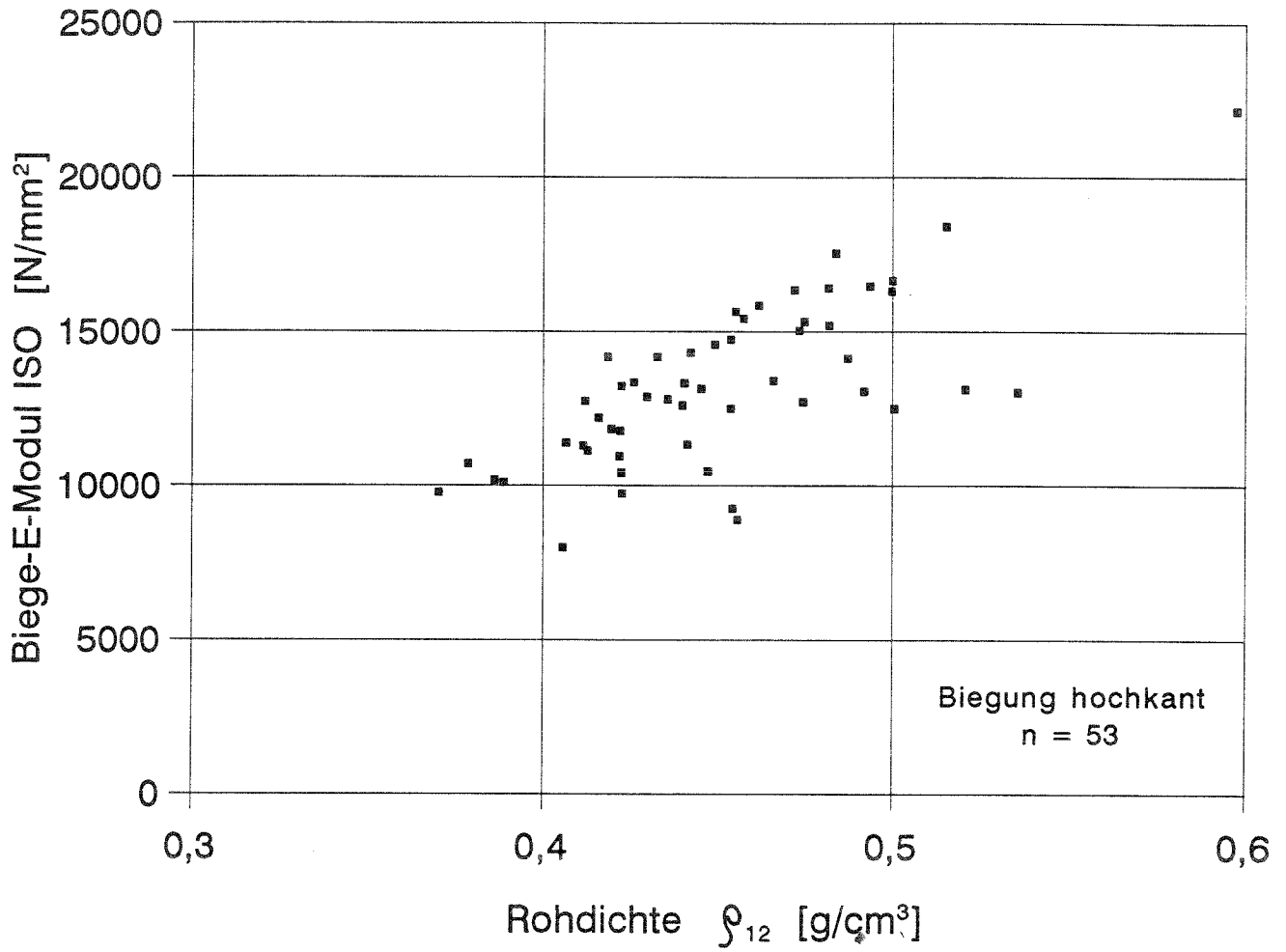




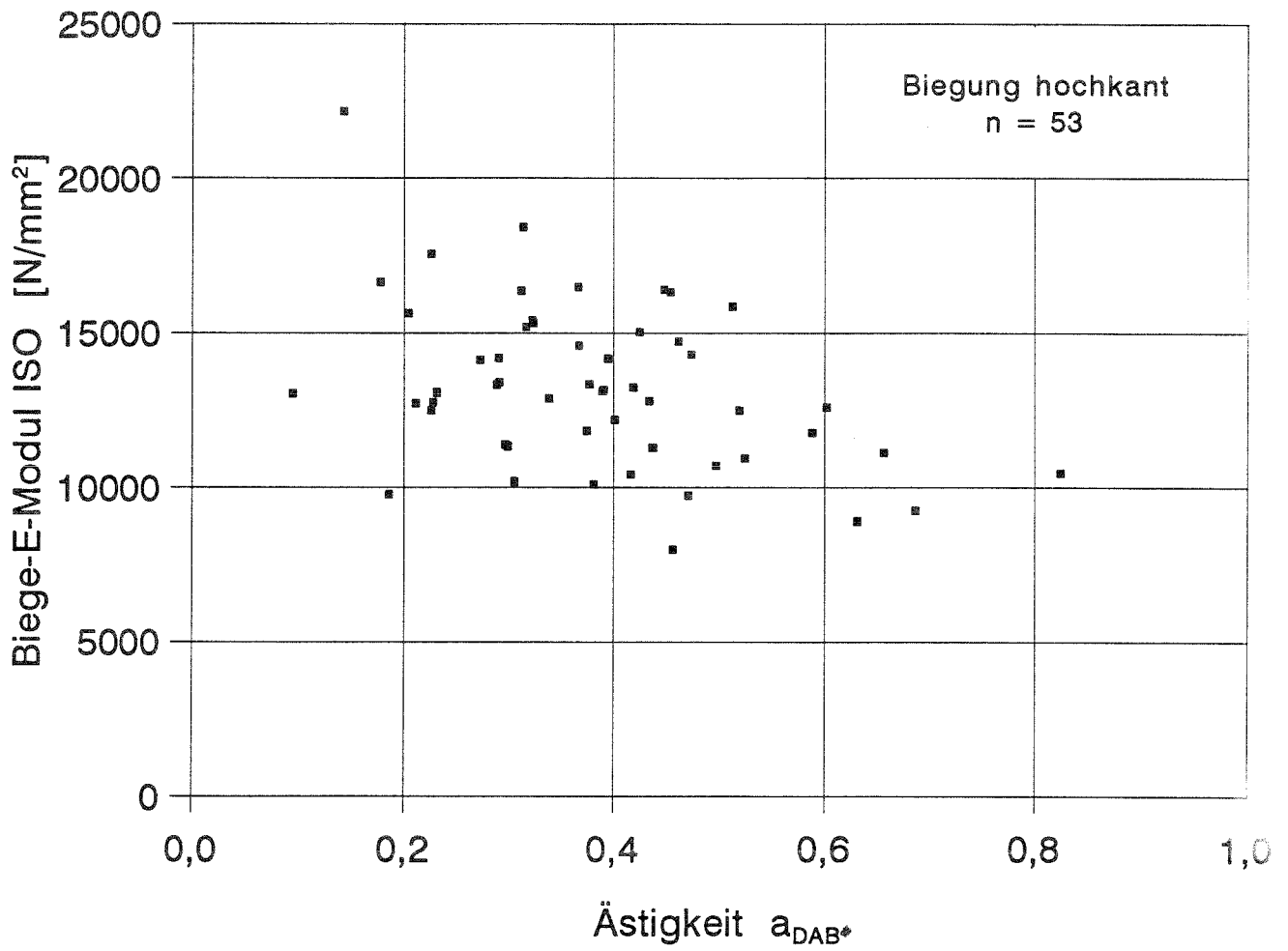
**Bild 6:** Biegung hochkant. Biegefestigkeit  $\beta_B$  über der Rohdichte



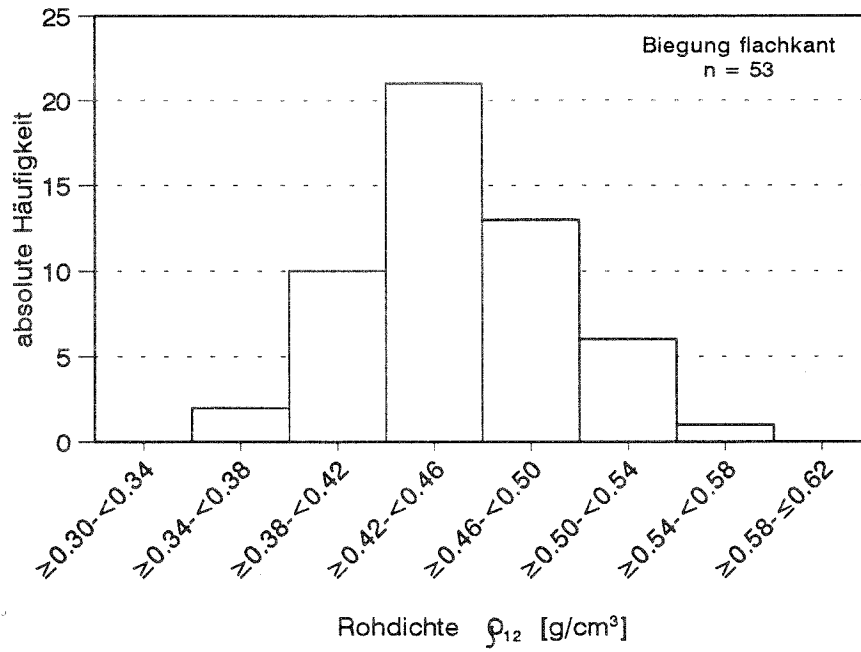
**Bild 7:** Biegung hochkant. Biegefestigkeit  $\beta_b$  über der Ästigkeit



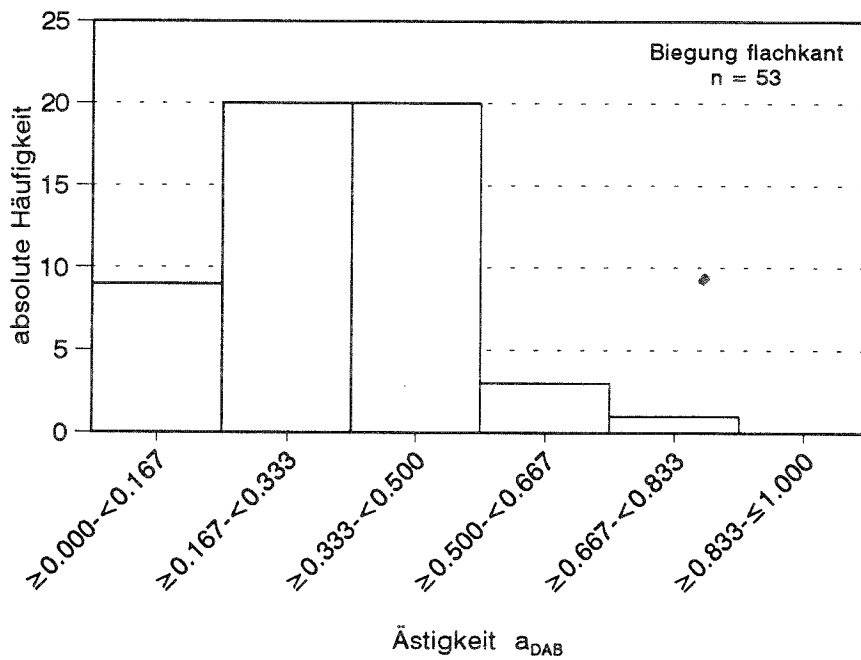
**Bild 8:** Biegung hochkant. Biege-E-Modul ( $E_{B \text{ ISO}}$ ) über der Rohdichte



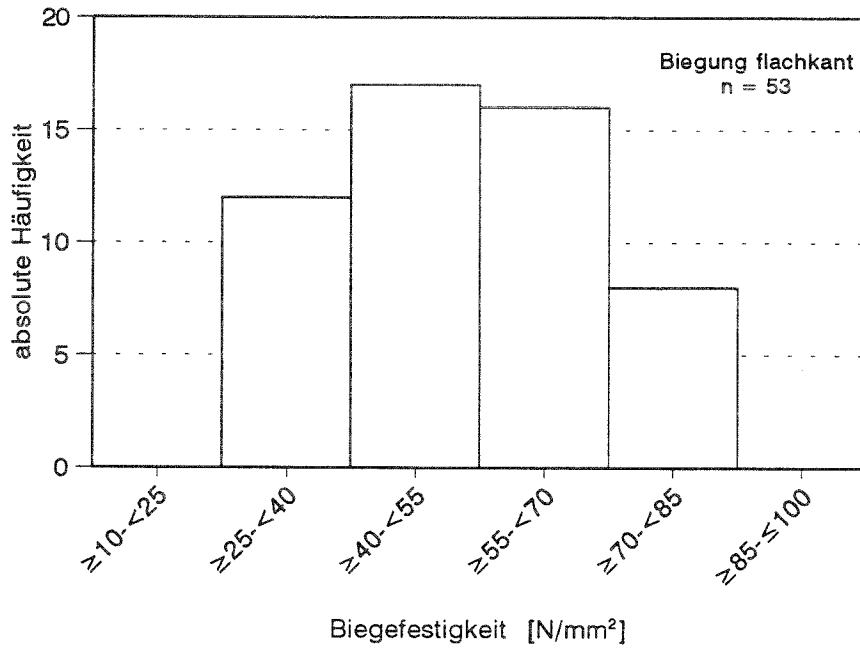
**Bild 9:** Biegung hochkant. Biege-E-Modul ( $E_B$  ISO) über der Ästigkeit



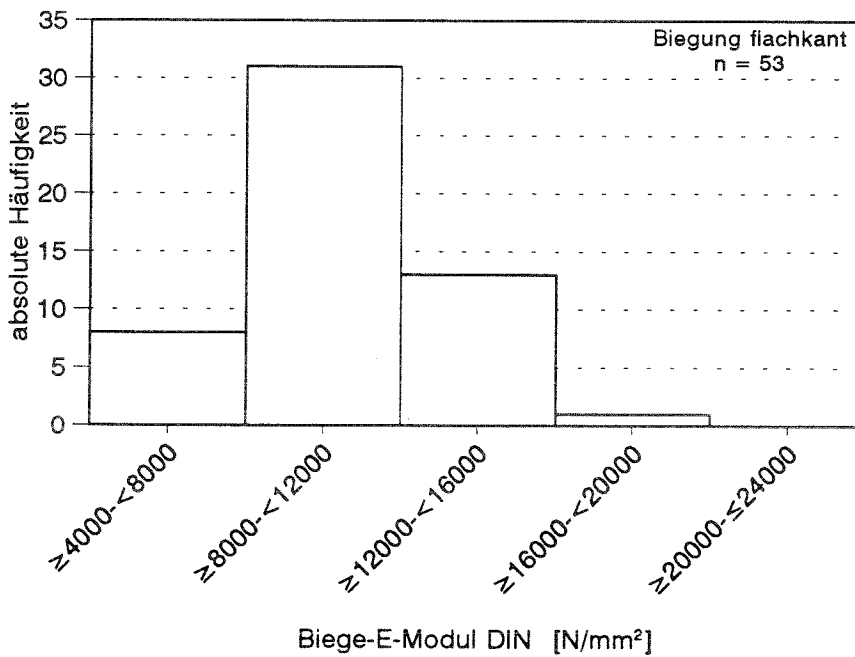
**Bild 10:** Biegung flachkant. Verteilung der Rohdichte



**Bild 11:** Biegung flachkant. Verteilung der Ästigkeit



**Bild 12:** Biegung flachkant. Verteilung der Biegefestigkeit  $\beta_B$



**Bild 13:** Biegung flachkant. Verteilung des Biege-E-Moduls  $E_{B \text{ DIN}}$

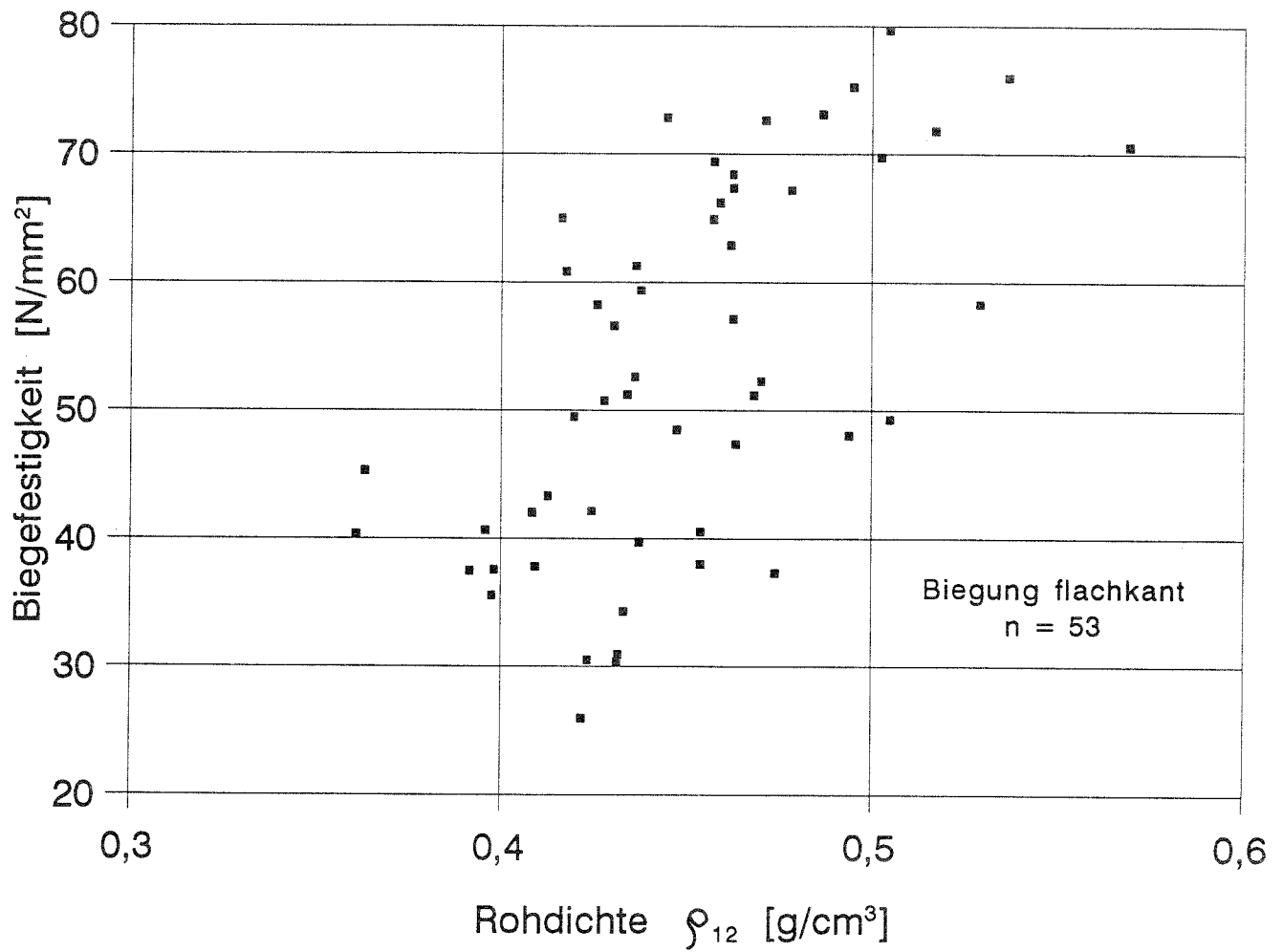


Bild 14: Biegung flachkant. Biegefestigkeit  $\beta_B$  über der Rohdichte

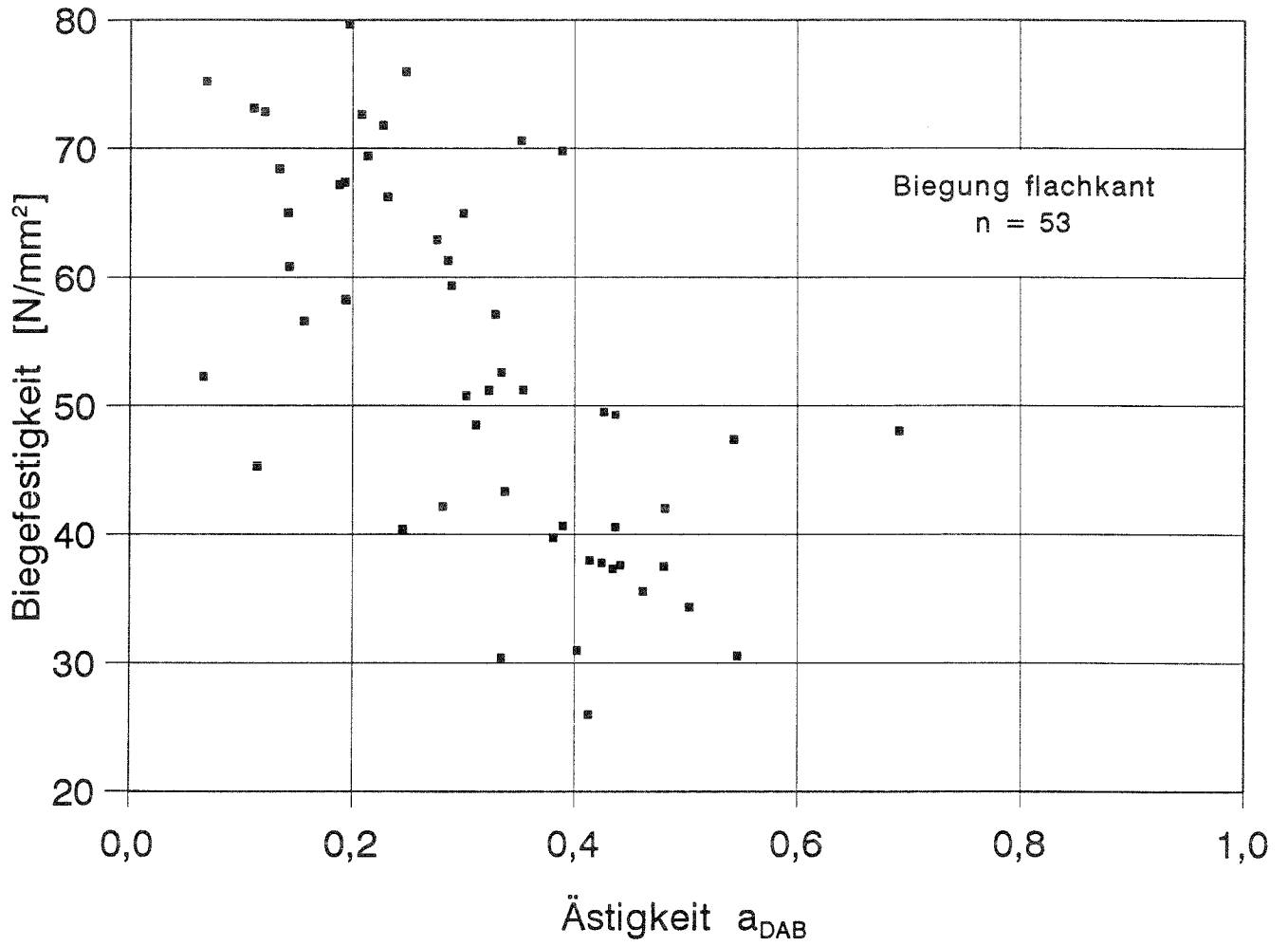
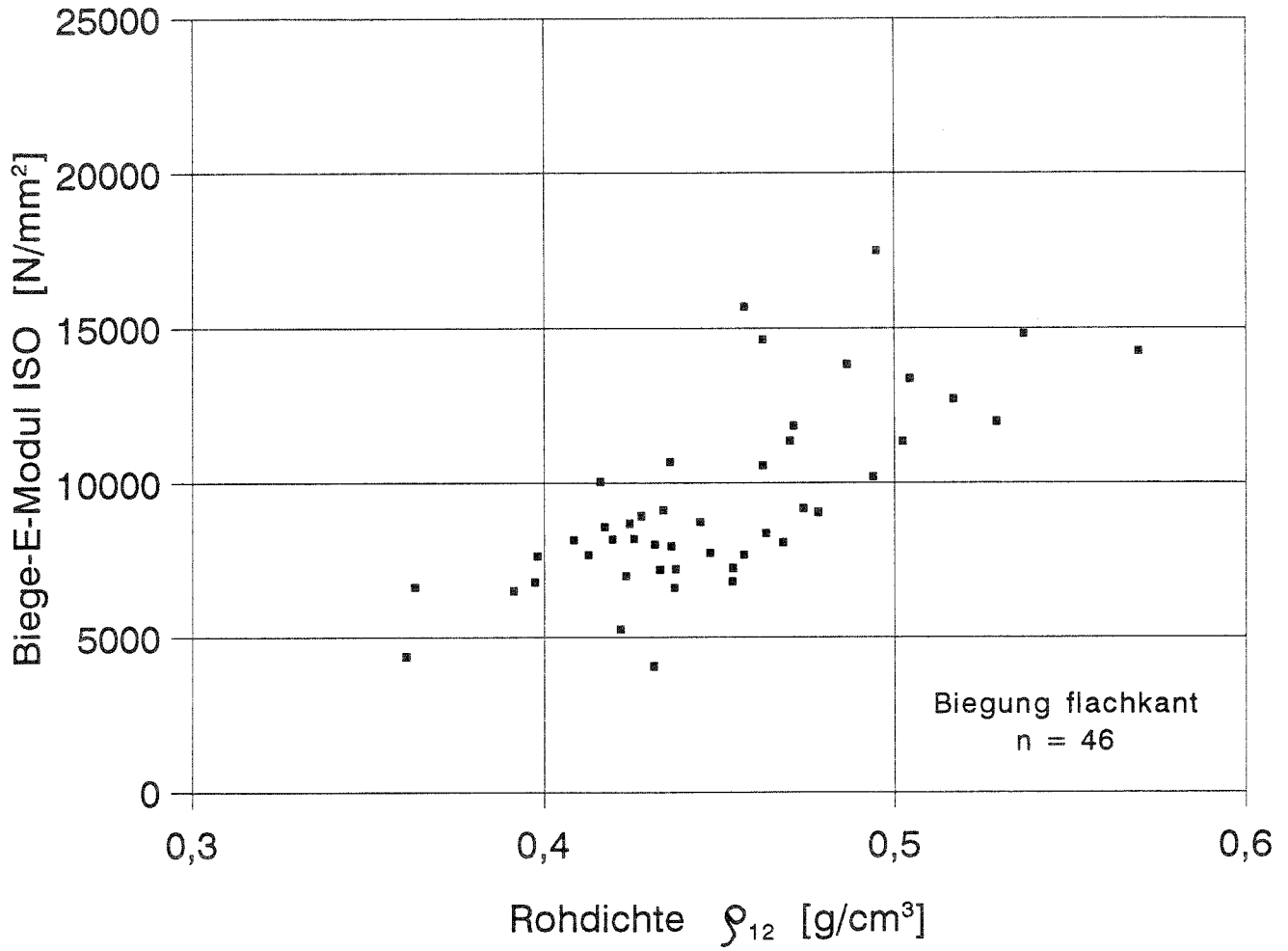


Bild 15: Biegung flachkant. Biegefestigkeit  $\beta_B$  über der Ästigkeit





**Bild 16:** Biegung flachkant. Biege-E-Modul ( $E_{B \text{ ISO}}$ ) über der Rohdichte

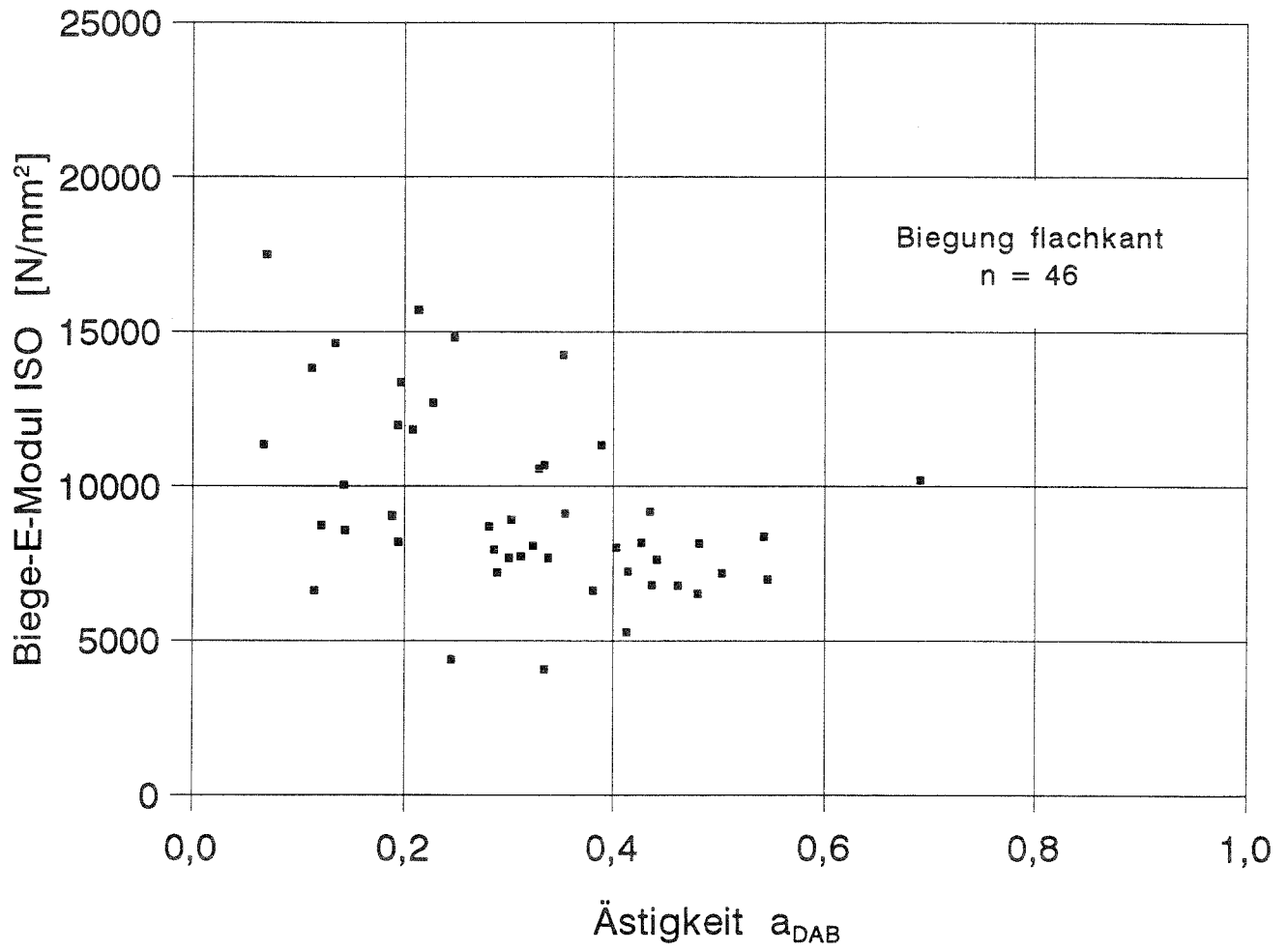
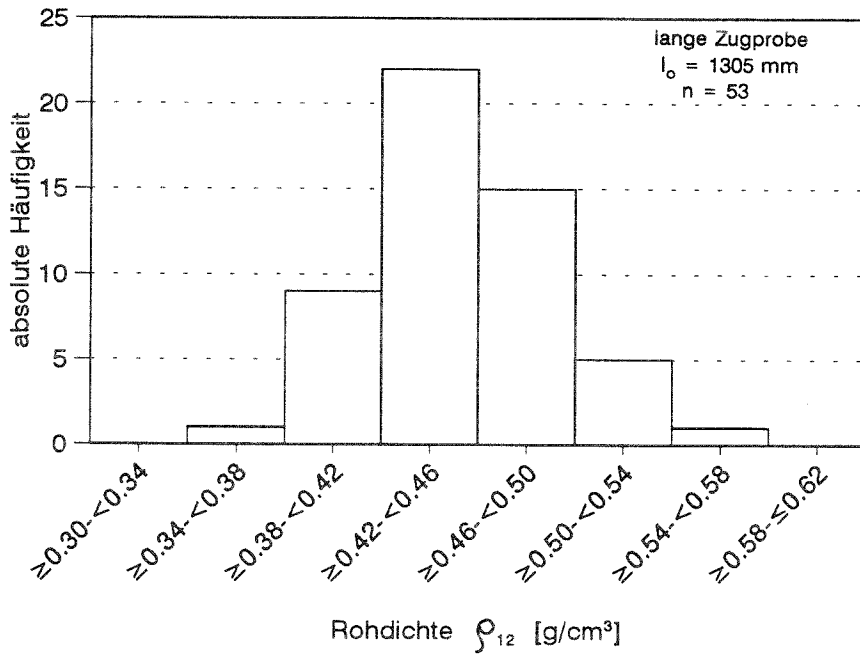
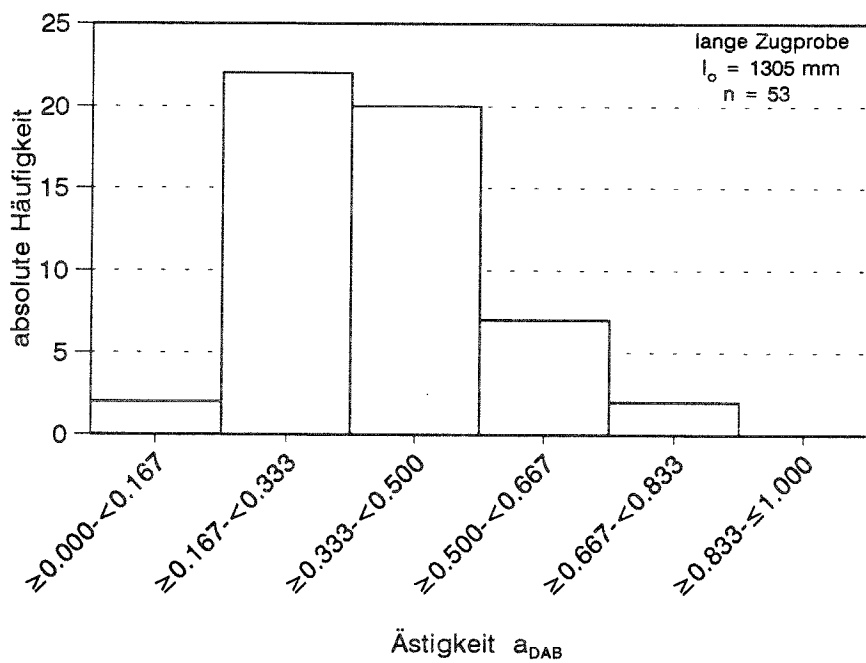


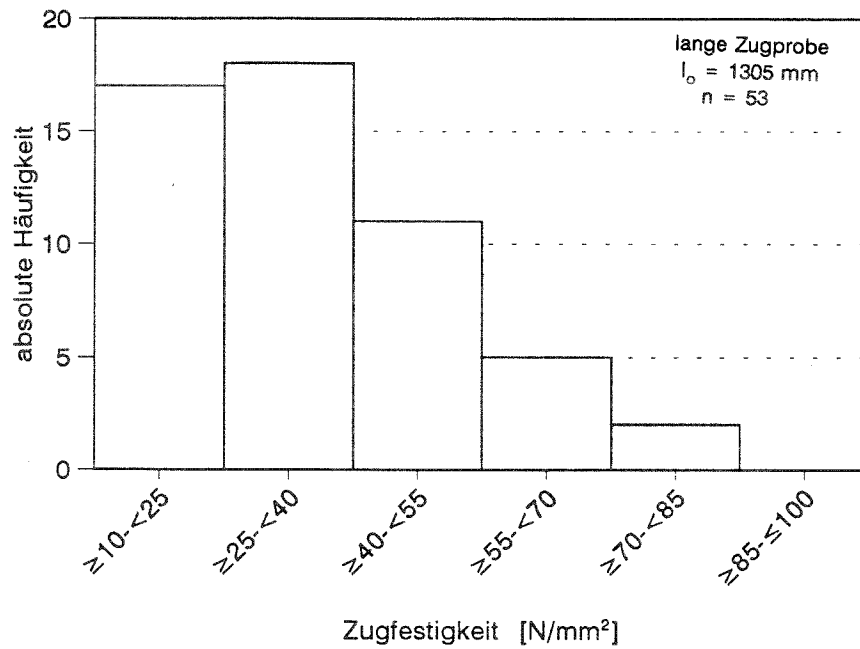
Bild 17: Biegung flachkant. Biege-E-Modul ( $E_{B\ ISO}$ ) über der Ästigkeit



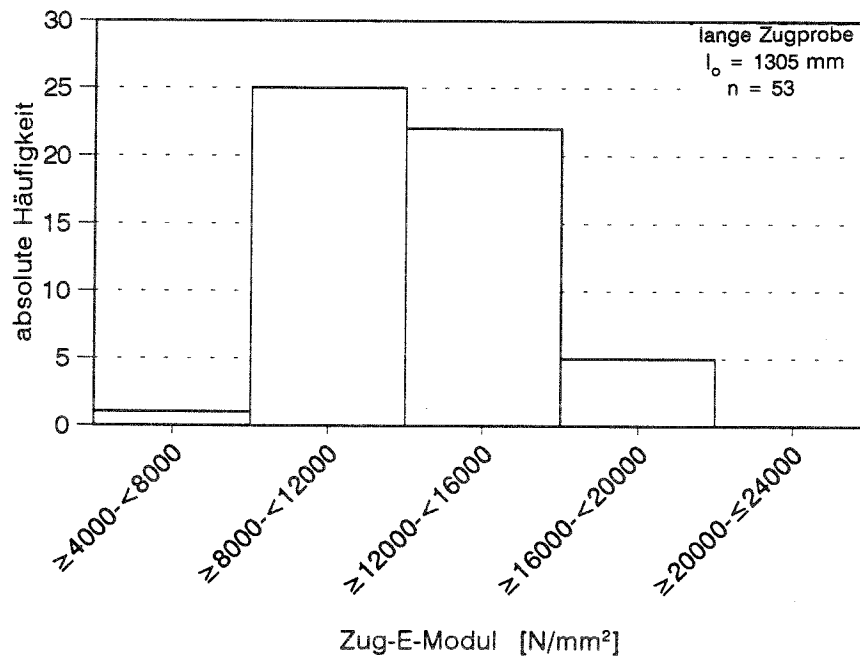
**Bild 18:** Zugprüfung lange Probe. Verteilung der Rohdichte



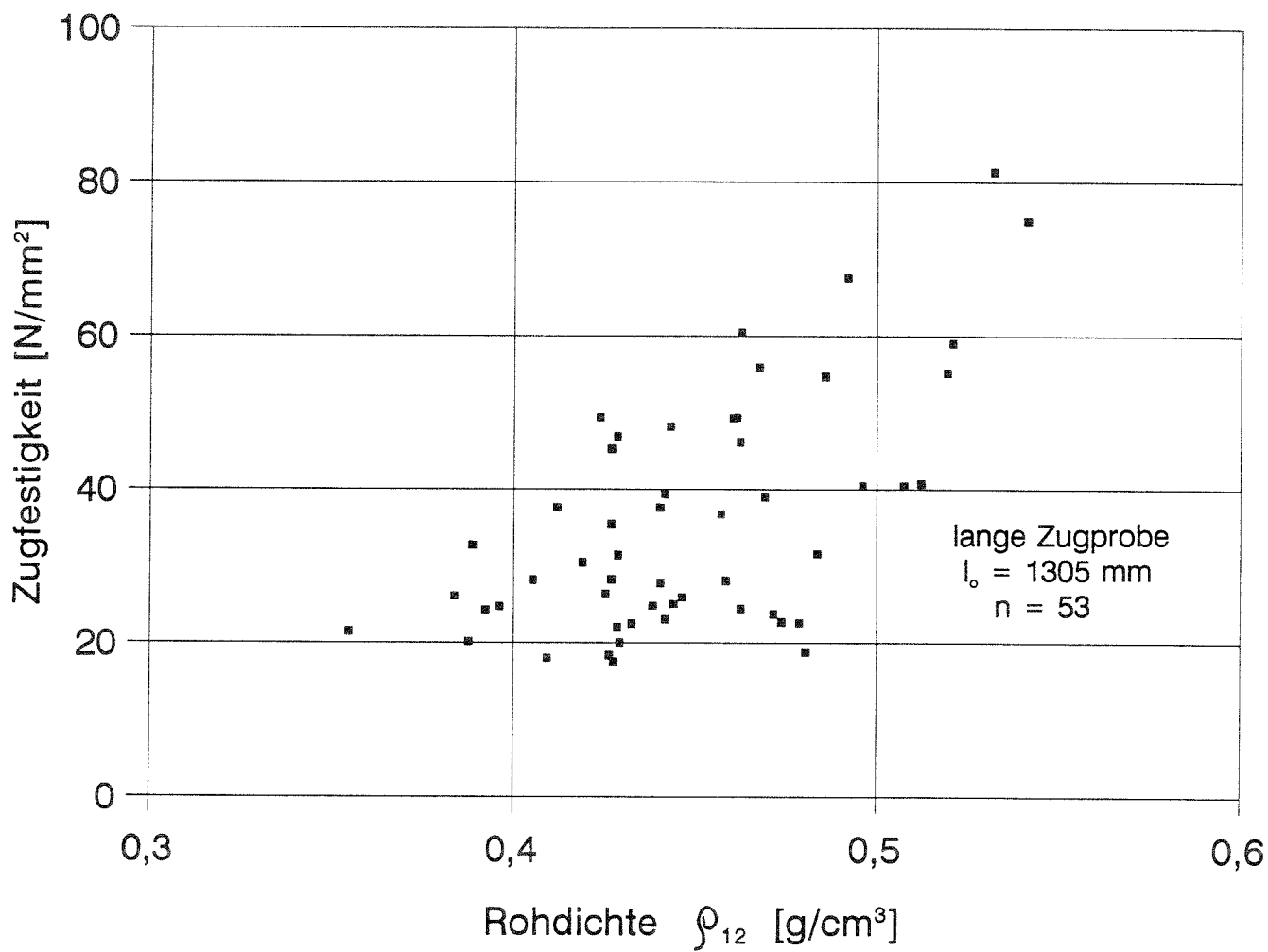
**Bild 19:** Zugprüfung lange Probe. Verteilung der Ästigkeit



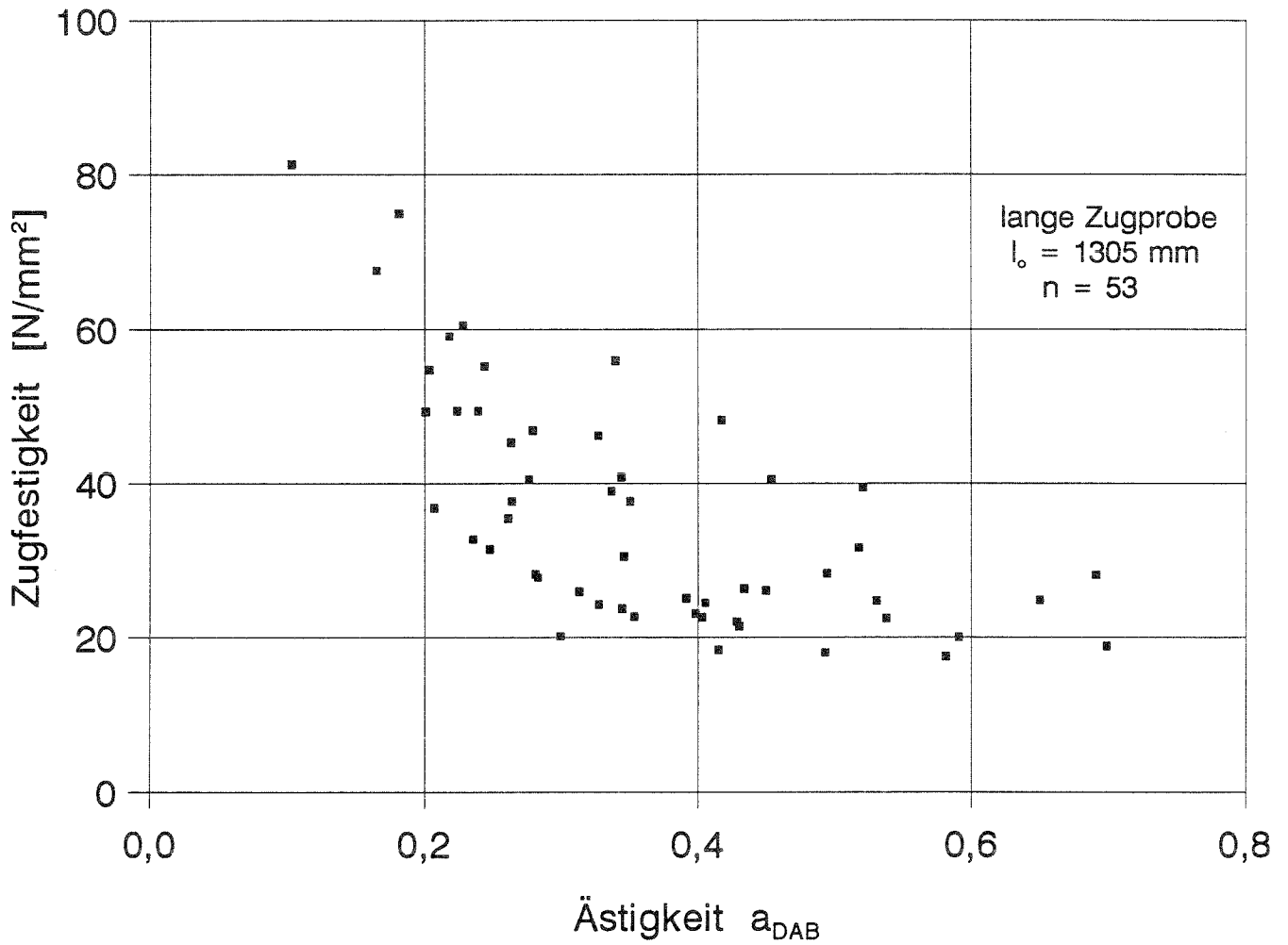
**Bild 20:** Zugprüfung lange Probe. Verteilung der Zugfestigkeit  $\beta_z$



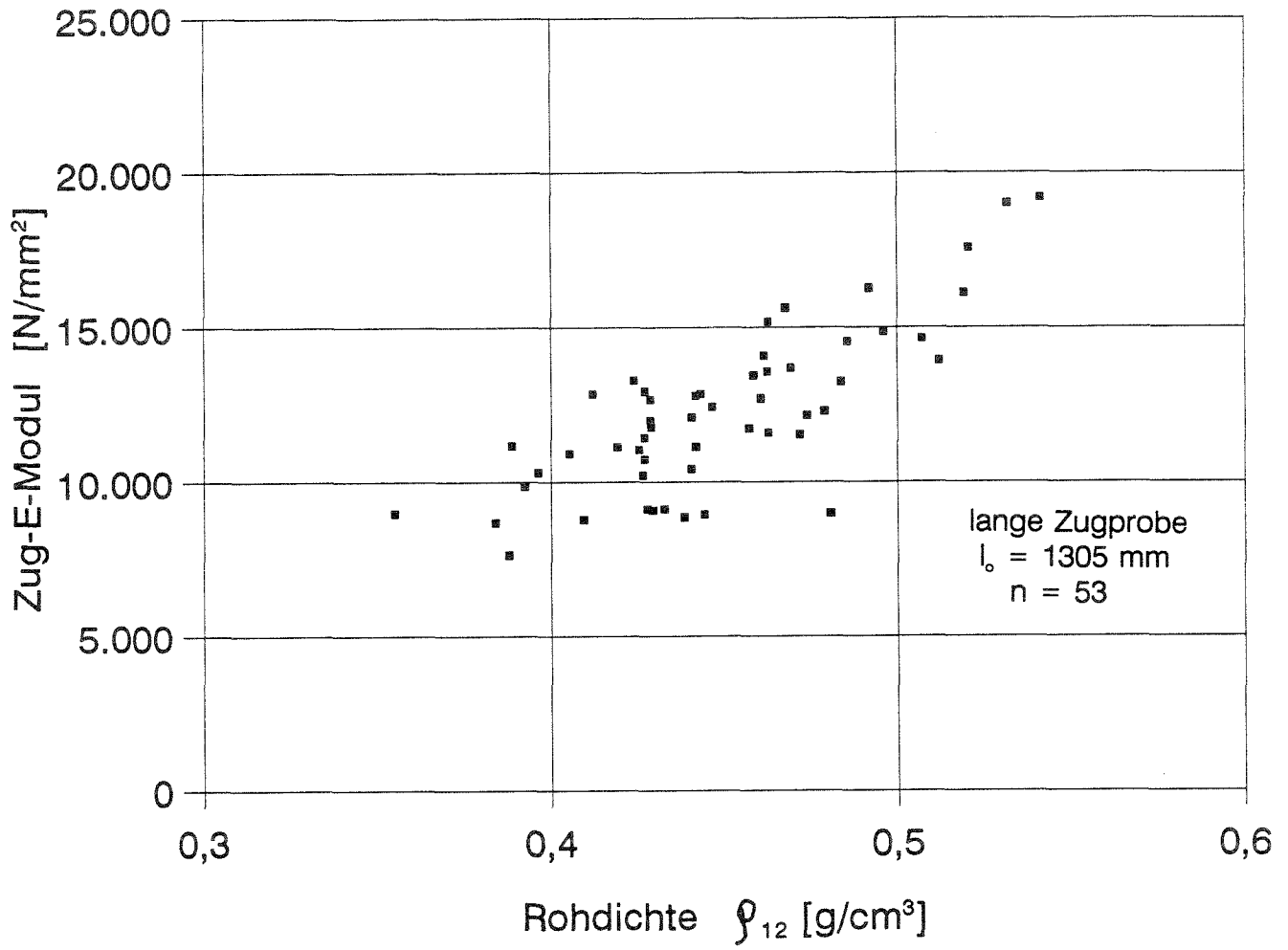
**Bild 21:** Zugprüfung lange Probe. Verteilung des Zug-E-Moduls  $E_z$



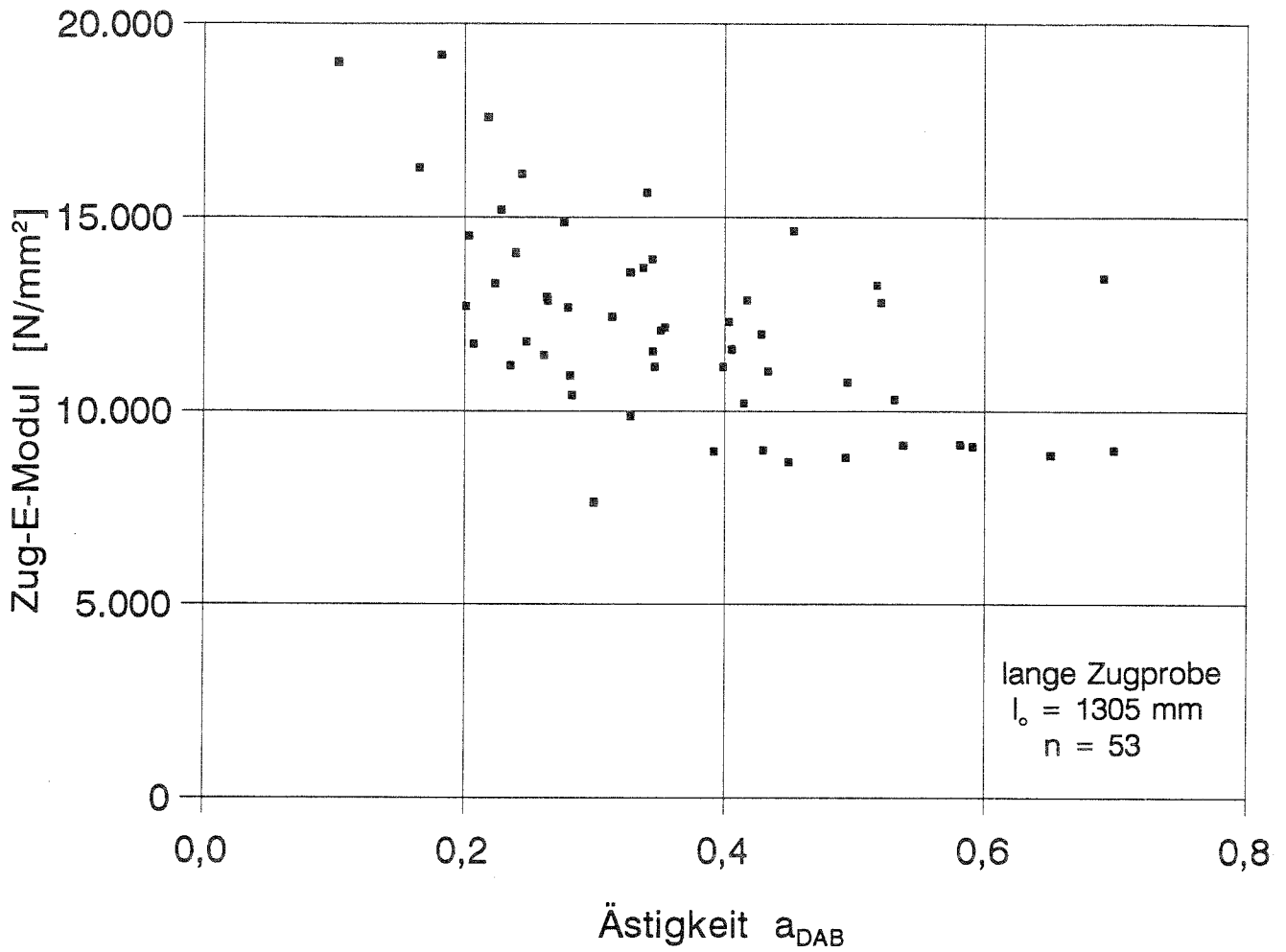
**Bild 22:** Zugprüfung lange Probe. Zugfestigkeit  $\beta_2$  über der Rohdichte



**Bild 23:** Zugprüfung lange Probe. Zugfestigkeit  $\beta_z$  über der Ästigkeit

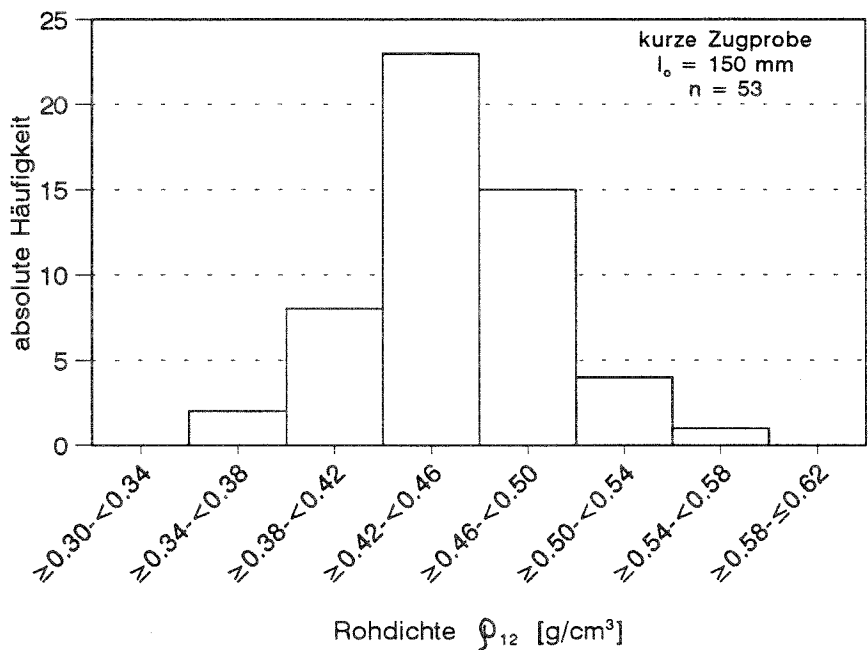


**Bild 24:** Zugprüfung lange Probe. Zug-E-Modul  $E_2$  über der Rohdichte

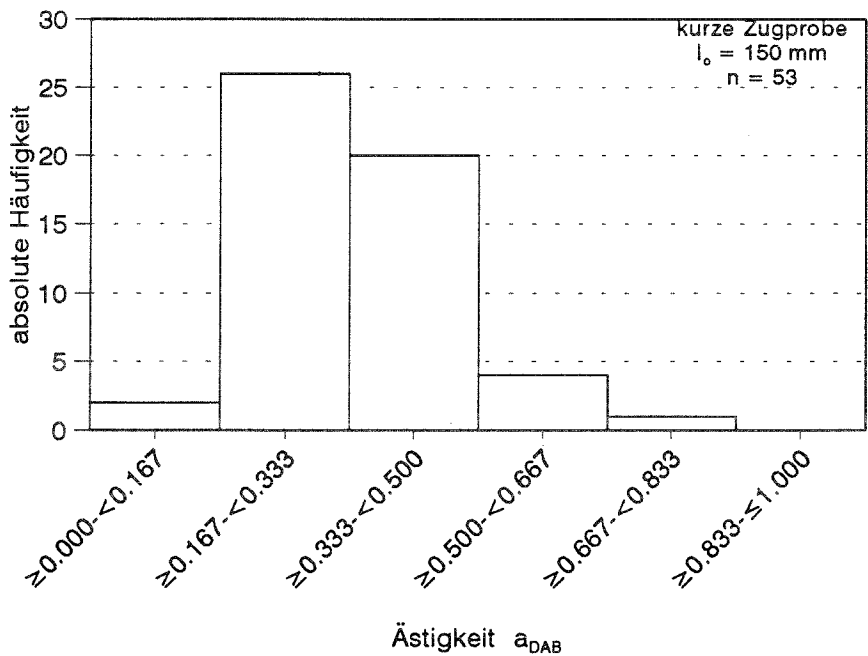


**Bild 25:** Zugprüfung lange Probe. Zug-E-Modul  $E_2$  über der Ästigkeit

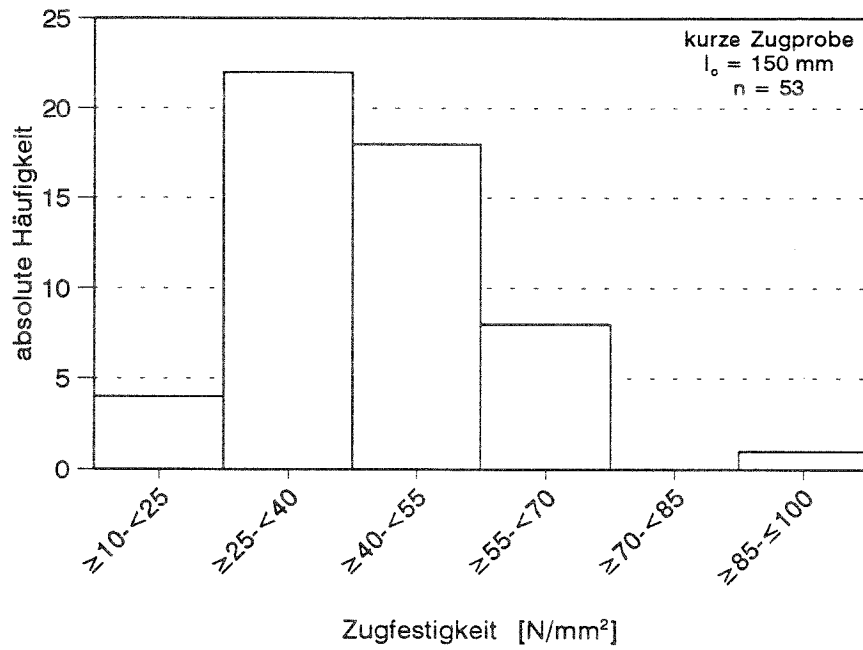




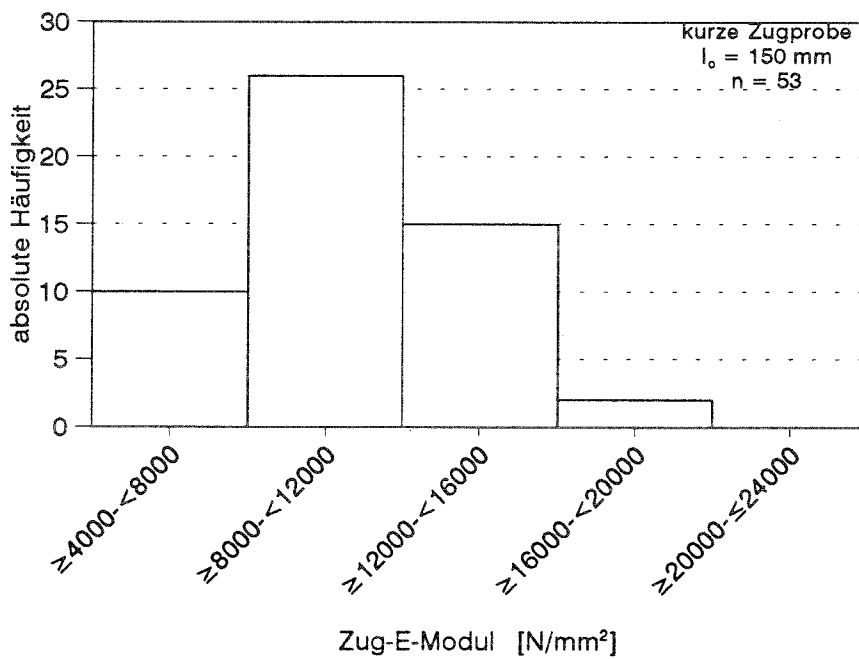
**Bild 26:** Zugprüfung kurze Probe. Verteilung der Rohdichte



**Bild 27:** Zugprüfung kurze Probe. Verteilung der Ästigkeit



**Bild 28:** Zugprüfung kurze Probe. Verteilung der Zugfestigkeit  $\beta_z$



**Bild 29:** Zugprüfung kurze Probe. Verteilung des Zug-E-Moduls  $E_z$

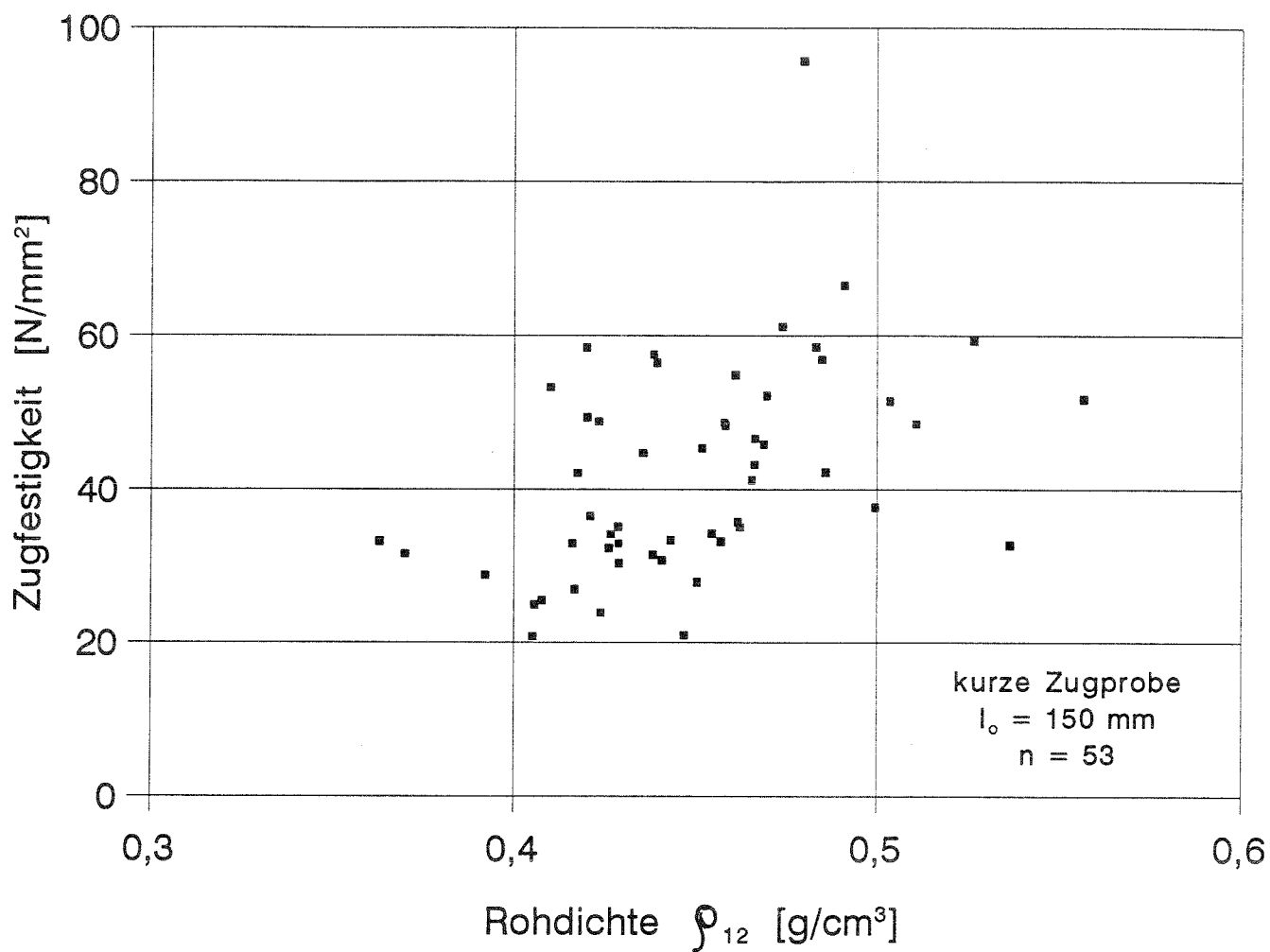


Bild 30: Zugprüfung kurze Probe. Zugfestigkeit  $\beta_z$  über der Rohdichte

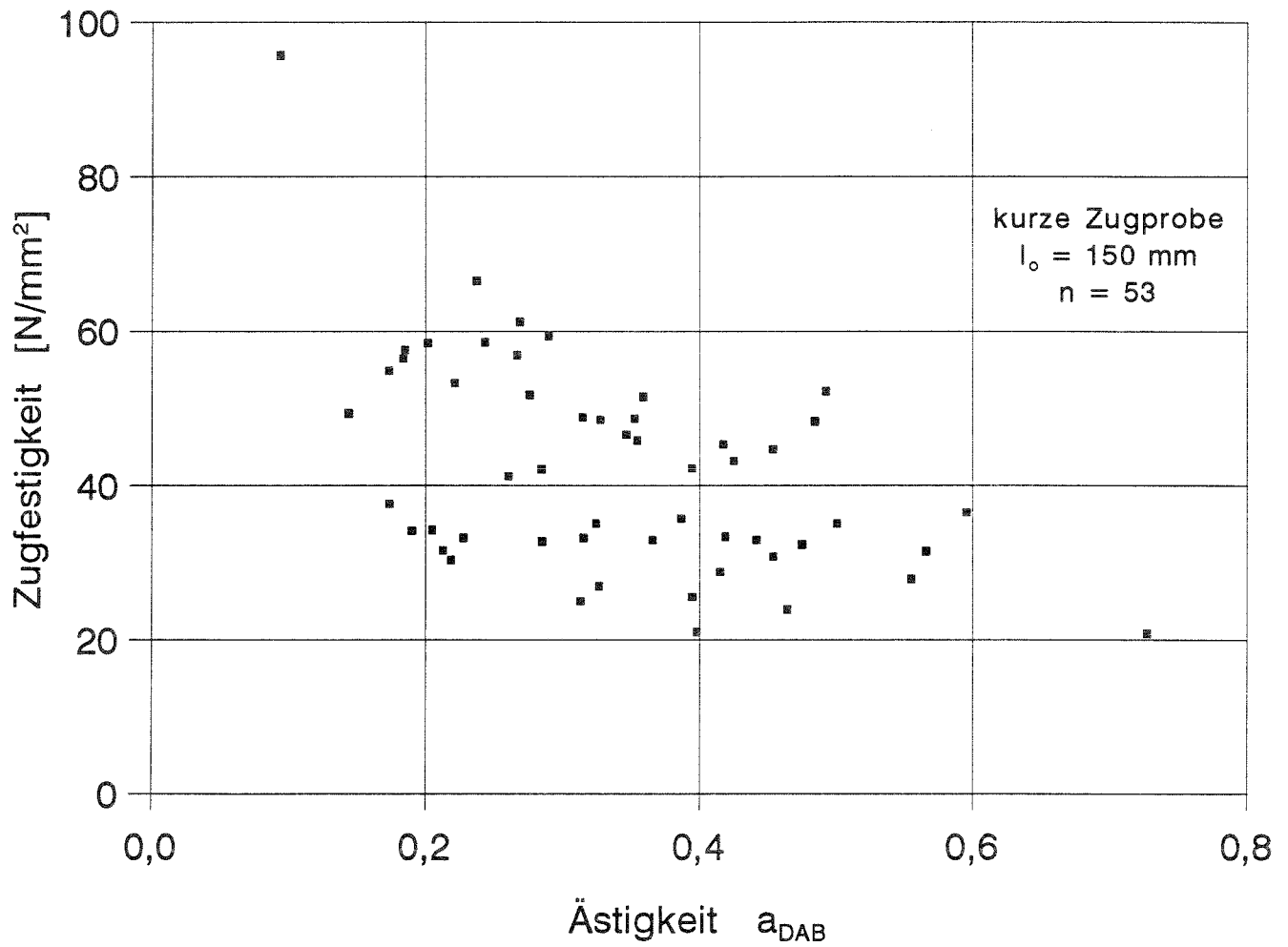
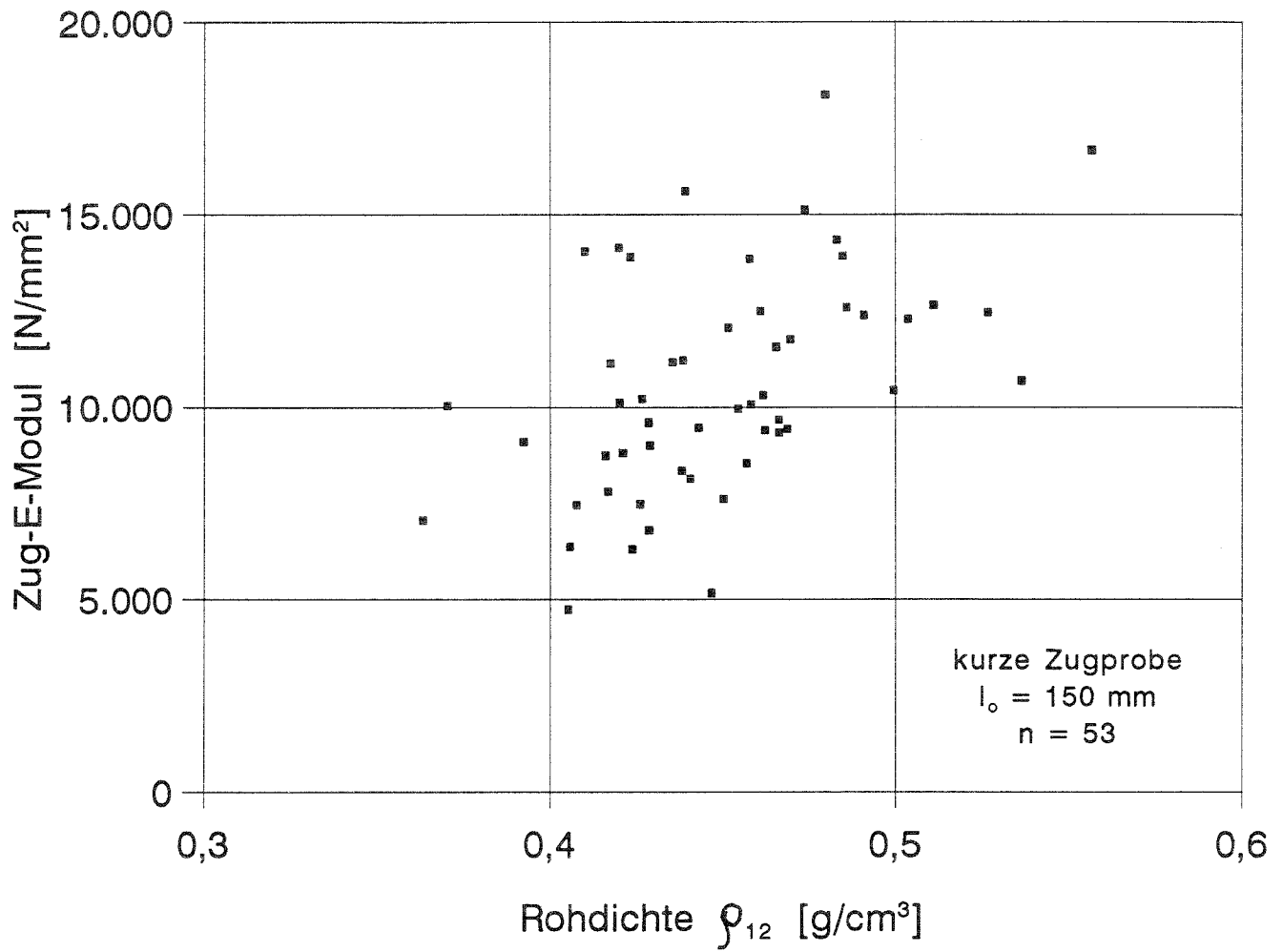


Bild 31: Zugprüfung kurze Probe. Zugfestigkeit  $\beta_2$  über der Ästigkeit



**Bild 32:** Zugprüfung kurze Probe. Zug-E-Modul  $E_z$  über der Rohdichte

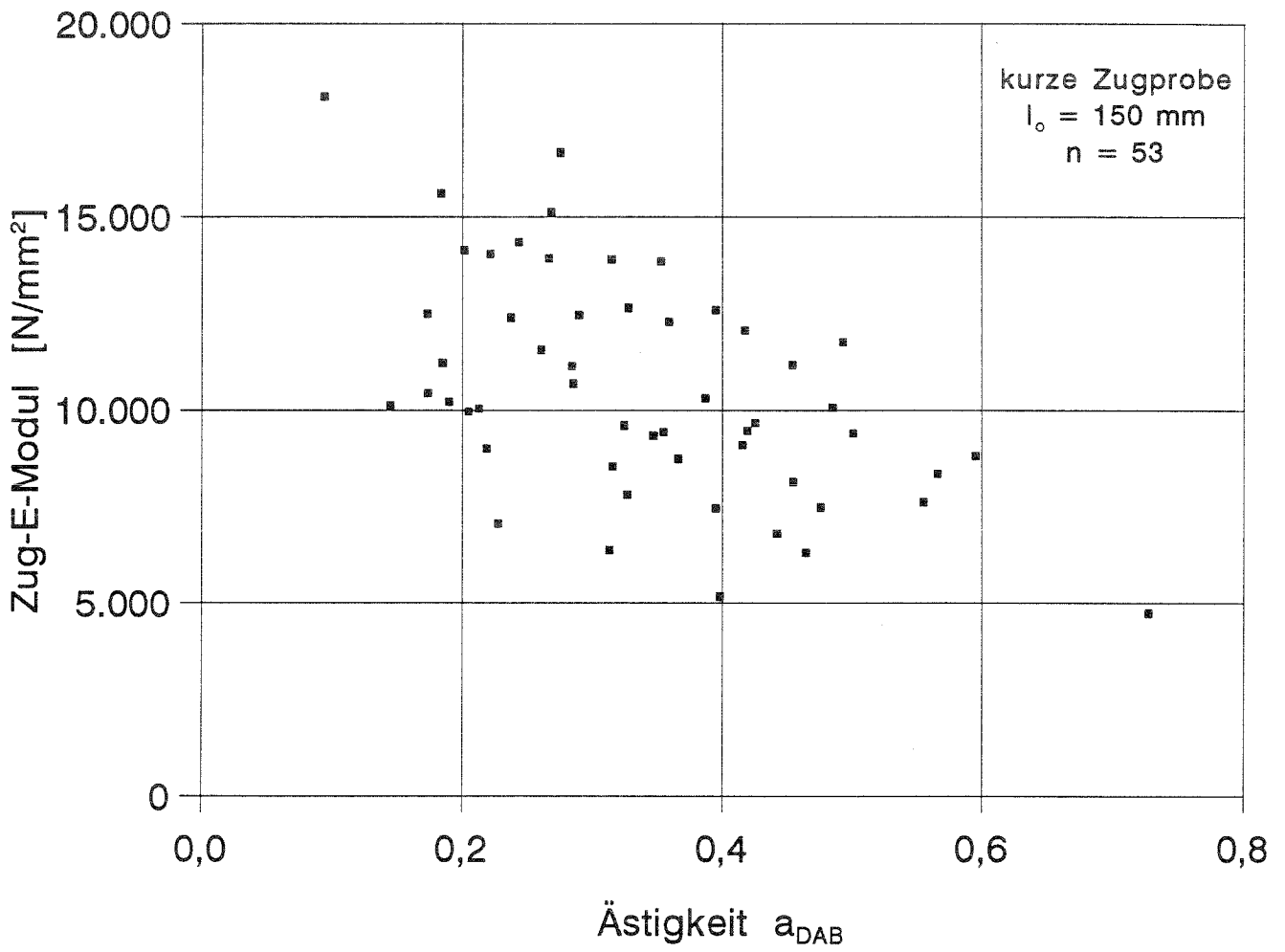


Bild 33: Zugprüfung kurze Probe. Zug-E-Modul  $E_2$  über der Ästigkeit