

Vergleichende Betrachtungen
europäischer Bauprodukten-Normen
mit nationalen Bestimmungen.
Teilprojekt: Zugfestigkeit keilgezinkter
Brettlamellen der Sortierklassen MS13
und MS17

T 2661

T 2661

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

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

Vergleichende Betrachtungen europäischer Bauprodukten-Normen
mit nationalen Bestimmungen

Teilprojekt

**Zugfestigkeit keilgezinkter Brettlamellen
der Sortierklassen MS13 und MS17**

Bericht 94 502

Abschlußbericht an das Deutsche Institut für Bautechnik, Berlin
(Projekt - Nr. E - 92/7m)

P.Glos und G.Gaede

1994

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Aufgabenstellung	3
2. Versuchsprogramm	3
3. Untersuchungsmaterial	4
4. Untersuchungsmethoden	6
4.1 Bestimmung der allgemeinen Holzeigenschaften	6
4.2 Durchführung der Zugprüfung	7
4.3 Durchführung der Biegeprüfung	7
5. Ergebnisse	8
5.1 Allgemeines	8
5.2 Charakteristische Werte	8
5.3 Einflußgrößen auf die Zugfestigkeit	10
6. Folgerungen	12
7. Literatur	12

Anlagen:

Bild 1 bis 17

1. Aufgabenstellung

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

Aus vorliegenden Untersuchungen [4] ist bekannt, daß die Festigkeit von Brettschichtholzbauteilen nicht nur von der Güte der maschinell sortierten Brettlamellen an sich, sondern insbesondere auch von der Festigkeit der Keilzinkenverbindungen der Lamellen abhängt.

Nach EN 1194 und nach der vorgesehenen Ergänzung von DIN 1052 werden für Brettschichtholz aus Brettlamellen der Sortierklassen MS13 bzw. MS17 um etwa 14% bzw. 30% höhere Bemessungswerte festgelegt.

Ziel dieser Untersuchungen ist es, die Zugfestigkeit von keilgezinkten, maschinell sortierten Fichtenbrettern, wie sie im Holzleimbau zur Herstellung hochwertiger Brettschichtholzbauteile verwendet werden, experimentell zu bestimmen.

Abweichend vom ursprünglichen Versuchsprogramm wurde festgelegt, daß an einem kleinen, zufällig ausgewählten Teilkollektiv aus der Gesamtheit der Probekörper auch die Biegefestigkeit ermittelt werden soll, um die in Anlehnung an EN 1194 im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) zum Eurocode 5 sowie in der Ergänzung zu DIN 1052 vorgesehenen Grenzwerte der Biegefestigkeit keilgezinkter Brettlamellen zu überprüfen, auch wenn die Ergebnisse bei dem dabei möglichen Probenumfang statistisch gesehen nur gering abgesichert sind.

2. Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm umfaßte 120 Prüfkörper keilgezinkter Fichtenbretter, die je zur Hälfte aus den Sortierklassen MS13 und MS17 stammten. Davon wurden 92 Stück einer Zugprüfung und 28 Stück einer Biegeprüfung unterzogen.

Die Stückzahlen abhängig von Sortierklasse, Brettbreite und Art

der Prüfung zeigt **Tabelle 1**.

Die Prüfkörperlänge betrug etwa 2 m bei mittiger Keilzinkenlage.

Versuch	Sortierklasse	Querschnitt mm	Stückzahl
Zugprüfung	MS13	32 x 140	23
		32 x 180	23
	MS17	32 x 140	23
		32 x 180	23
Biegeprüfung	MS13	32 x 140	7
		32 x 180	7
	MS17	32 x 140	7
		32 x 180	7
Summe			120

Tabelle 1: Versuchsplan

Die Probekörper wurden visuell begutachtet und vorhandene Keilzinkenfehler wurden registriert.

Neben der Zug- bzw. Biegefestigkeit und den zugehörigen Elastizitätsmoduln wurden die Rohdichte, die Jahrringbreite, der Druckholzanteil, die Holzfeuchte der keilgezinkten Bretter und das Vorhandensein einer Markröhre bestimmt.

3. Untersuchungsmaterial

Die Probekörper aus Fichtenholz wurden bei der Firma Burgbacher, Trossingen, aus dem laufenden Produktionsprozess zufällig entnommen. Die Probekörperentnahme erfolgte über 2 Wochen verteilt in den Tagen vom 23. - 31. März 1994, um eine typische Streuung hinsichtlich der Rohholzherkünfte sowie der Keilzinkenfräserstandzeiten zu erhalten.

Die Probekörper wurden 4 Wochen im Normalklima bei 20 °C und 65 % rLf gelagert und hatten danach eine Holzfeuchte von etwa 12 %.

Die Lamellen wurden auf die oben genannten Querschnittsabmes-

sungen gehobelt.

Das Zinkenprofil entsprach dem in Holzleimbaubetrieben häufig verwendeten Profil mit einer Zinkenlänge von 15 mm und einer Zinkenteilung von 3,7 mm. Eine Sichtkontrolle ergab, daß in der Klasse MS13 bei etwa 17 % und in Klasse MS17 bei etwa 35 % der Zugprüfkörper eine oder mehrere der Keilzinken nicht korrekt ineinandergefügt waren (Vgl. z.B. **Bild 1**). Auf die Gesamtheit der Zugprüfkörper bezogen sind das 26 %.

Wie später gezeigt wird, beeinträchtigt das fehlerhafte Ineinandergreifen der Zinken die Zugfestigkeit der Keilzinkenverbindung (**Bild 17**).

Die Überprüfung der Einhaltung von EN 385 bezüglich der Äste im Bereich der Keilzinkung ergab, daß 11 Zugprüfkörper, also 12 %, entweder Äste innerhalb der Zinken oder in zu geringem Abstand zum Zinkengrund aufwiesen. Bei Betrachtung der Bruchbilder kann vermutet werden, daß bei 8 Probekörpern diese Äste den Bruch der Keilzinkenverbindung beeinflussen haben.

Addiert man sowohl die Probekörper mit fehlerhafter Keilzinkung als auch die mit unzulässigen Ästen, dann erhält man 29 Zugprüfkörper oder 32 % mit vermeidbaren Fehlern. Auf die Sortierklasse MS13 entfallen davon 12 Stück entsprechend 26 % und auf MS17 17 Stück entsprechend 37 %.

Die Häufigkeitsverteilung der **Normal-Rohdichte** getrennt nach beiden Sortierklassen ist in **Bild 2** gezeigt. Jede Bretthälfte wurde als ein eigener Probekörper definiert.

Die statistischen Werte der 240 Prüfkörper stimmen sehr gut mit den im Nationalen Anwendungsdokument zu Eurocode 5 (NAD) festgelegten Sollwerten maschinell sortierter Lamellen überein, siehe **Tabelle 2**.

Klasse		5%-Fraktile kg/m ³	Mittelwert kg/m ³	Standard- abweichung
MS13	Ist	406	463	37
	Soll	400		
MS17	Ist	430	495	39
	Soll	420		

Tabelle 2: Normalrohddichte Soll- und Istwerte

Das untersuchte Kollektiv entspricht demnach hinsichtlich der Rohdichte den Forderungen von EN 338.

In den **Bildern 3 und 4** ist für die Zug- bzw. Biegeprüfkörper die Normal-Rohdichte getrennt nach Sortierklassen, aber zugeordnet zur linken bzw. rechten Bretthälfte aufgetragen.

Die charakteristischen Rohdichtewerte nach dem NAD sind eingezeichnet.

30 Stück oder 12,5 % der 240 Prüfkörper (linke und rechte Bretthälfte getrennt gerechnet) enthalten eine **Markröhre**.

Die Histogramme für **Jahrringbreite** und **Druckholzanteil** sind aus **Bild 5** ersichtlich.

4. Untersuchungsmethoden

4.1 Bestimmung der allgemeinen Holzeigenschaften

Die Darr-Rohdichte ρ_0 der Prüfkörper wurde getrennt nach rechter und linker Brettseite nach DIN 52 182 an einer astfreien, den ganzen Querschnitt umfassenden Probenscheibe aus der Umgebung der Bruchstelle bestimmt.

Die Normal-Rohdichte ρ_u der keilgezinkten Prüfkörper wurde nach Formel (DIN 52 182)

$$\rho_u = \rho_0 \frac{100 + u}{100 + 0,85 \rho_0 u}$$

und zusätzlich bei einer Holzfeuchte von etwa 12 % als Mittelwert aus rechter und linker Bretthälfte aus Gesamtgewicht und Gesamtvolumen errechnet.

Die mittlere Jahrringbreite in mm und der Druckholzanteil in % des Probekörperquerschnitts wurden an den Querschnittsscheiben getrennt nach rechter und linker Bretthälfte bestimmt.

Die Holzfeuchte u der Prüfkörper wurde nach DIN 52 183 aus den Gewichts-differenzen der feuchten und gedarrten Querschnittsscheiben ermittelt.

4.2 Durchführung der Zugprüfung

Die Probekörper wurden nach EN 408 in einer hydraulischen 1000 kN Zugprüfmaschine, aber mit einer verkürzten freien Prüflänge geprüft. Die vorgeschriebene Prüflänge wäre 1260 bzw. 1620 mm. Da zu befürchten war, daß dabei ein Bruch in der Brettlamelle außerhalb der Keilzinkenverbindung erfolgen könnte, wurde die Prüflänge mit 200 mm und darin mittig angeordneter Keilzinkenverbindung so kurz gewählt, daß neben der Keilzinkung möglichst keine weiteren Schwachstellen innerhalb dieser Länge auftraten. Den Prüfkörpern wurde ein ebener Verformungszustand aufgeprägt. Der Bruch erfolgte bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit nach 3 bis 5 min.

Die Zugkraft wurde über eine Kraftmeßdose gemessen. Der relative Meßfehler bei den auftretenden Bruchkräften liegt bei etwa 0,5%. Die Dehnungsmessung zur Bestimmung des Zug-E-Moduls in Faserichtung erfolgte mit zwei an diagonal gegenüberliegenden Prüfkörperkanten angebrachten induktiven Wegaufnehmern. Die Meßbasis hierfür betrug 133,5 mm. Zur E-Modul Berechnung wurde der Mittelwert aus beiden Dehnungsmessungen herangezogen.

4.3 Durchführung der Biegeprüfung

Die Biegeprüfung wurde nach DIN 52 186 bzw. EN 408 durchgeführt. Die Lamellen wurden flachkant geprüft. Die Stützweite betrug 600 mm und der Abstand der Kraftangriffspunkte 200 mm. Die Biegeprüfung erfolgte auf einer über Spindel angetriebenen Instron-Prüfmaschine mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit. Die Geschwindigkeit wurde so gewählt, daß der Bruch nach 4 bis 5 min eintrat.

Die Durchbiegung der Prüfkörper wurde in Feldmitte mit 2 induktiven Wegaufnehmern jeweils auf beiden Seiten des Prüfkörpers gemessen. Aus den gemittelten Werten wurde der E-Modul nach DIN 52 186 errechnet.

5. Ergebnisse

5.1 Allgemeines

Bilder 6 und 7 zeigen die Häufigkeitsverteilungen und einige statistische Kenngrößen der Zug- und Biegefestigkeit, getrennt nach den Sortierklassen.

Die visuelle Auswertung der Bruchbilder nach der Zugprüfung zeigt, daß 3 Brucharten oder deren beliebige Kombinationen auftraten. Beim Keilzinkenzugbruch verläuft die Bruchlinie nur im Keilzinkenbereich, **Bild 8**. Beim Keilzinkenschubbruch bleiben die Keilzinken der Brettseiten makroskopisch gesehen unversehrt, sind aber auseinandergezogen, **Bild 9**. Beim Holzbruch verläuft die Bruchlinie über die ganze Breite außerhalb der Keilzinkenzone, **Bild 10**.

Die Auswertung der 92 Zugprüfkörper ergibt folgende Anteile der Brucharten

Bruchart	Anteil	
	Stückzahl	in %
Keilzinken- zugbruch	8 durchgerissen 51 eingerissen	8,7 55,4
Keilzinken- schubbruch	1	1,1
Holzbruch	1	1,1
Gemischtbruch	31	33,7
Summe	92	100

Tabelle 3: Aufteilung der Zugprüfkörper auf unterschiedliche Brucharten

Beim Keilzinkenzugbruch verlief die Rißlänge bei 51 Prüfkörpern nicht über die ganze Brettbreite.

5.2 Charakteristische Werte

Zur Auswertung wurden alle Zugprüfkörper herangezogen, obwohl die 2 Probekörper mit der niedrigsten Festigkeit in Sortierklasse MS17 beide einen etwa 7%-igen Keilzinkenfehler (fehler-

haftes Ineinandergreifen der Zinken) enthalten, vgl. auch **Bild 17**. Der Probekörper mit dem Minimalwert enthält zusätzlich eine Markröhre und einen unerlaubten Ast im Keilzinkenbereich, der aber nicht sicher als bruchverursachend angesehen werden kann.

In der Sortierklasse MS13 enthält der Probekörper mit minimaler Festigkeit einen etwa 5%-igen Keilzinkenfehler.

In **Tabelle 4** sind die im Zug- und Biegeversuch erreichten 5%-Fraktilwerte den vorgesehenen Werten nach DIN 1052 gegenübergestellt.

Sortier- klasse	Biegeprüfung		Zugprüfung	
	Istwert	Sollwert	Istwert	Sollwert
MS13	50,8	40,0	29,0	26,0
MS17	53,8	45,0	34,2	29,3

Tabelle 4: Charakteristische Festigkeitswerte in N/mm²

Beachtet werden muß, daß für die Biegeprüfung je Sortierklasse nur 14 Prüfkörper zur Verfügung standen und daher der niedrigste gemessene Festigkeitswert als 5 % Fraktilwert eingesetzt wurde. Für die Umrechnung der vorgesehenen Biegefestigkeit nach DIN 1052 auf die Zugfestigkeit wurde die Beziehung nach EN 1194 Kapitel 6.3

$$\sigma_{\text{Zug}} = 0,65 \sigma_{\text{Biegung}}$$

verwendet.

Die Tabelle zeigt, daß die geforderten charakteristischen Festigkeitswerte sicher eingehalten werden.

Tabelle 5 zeigt die unter Annahme einer 3-parametrischen Weibullverteilung errechneten 5 %-Fraktilwerte. Auch in diesem Fall werden die charakteristischen Festigkeitswerte sicher eingehalten.

Sortierklasse	Biegeprüfung	Zugprüfung
MS13	50,5	29,2
MS17	52,3	32,5

Tabelle 5: Aus 3-parametriger Weibullverteilung errechnete 5 %-Fraktilwerte in N/mm²

Auch bei Umrechnung der gemessenen Werte auf Referenzbedingungen nach EN 384 werden die geforderten Werte für die Zugfestigkeit trotz des geringen Probenumfangs und des dadurch bedingten Abminderungsfaktors noch eingehalten, wie aus **Tabelle 6** zu sehen ist.

Der Faktor k_s zur Berücksichtigung des Stichprobenumfangs wurde mit 0,79 eingesetzt, der Faktor für die Breitenkorrektur k_h bezogen auf die Nennbreite von 150 mm wurde abhängig von der aktuellen Brettbreite eingesetzt und der Faktor k_v zur Berücksichtigung der maschinellen Festigkeitssortierung wurde mit 1,12 eingesetzt.

Wegen der zu geringen Stückzahl der Biegeproben wurden diese nicht nach EN 384 umgerechnet.

Sortierklasse	Zugprüfung	
	Istwert	Sollwert
MS13	26,3	26,0
MS17	31,4	29,3

Tabelle 6: Nach EN 384 auf Referenzbedingungen umgerechnete charakteristische Festigkeitswerte in N/mm²

5.3 Einflußgrößen auf die Zugfestigkeit

Die Versuche waren so geplant worden, daß der Einfluß verschiedener Parameter auf die Zugfestigkeit erfaßt werden konnte. In **Bild 11** ist der Zusammenhang zwischen der Zugfestigkeit und dem **Zug-E-Modul** in Abhängigkeit von der Sortierklasse dargestellt.

Den Zusammenhang zwischen **Darr-Rohdichte** und Zugfestigkeit zeigt **Bild 12**. Als Rohdichte wurde die jeweils niedrigere Dichte der

beiden Bretthälften angesetzt. Offenbar durch weitere Einflüsse überlagert, ist auch die Korrelation zwischen diesen beiden Größen verhältnismäßig schwach. Das deckt sich mit der Aussage in [4], wonach die Korrelationskoeffizienten zwischen der Keilzinkenfestigkeit und den Holzeigenschaften kleiner 0,50 sind.

Um den Zusammenhang zwischen der Holzqualität der durch die Keilzinkung verbundenen Bretter und dem Bruch der Keilzinkenverbindung weiter zu beleuchten, wurde als Maß für den Verlauf des Bruches in den beiden Brettern eine anteilige Bruchlänge in Prozent der Brettbreite definiert.

Die Bruchlängendifferenz zwischen rechts und links wird +100%, wenn nur die rechte Brettseite zu 100% gebrochen ist, und -100%, wenn nur die linke Brettseite zu 100% gebrochen ist.

Die Vermutung wird bestätigt, daß der Bruch überwiegend auf der Brettseite mit der niedrigeren Rohdichte erfolgt, siehe **Bild 13**. In diesem Bild ist die Bruchlängendifferenz aus rechter und linker Brettseite über dem Rohdichteverhältnis rechts zu links aufgetragen. Man erkennt, daß die Punktwolke um den theoretisch zu erwartenden Verlauf gruppiert ist. Insbesondere weisen die Brettseiten mit hoher Rohdichte überwiegend kürzere Bruchlängen auf. Auf welcher Seite der Bruch begann, kann allerdings anhand des Bruchbildes in der Regel nicht festgestellt werden.

Aus **Bild 14** erkennt man den Einfluß der **Jahrringbreite** auf die Zugfestigkeit. Dabei wurde jeweils die Jahrringbreite der Brett Hälfte mit der größeren Bruchlänge zugrundegelegt.

Der Einfluß des **Druckholzanteils** bezogen auf die Querschnittsfläche ist in **Bild 15** zu sehen. Auch in dieser Darstellung wurde jeweils der Druckholzanteil der Bretthälfte mit der größeren Bruchlänge zugrundegelegt. Ein signifikanter Einfluß ist nicht festzustellen.

Das Vorhandensein einer **Markröhre** innerhalb der linken oder rechten Brettseite senkt die Zugfestigkeit deutlich herab, wie **Bild 16** erkennen läßt.

Bild 17 zeigt die Abhängigkeit der Zugfestigkeit von der Größe des festgestellten Keilzinkenfehlers getrennt nach den beiden Sortierklassen. Als Fehler geht hier nur das fehlerhafte Ineinandergreifen der Zinken ein.

Der Mittelwert der Zugfestigkeit steigt, wenn man nur die fehlerfreien Keilzinkenverbindungen berücksichtigt, in der Sortierklasse MS13 von 42,9 auf 43,7 N/mm² und in der Sortierklasse MS17 von 48,3 auf 52,2 N/mm². Die 5 % Fraktile erhöht sich für MS13 von 29,0 auf 32,1 N/mm² entsprechend um 10% und für MS17 von 34,2 auf 40,4 N/mm² entsprechend um 18%.

6. Folgerungen

Die in DIN 1052 Teil A1 und im Nationalen Anwendungsdokument geforderten Werte für die Festigkeit der Keilzinkenverbindung werden eingehalten.

Durch die Vermeidung von Fehlern beim Ineinanderfügen der Zinken könnte die Festigkeit der Keilzinkenverbindung um weitere 10 % gesteigert werden.

7. Literatur

- [1] DIN 68 140 (1971)
Keilzinkenverbindung von Holz.

- [2] DIN 52 182 (1976)
Prüfung von Holz. Bestimmung der Rohdichte.

- [3] Heimeshoff, B. und Glos, P. (1983)
Zugversuche an keilgezinkten Brettlamellen aus Fichtenholz.
Lehrstuhl für Baukonstruktion und Holzbau der Technischen Universität München, Bericht.

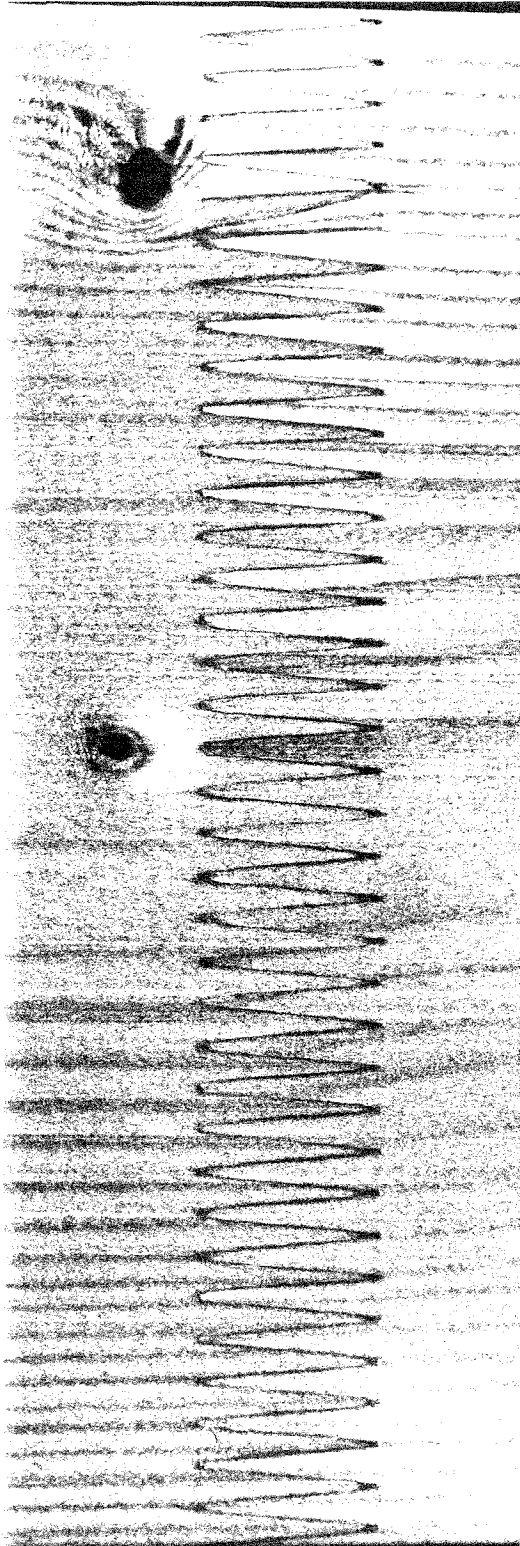
- [4] Ehlbeck, J., Colling, F. und Görlacher, R. (1985)
Einfluß keilgezinkter Lamellen auf die Biegefestigkeit
von Brettschichtholzträgern. Teil 2: Eingangsdaten für
das Rechenmodell.
Holz als Roh- und Werkstoff 43, S. 369 - 373
- [5] Ehlbeck, J., Colling, F. und Wenz, J. (1989)
Prüfung der Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen
der Lamellen für Brettschichtholz.
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der
Universität Karlsruhe, Bericht.
- [6] EN 384 (1990)
Bauholz. Bestimmung charakteristischer Festigkeits-,
Steifigkeits- und Rohdichtewerte.
- [7] EN 408 (1990)
Holzbauwerke. Vollholz und Brettschichtholz.
Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer
Eigenschaften für tragende Zwecke.
- [8] EN 385 (1991)
Finger jointed structural timber.
- [9] EN 338 (1992)
Bauholz für tragende Zwecke. Festigkeitsklassen.
- [10] Colling, F. und Ehlbeck, J. (1992)
Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen im
Holzleimbau.
Bauen mit Holz, Jahrg. 94, Heft 7, S. 586 - 593
- [11] EN 1194 (1993)
Holzbauwerke. Brettschichtholz. Festigkeitsklassen und
Bestimmung charakteristischer Werte.
- [12] DIN 1052 Teil 1 (1993) Änderung
Holzbauwerke. Berechnung und Ausführung.

[13] Pellicane, Patrick J. (1994)

Finite element analysis of finger-joints in lumber
with dissimilar laminate stiffnesses.

Forest Products Journal Vol.44 No.3, S. 17 - 22

ca. 3%-iger Fehler
Brettbreite 140 mm



ca. 6%-iger Fehler
Brettbreite 180 mm

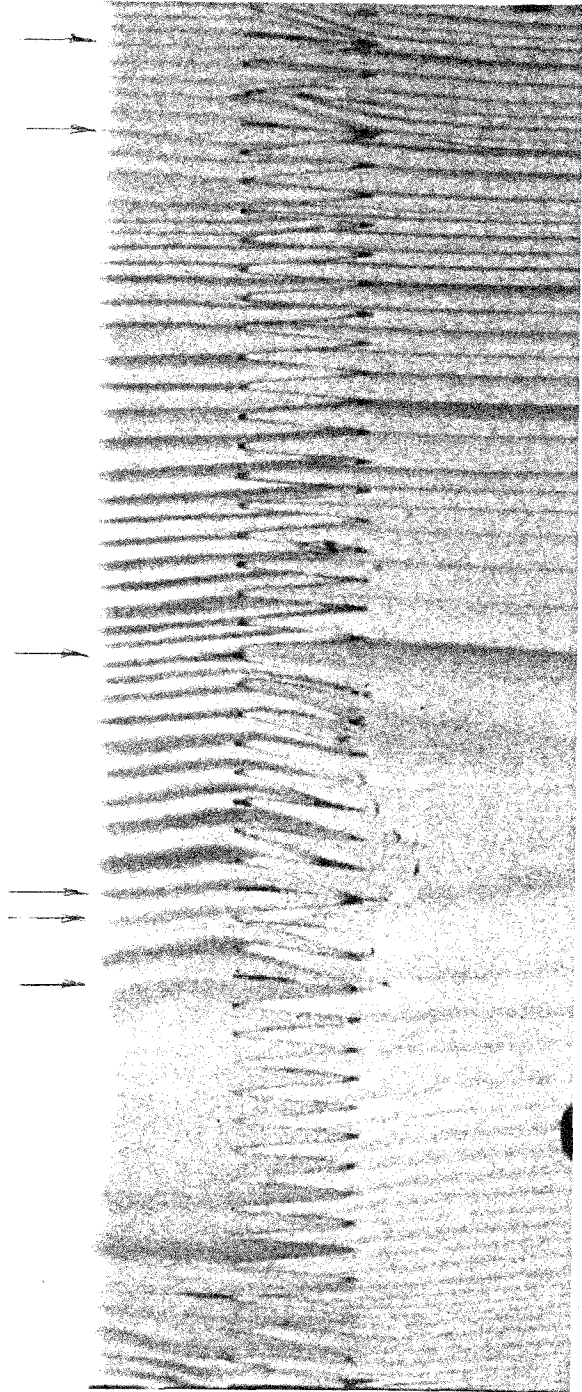


Bild 1: Beispiele für auftretende Fehler beim
Ineinanderfügen der Keilzinken

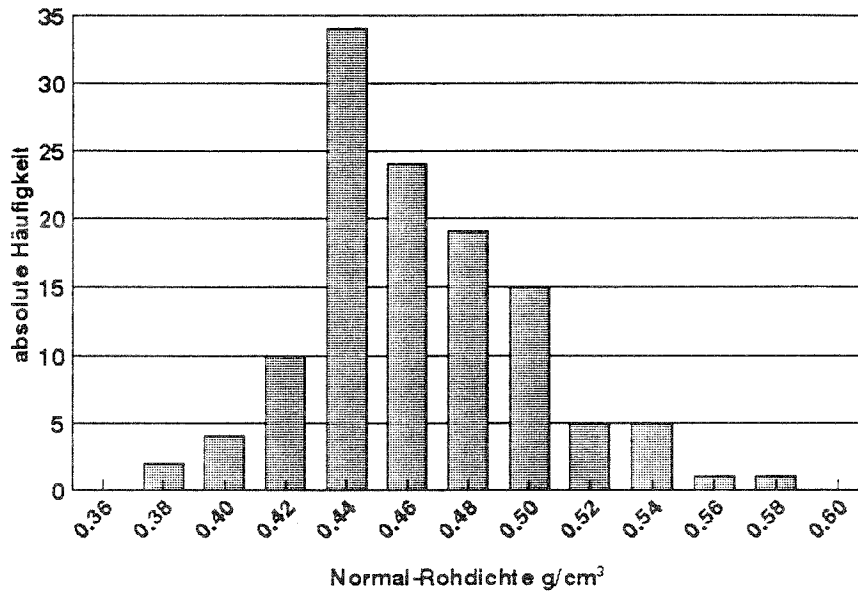


Bild 2a: Verteilung der Normal-Rohdichte für
Sortierklasse MS13 der 120 Einzelbretter

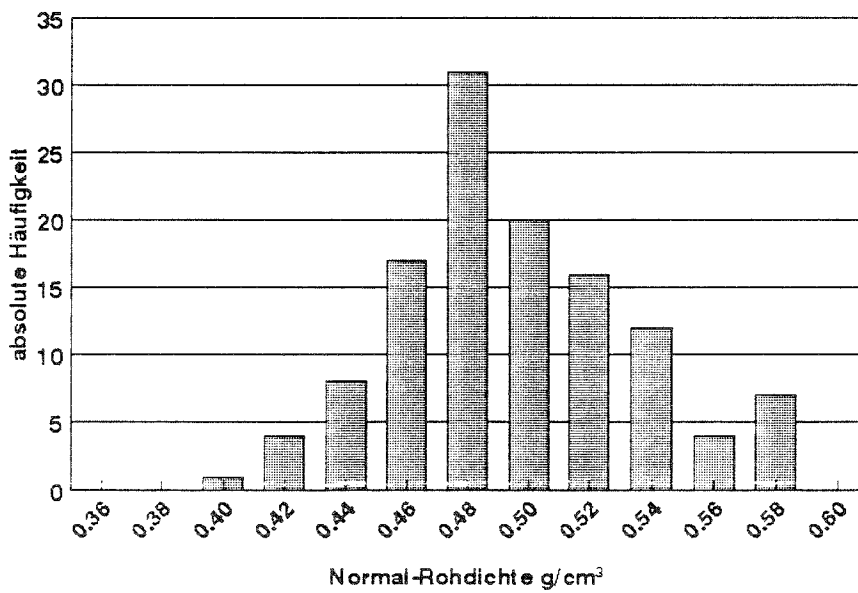
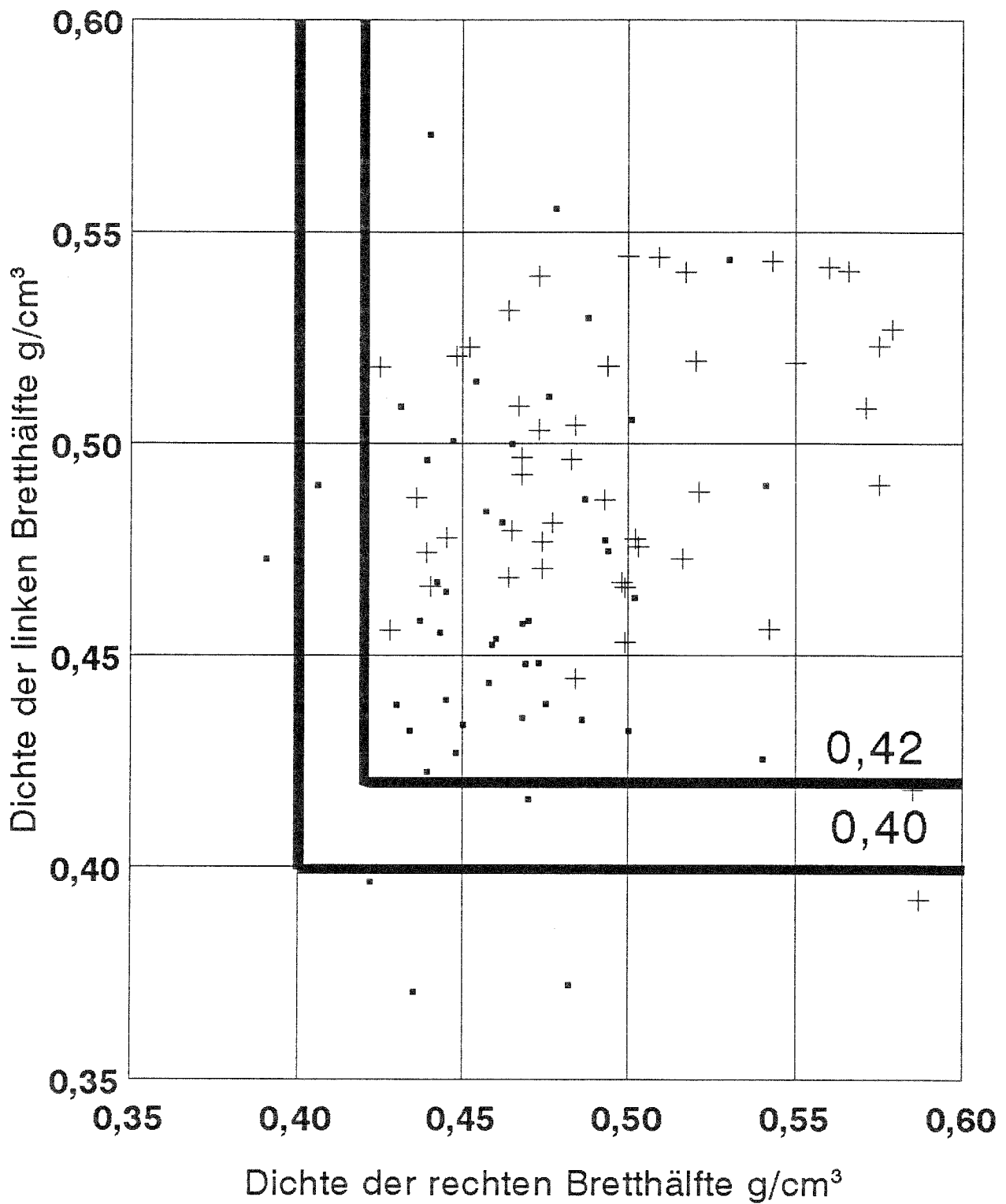


Bild 2b: Verteilung der Normal-Rohdichte für
Sortierklasse MS17 der 120 Einzelbretter

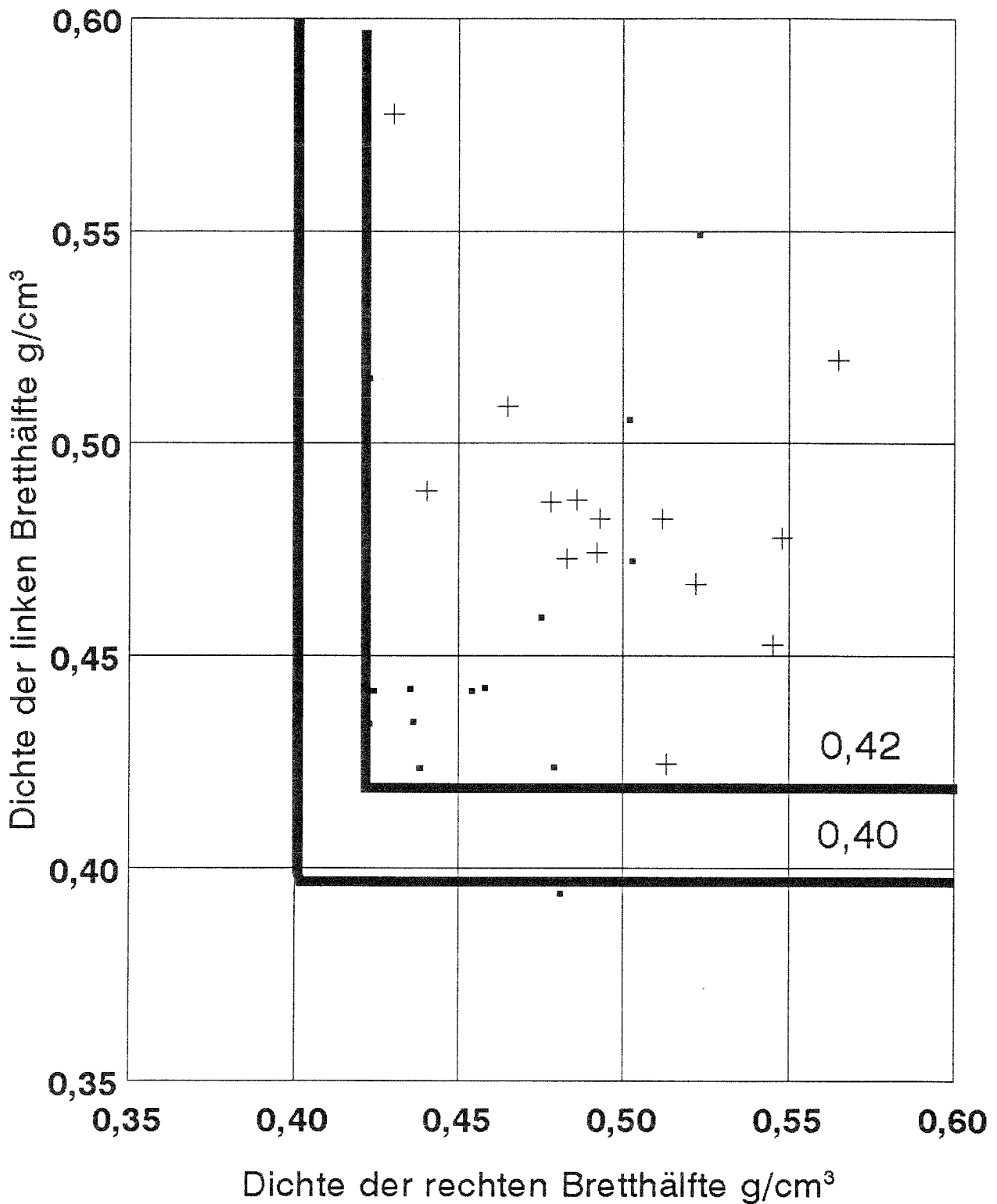
Bild 2: Verteilung der Normal- -Rohdichten



Sortierklasse

▪ MS13 + MS17

Bild 3: Vergleich der Normal-Rohdichten der rechten und linken Bretthälften der Zugproben und charakteristische Rohdichten nach EN 338



Sortierklasse

• MS13 + MS17

Bild 4: Vergleich der Normal-Rohdichten zwischen rechten und linken Bretthälften der Biegeproben und charakteristische Rohdichtewerte nach EN 338

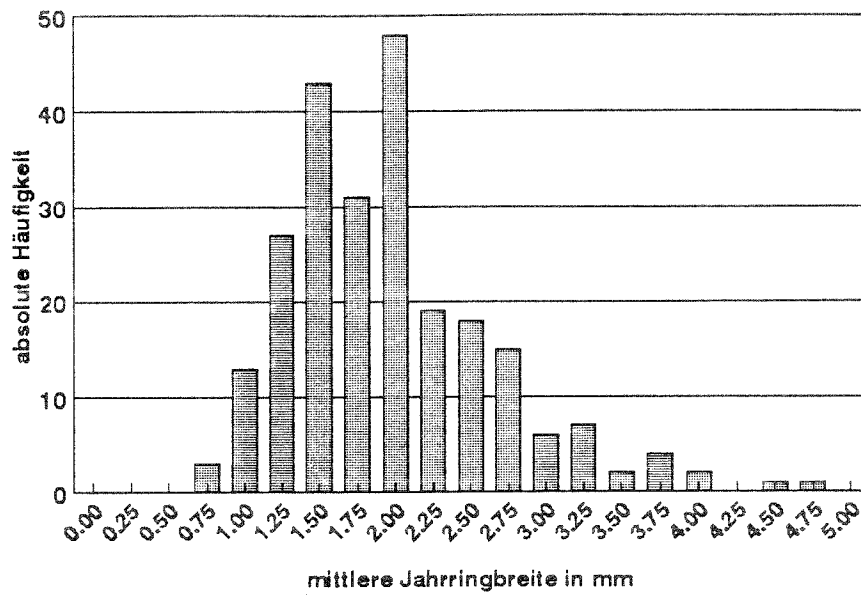


Bild 5a: Verteilung der mittleren Jahrringbreite der 240 Einzelbretter

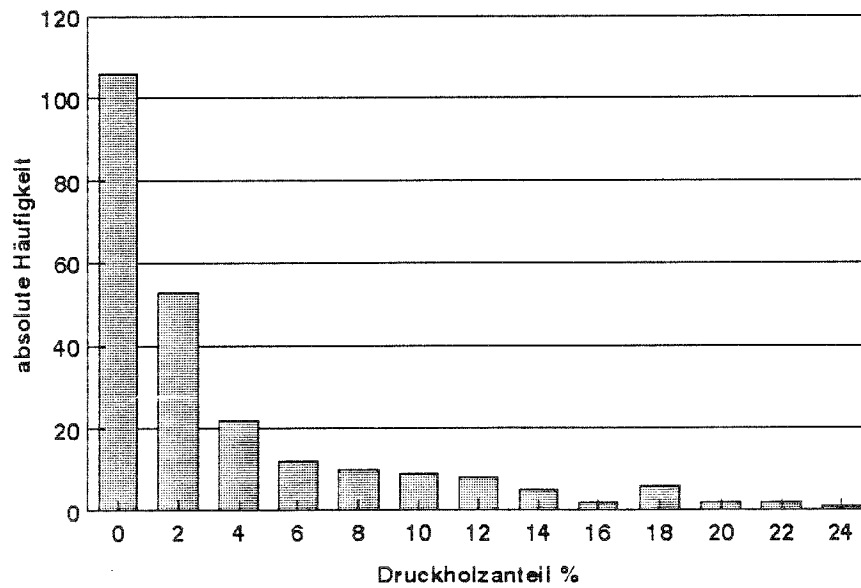


Bild 5b: Verteilung des Druckholzanteils bezogen auf die Querschnittsfläche für die 240 Einzelbretter

Bild 5: Verteilungen von Jahrringbreite und Druckholzanteil

Mittelwert 42,90 N/mm²
Standardabw. 7,15 N/mm²

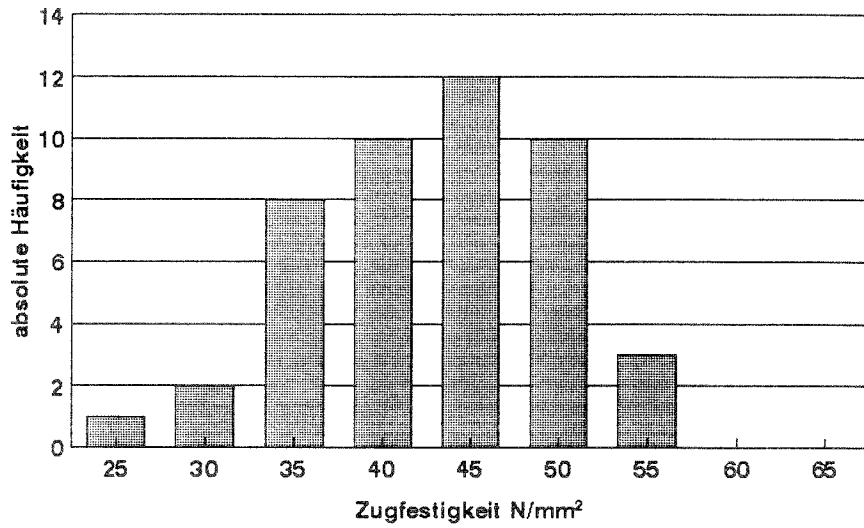


Bild 6a: Verteilung der Keilzinkenzugfestigkeit für Sortierklasse MS13, 46 Prüfkörper

Mittelwert 57,7 N/mm²
Standardabw. 5,34 N/mm²

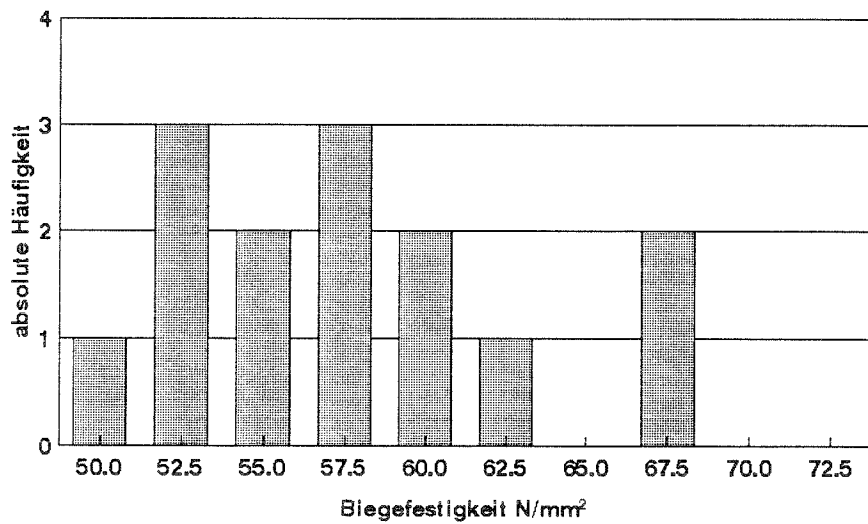


Bild 6b: Verteilung der Keilzinkenbiegefestigkeit für Sortierklasse MS13, 14 Prüfkörper

Bild 6: Verteilung der Festigkeiten für Sortierklasse MS13

Mittelwert 48,3 N/mm²
Standardabw. 9,0 N/mm²

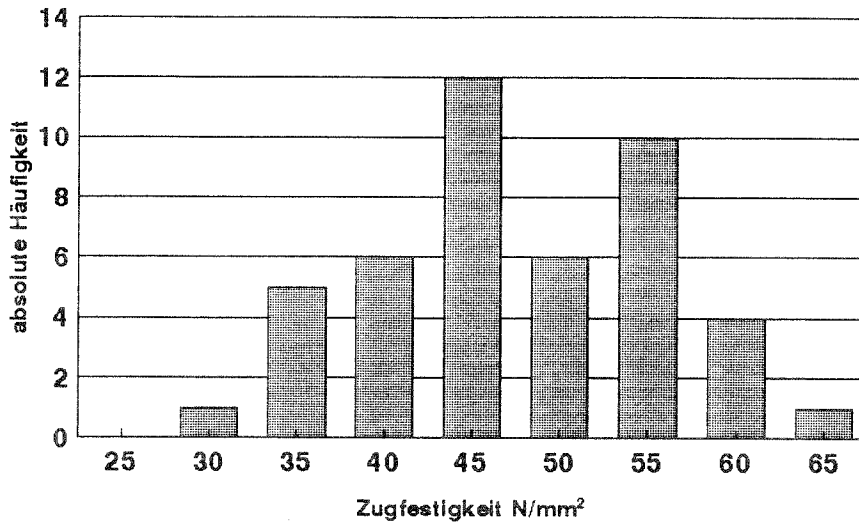


Bild 7a: Verteilung der Keilzinkenzugfestigkeit für Sortierklasse MS17, 46 Prüfkörper

Mittelwert 62,8 N/mm²
Standardabw. 5,68 N/mm²

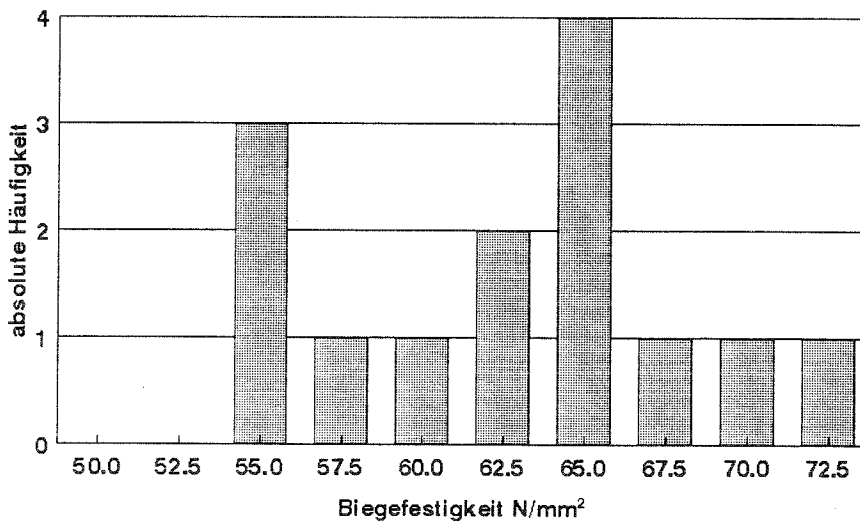


Bild 7b: Verteilung der Keilzinkenbiegefestigkeit für Sortierklasse MS17, 14 Prüfkörper

Bild 7: Verteilung der Festigkeiten für Sortierklasse MS17

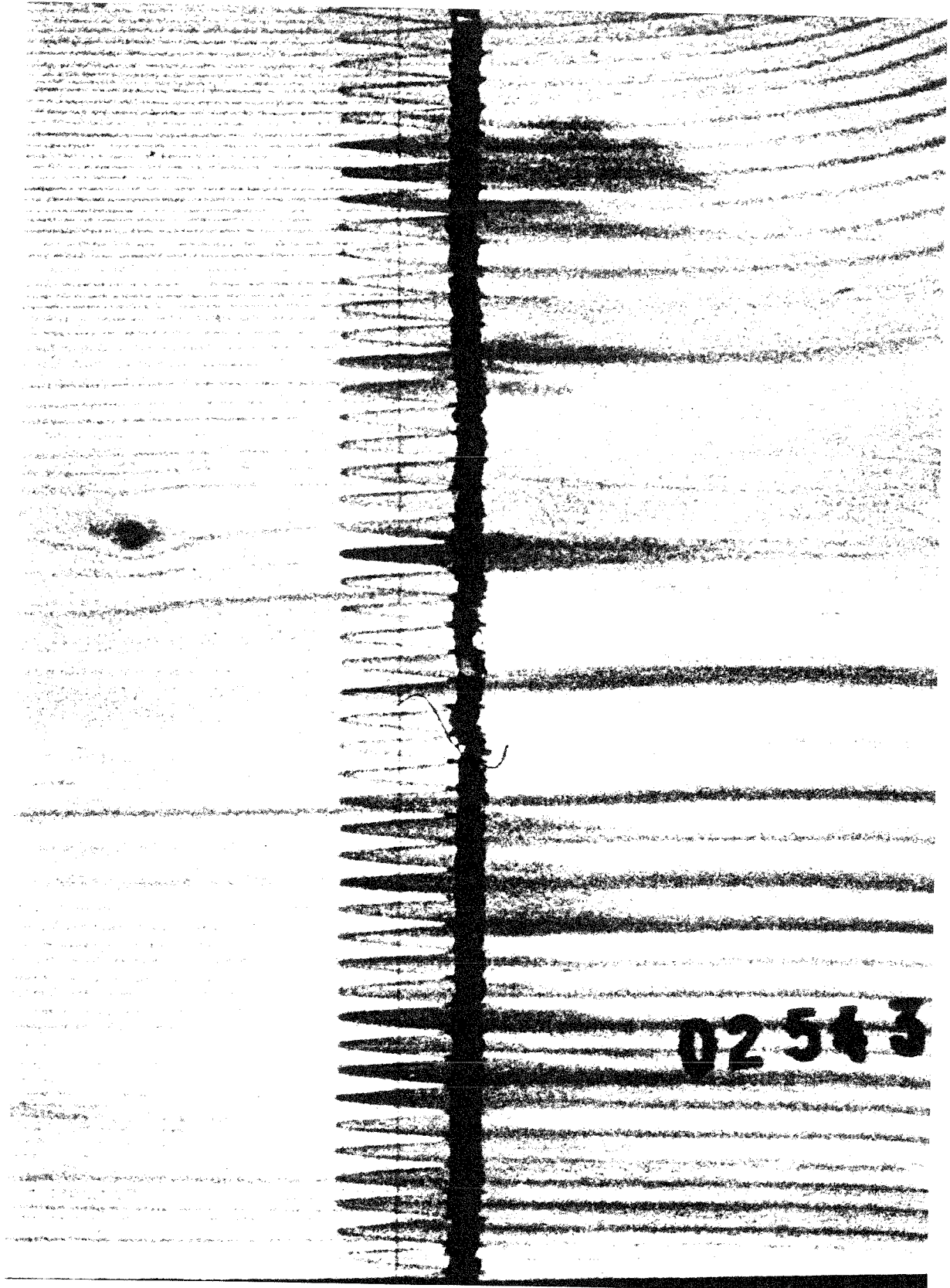


Bild 8:

Beispiel für einen reinen Keilzinkenzugbruch

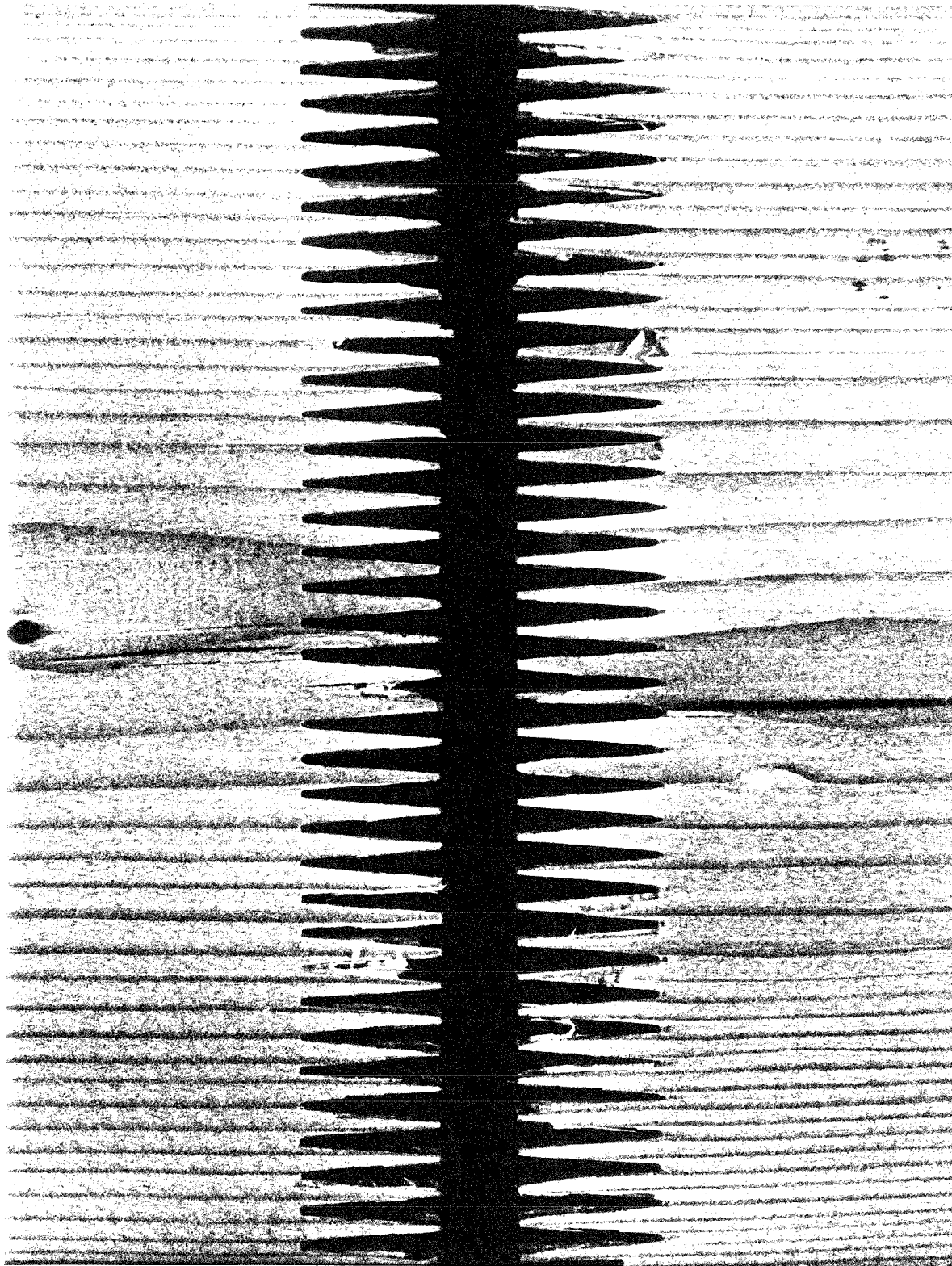


Bild 9:

Beispiel für einen reinen Keilzinkenschubbruch

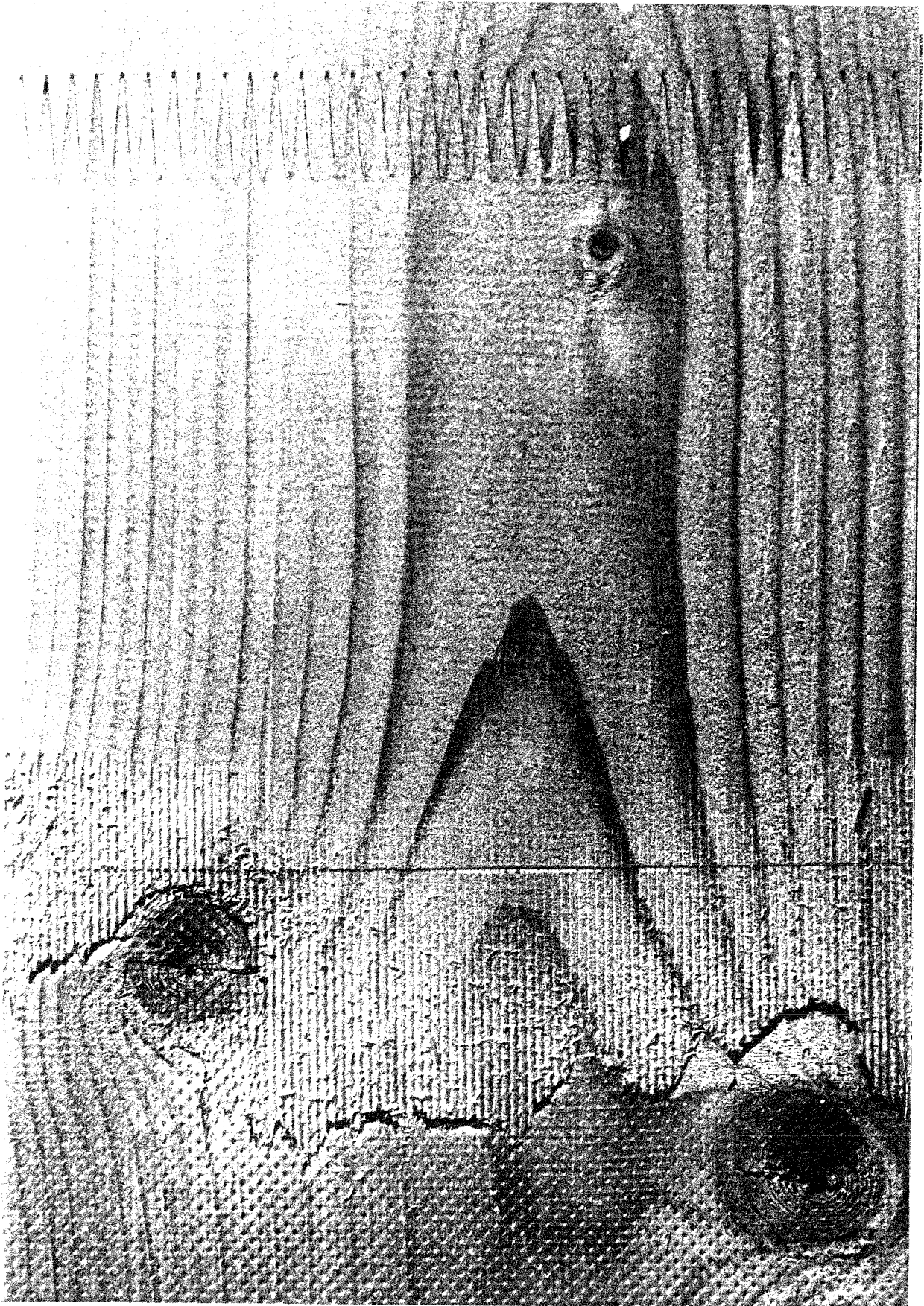
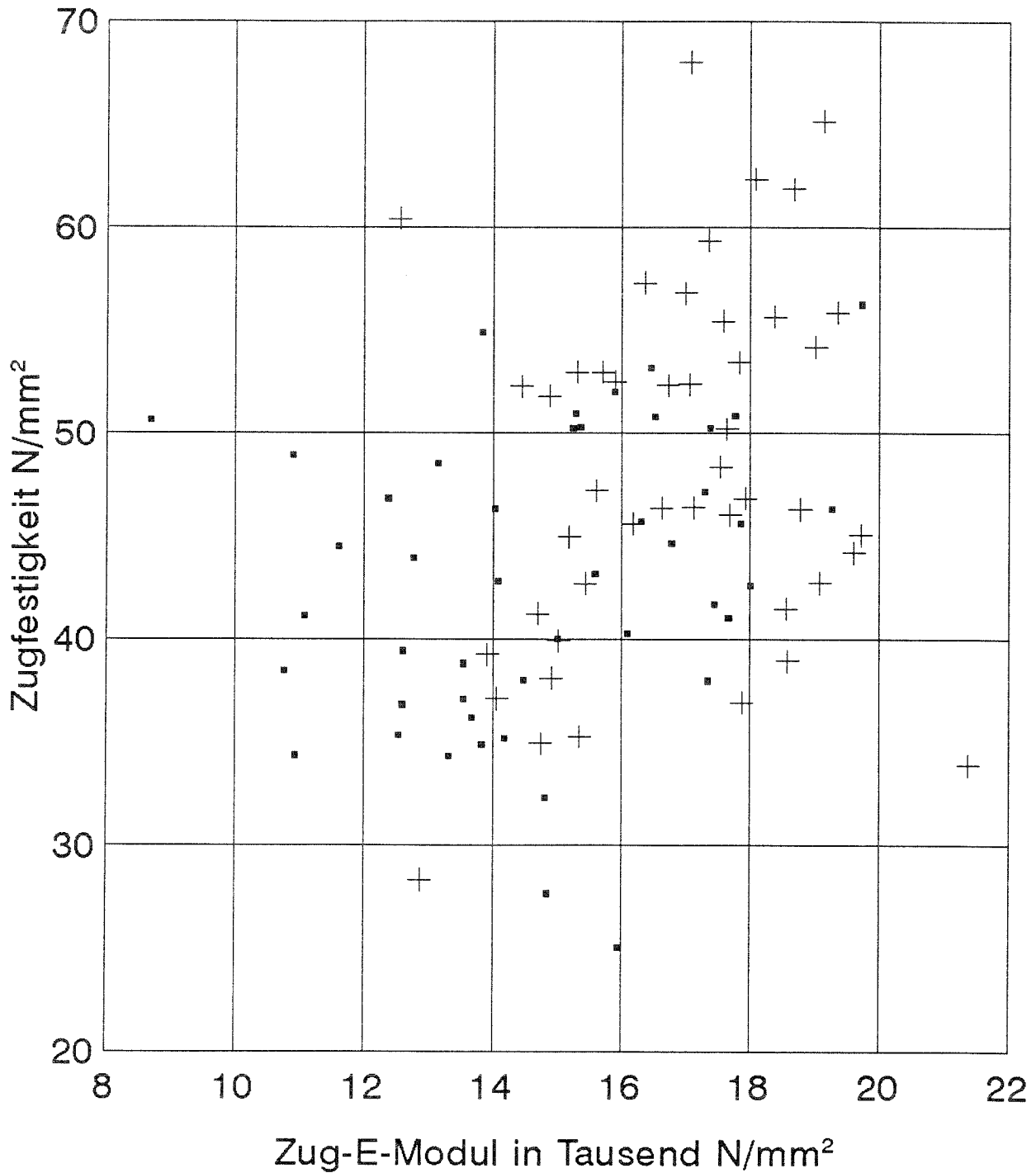


Bild 10:

Beispiel für einen reinen Holzbruch

Mittelwerte für Zug-E-Modul und Zugfestigkeit in N/mm²

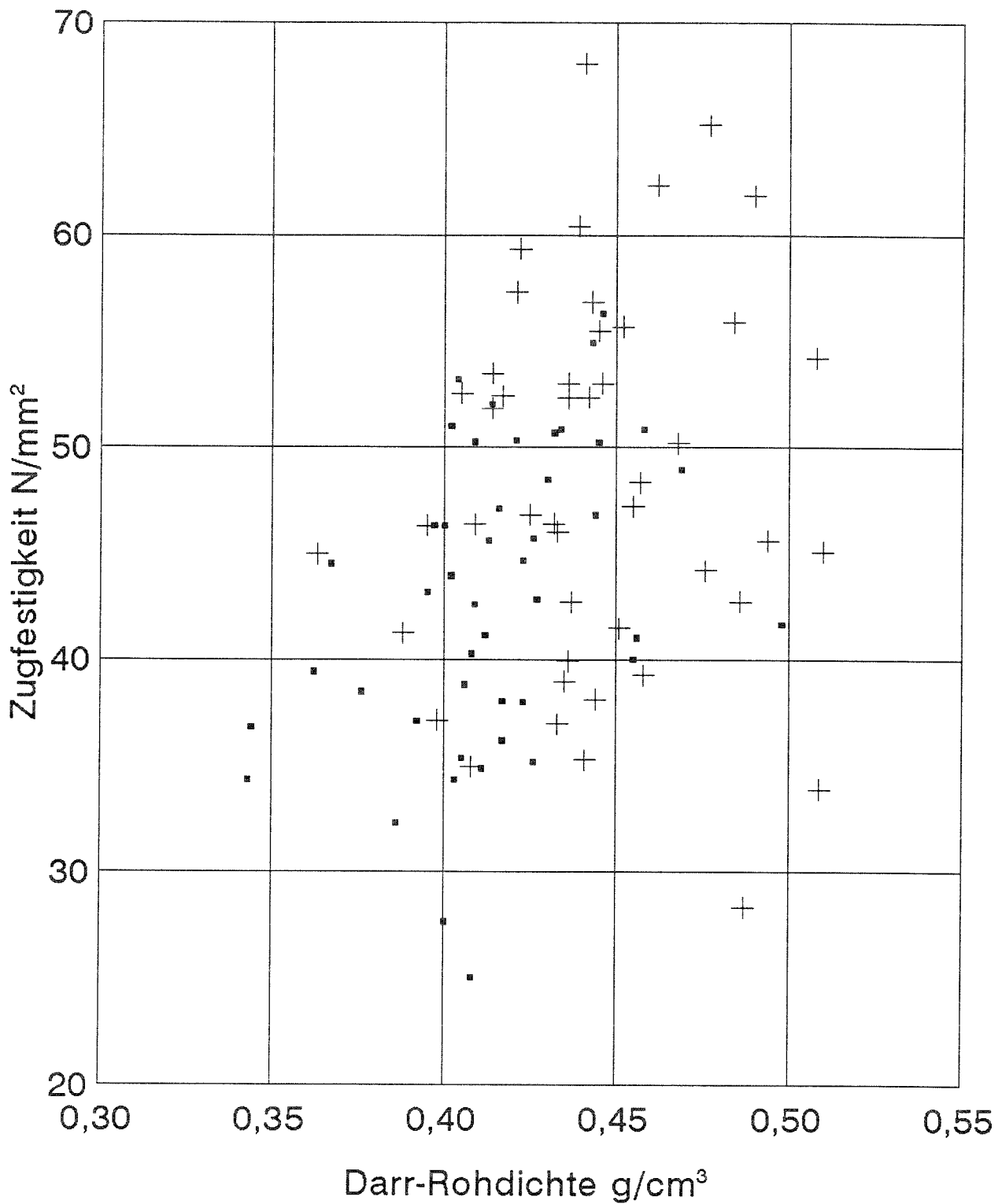
MS13	14.700	42,9
MS17	16.800	48,3



Sortierklasse

▪ MS13 + MS17

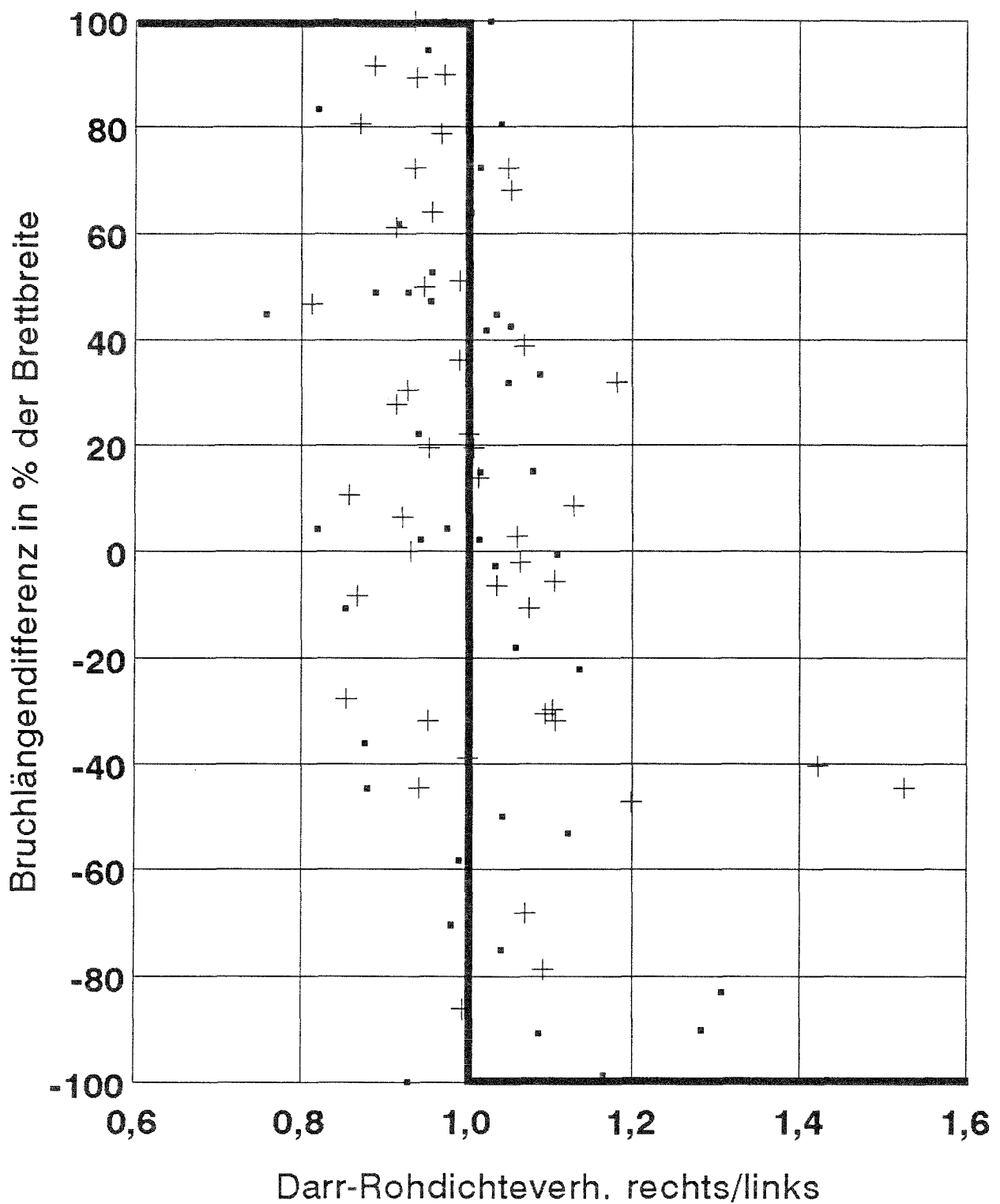
Bild 11: Keilzinkenzugfestigkeit in Abhängigkeit vom Zug-E-Modul und der Sortierklasse



Sortierklasse

▪ MS13 + MS17

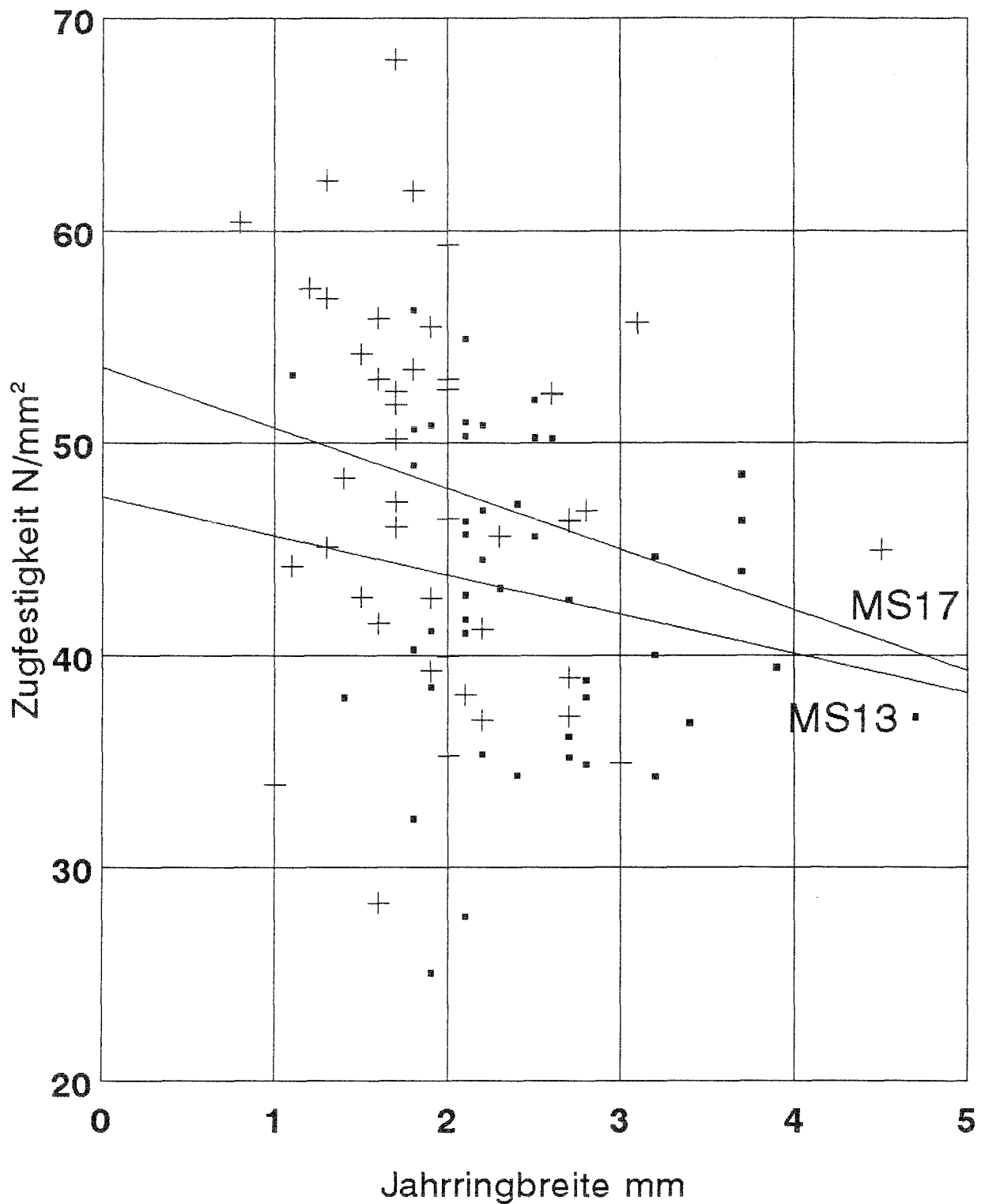
Bild 12: Keilzinkenzugfestigkeit in Abhängigkeit von der minimalen Darr-Rohdichte und der Sortierklasse



Sortierklasse

▪ MS13 + MS17

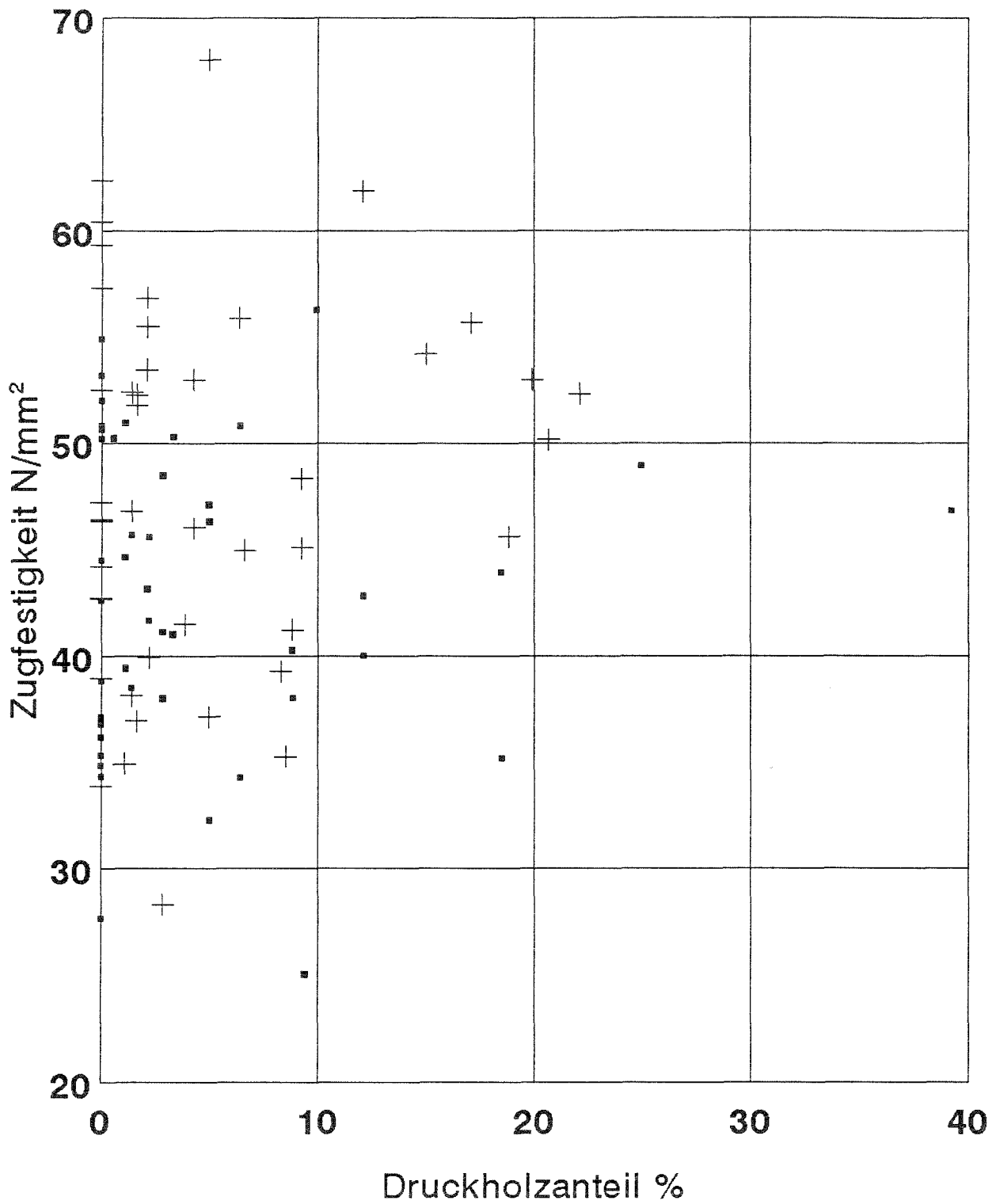
Bild 13: Bruchlängendifferenz rechte-linke Bretthälfte in Abhängigkeit vom Darr-Rohdichteverhältnis der rechten zur linken Bretthälfte



Sortierklasse

■ MS13 + MS17

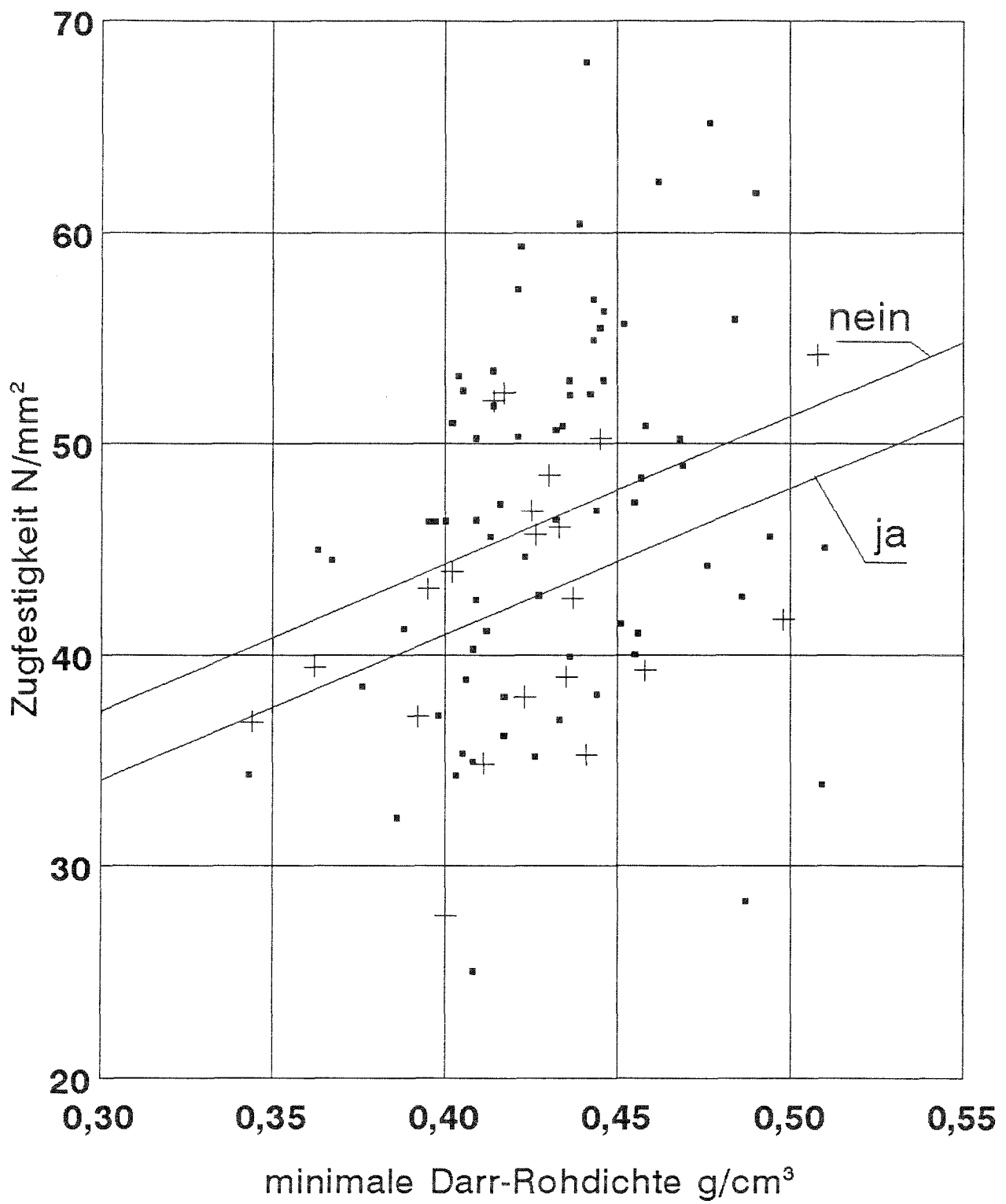
Bild 14: Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der mittleren Jahringbreite der Bretthälfte mit der größeren Bruchlänge



Sortierklasse

▪ MS13 + MS17

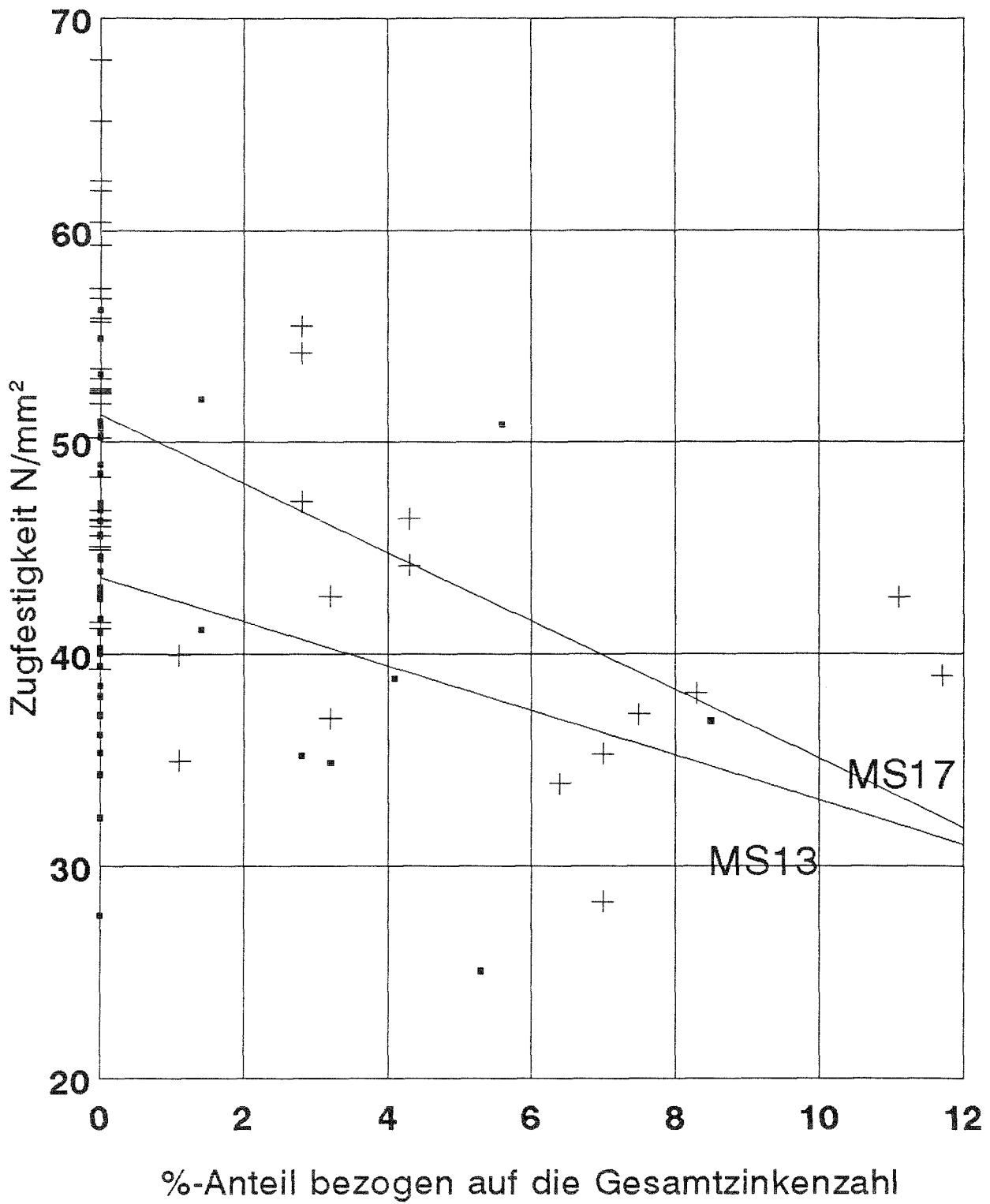
Bild 15: Zugfestigkeit in Abhängigkeit vom Druckholzanteil der Brettseite mit der größeren Bruchlänge



Markröhre enthalten

■ nein + ja

Bild 16: Zugfestigkeit in Abhängigkeit von minimaler Darr-Rohdichte und Vorhandensein einer Markröhre



Sortierklasse
 + MS13 • MS17

Bild 17: Zugfestigkeit in Abhängigkeit vom prozentualen Anteil fehlerhaft ineinandergefügter Keilzinken