

# **Entwicklung eines Sortierverfahrens für die kombinierte maschinelle und visuelle Festigkeitssortierung**

von

H. J. Blaß und M. Frese

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Abteilung Ingenieurholzbau

Universität Fridericiana Karlsruhe

Univ.-Professor Dr.-Ing. H. J. Blaß

2002

# **Entwicklung eines Sortierverfahrens für die kombinierte maschinelle und visuelle Festigkeitssortierung**

von

H. J. Blaß und M. Frese

Diese Arbeiten wurden gefördert durch die  
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. mit Mitteln des  
Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) in Berlin.

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

2002

## Vorwort

Mit der Entwicklung von Sortiermaschinen, die vor allem Äste mittels Durchstrahlung oder Bildverarbeitung erkennen, wurde der Holzverarbeitenden Industrie ein Hilfsmittel zur effizienten Nutzung von qualitativ hochwertigem Schnittholz bereitgestellt. Diese Maschinen ermöglichen die Sortierung von Schnittholz z.Zt. bis zur Festigkeitsklasse C40. Aufgrund der hohen Investitionskosten sind derartige Maschinen nur für wenige Unternehmen der Holzindustrie rentabel. Der hohe Preis wird hauptsächlich durch die Maschinenteile verursacht, die der Durchstrahlung oder Bildverarbeitung dienen.

Die Konkurrenzfähigkeit von Holz gegenüber anderen Baumaterialien ließe sich weiter steigern, wenn Unternehmen, die nicht über Sortiermaschinen o.g. Typs verfügen und ihre Sortierung bislang nach DIN 4074 T1 durchgeführt haben, ihre Angebotspalette um Holzprodukte zumindest aus C35 erweitern könnten.

Denkbar wäre das, indem die visuelle Sortierung nach DIN 4074 T1, die bis zur Sortierklasse S13 möglich ist, durch einen maschinell zu ermittelnden Parameter ergänzt und damit erheblich verbessert würde. Eine Maschine, die diesen Parameter ermittelt, müsste nicht über eine kostspielige Maschinenkomponente verfügen, die visuelle festigkeitsmindernde Merkmale erkennt.

Auf der Grundlage dieses Ansatzes wurde – angeregt durch die Brettschichtholzindustrie - das Forschungsvorhaben "Entwicklung eines Sortierverfahrens für die kombinierte maschinelle und visuelle Festigkeitssortierung" durchgeführt.

Das Forschungsvorhaben entstand im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) mit finanzieller Unterstützung des Deutschen Instituts für Bautechnik in Berlin.

Die umfangreichen Untersuchungen und Auswertungen wurden von Herrn Dipl.-Ing. M. Frese durchgeführt. Für die Vorbereitung der Prüfkörper und die Messungen im Labor der Versuchsanstalt für Stahl Holz und Steine waren die Herren M. Deeg, M. Huber, A. Klein und H. Lafferthon verantwortlich. Die wissenschaftlichen Hilfskräfte des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen haben bei diesem Forschungsvorhaben tatkräftig mitgewirkt. Die zahlreichen Zugversuche wurden von der Abteilung Physikalische Holztechnologie unter Leitung von Prof. Glos, Holzforschung München durchgeführt.

Allen Beteiligten ist für die Mitarbeit zu danken.

Hans Joachim Blaß

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	3
2	Untersuchungsmaterial .....	4
2.1	Allgemeines.....	4
2.2	Brettlamellen für die Brettschichtholzherstellung.....	4
2.3	Kanthölzer für Nagelplattenbinder .....	5
3	Untersuchung des Schnittholzes .....	6
3.1	Allgemeines.....	6
3.2	Visuelle Sortierung .....	6
3.3	Maschinelle Festigkeitssortierung .....	8
3.4	Biege- und Zugfestigkeit, E-Modul und Rohdichte .....	9
4	Kombination der maschinellen und visuellen Festigkeitssortierung .....	11
4.1	Allgemeines.....	11
4.2	Regressionsmodelle für Brettlamellen und Kanthölzer gemeinsam .....	12
4.3	Regressionsmodelle für Brettlamellen alleine .....	16
4.4	Unschärfe der Festigkeitssortierung.....	19
4.5	Einfluss von Kantenflächenästen .....	21
5	Zusammenfassung .....	22
	Literatur.....	23
	Zitierte Normen .....	23
	Abkürzungen und Definitionen .....	24
	Anlagen.....	25

## 1 Einleitung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden Grundlagen für eine kombinierte maschinelle und visuelle Festigkeitssortierung geschaffen. Geringer zusätzlicher Sortieraufwand gegenüber der aktuellen Praxis der visuellen Sortierung, siehe hierzu Glos und Henrici (2000) sowie Gruber (1992), und niedrige Investitionskosten für den Betreiber sollen eine Einstufung von Brettlamellen und Kanthölzern aus Nadelholz in die Festigkeitsklasse C35 nach EN 338 ermöglichen.

Auf diesen Grundlagen aufbauend werden kombinierte Sortierverfahren ausgearbeitet, die neben visueller Sortierung verschiedene Parameter im Bereich der maschinellen Festigkeitsvorhersage berücksichtigen. Es wird anhand von Sortierergebnissen gezeigt, dass kombinierte Verfahren, die in der maschinellen Komponente die Bruttorehdichte und/oder den dynamischen E-Modul von trockenem oder frischem Holz benötigen, zuverlässige Hilfsmittel für die Festigkeitsvorhersage für Schnittholz darstellen.

Die Sortierverfahren sind ausgehend von der Untersuchung und statistischen Auswertung von 612 Brettlamellen sowie von 485 Kanthölzern in erster Linie auf die Sortierung von Schnittholz für die Brettschichtholz- und Nagelplattenbinderherstellung abgestimmt.

## 2 Untersuchungsmaterial

### 2.1 Allgemeines

Das Schnittholz wurde während zwei voneinander getrennten Zeitspannen bei jeweils zwei Sägewerken<sup>1</sup> in Form von 18 Proben entnommen. Eine Übersicht der Proben befindet sich in den Tabellen 1 und 2 auf der folgenden Seite. Das „B“ an erster Stelle im Reihennamen steht für Brettlamellen und das „K“ für Kanthölzer.

Die Proben BA-BC und KD-KH wurden im Sommer bzw. Herbst 2000 und die Proben BJ-BL, KM-KN, BO-BQ und KR im Herbst 2001 entnommen. Bei der zweiten Entnahme handelt es sich bei den Proben BJ-BL und KM-KN um Holz aus der Gegend nordöstlich von Stuttgart und bei den Proben BO-BQ und KR um Holz aus dem Schwarzwald. Zu den anderen Proben liegen keine Herkunftsangaben vor.

Mit diesem Vorgehen wurden Einflussgrößen auf die Festigkeit und Steifigkeit wie Wuchsgebiete und Sägewerkstechnologien berücksichtigt.

Eine Erfahrung, die bei der Entnahme 2000 gewonnen wurde, zeigte, dass es nicht ohne weiteres, wie ursprünglich vorgesehen, möglich war, präzise sortiertes Schnittholz einschließlich gekennzeichnetem Ausschuss zu erhalten. Soweit es möglich war, wurde daher unsortiertes Ausgangsmaterial mit zum Teil hohen Schlechtanteilen bestellt. Die visuelle Sortierung wurde dann ersatzweise im Labor durchgeführt.

Unterstellt man, dass visuelle Sortiermerkmale, insbesondere Äste auf gehobeltem Schnittholz besser für den Sortierer erkennbar sind, wäre eine Sortierung am sägerauen Holz mit einer höheren Unsicherheit behaftet und daher weniger präzise. Aus diesem Grund wurde die Sortierung an sägerauem Schnittholz durchgeführt, damit eine Anwendung des kombinierten Sortierverfahrens bereits vor dem Hobeln abgesichert ist.

### 2.2 Brettlamellen für die Brettschichtholzherstellung

Die Untersuchung der Brettlamellen wurde an Querschnittsabmessungen von  $d = 20$  bis  $48$  mm und  $b = 100$  bis  $220$  mm durchgeführt. Die gewählten Abmessungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

---

<sup>1</sup> Den Sägewerken Matthäus Sturm GmbH in Herbrechtingen, Ernst Fisch GmbH & Co. KG in Rüthen, B. Keck GmbH in Ehningen und Klenk Holz AG in Oberrot wird für den Einschnitt der gewünschten Querschnittsabmessungen und die Möglichkeit der Untersuchung des Schnittholzes vor Ort gedankt.

Der Umfang der Reihe BO von 89 Probekörpern erklärt sich durch eine größere Liefermenge als geordert. Die über das geplante Maß hinaus gelieferten Probekörper wurden in die Untersuchung miteinbezogen.

Bei der Reihe BS handelt es sich abweichend vom Forschungsantrag um eine zusätzlich in das Forschungsvorhaben aufgenommene Stichprobe. Die Brettlamellen dieser Probe stammen aus einer Güteüberwachung und konnten aufgrund der hierfür erforderlichen Biegeversuche und der Querschnittsabmessung mit in die Auswertung einbezogen werden. Die Länge der Brettlamellen betrug zwischen 3,80 m und 5,20 m.

**Tabelle 1:** Probenamen und Probenumfang für Brettlamellen.

Dicke Breite	20 mm	36 mm	48 mm
100 mm	Reihe BJ 60 Reihe BO 89		Reihe BA 57
175 mm		Reihe BC 50 Reihe BK 60 Reihe BP 56	Reihe BS 60
220 mm	Reihe BQ 64		Reihe BB 55 Reihe BL 61

### 2.3 Kanthölzer für Nagelplattenbinder

Die Untersuchung der Kanthölzer wurde an Querschnittsabmessungen von  $b = 50$  bis  $80$  mm und  $h = 100$  bis  $240$  mm durchgeführt. Die gewählten Abmessungen sind in Tabelle 2 aufgeführt. Der vergleichsweise große Probenumfang der Reihe KN sollte ursprünglich geteilt und von unterschiedlichen Sägewerken geliefert werden, um eine repräsentative Entnahme zu gewährleisten. Die Standardabweichungen der Biege- und Zugfestigkeit, jeweils am größten innerhalb des Kollektivs „Kanthölzer“, belegen jedoch, dass eine deutliche Streuung der mechanischen Eigenschaften innerhalb der Probe gewährleistet ist. Die Länge der Kanthölzer betrug zwischen  $4,00$  m und  $5,10$  m.

**Tabelle 2:** Probenamen und Probenumfang für Kanthölzer.

Breite Höhe	50 mm	60 mm	80 mm
100 mm	Reihe KD 53 Reihe KM 60		
180 mm		Reihe KG 55 Reihe KN 89	Reihe KF 57
240 mm	Reihe KE 54		Reihe KH 55 Reihe KR 62

### 3 Untersuchung des Schnittholzes

#### 3.1 Allgemeines

Bei der Untersuchung des Schnittholzes wurde wie folgt vorgegangen: Nach dem Einschnitt wurde im Sägewerk das noch frische Schnittholz gewogen, die Abmessungen wurden aufgenommen und die Frequenz der Längsschwingung bestimmt. Mittels elektrischer Widerstandsmessung wurde geprüft, dass es sich um „frisches“ Holz handelte ( $u > 30\%$ ). Das ist im Hinblick auf eine Korrelation zwischen dem am frischen und trockenen Material ermittelten dynamischen E-Modul von Bedeutung. Das Holz wurde im Sägewerk auf eine Holzfeuchte von etwa 10-18% getrocknet und nach Karlsruhe geliefert. Dort folgten zunächst die gleichen Untersuchungsschritte wie im Sägewerk. Das Material wurde in Anlehnung an E DIN 4074 T1 visuell sortiert und der kritische Querschnitt nach EN 384 für die Festigkeitsprüfung festgelegt. Etwa die Hälfte des gesamten Materials, ausgenommen die Reihe BS, wurde zur Durchführung von Zugprüfungen an die Abteilung Physikalische Holztechnologie der Holzforschung München<sup>2</sup> weitergeleitet, die andere Hälfte verblieb in Karlsruhe für Biegeprüfungen.

#### 3.2 Visuelle Sortierung

Die visuelle Sortierung wurde mit Sortierkriterien der E DIN 4074 T1 durchgeführt. Es wurde in Hinblick auf eine sinnvoll abgestimmte Kombination mit einer maschinellen Festigkeitssortierung eine Auswahl von festigkeitsrelevanten Sortierkriterien getroffen. Zu dieser Auswahl zählt der Einzelast sowie die Astansammlung (nur Brettlamellen), das Vorhandensein der Markröhre, der Kantenflächenast (nur Brettlamellen) und sonstige Merkmale (mechanische Schäden, Rindeneinschluss, überwallte Stammverletzungen und Wipfelbruch). Die Faserneigung und unzulässige Risse werden aufgrund des seltenen Auftretens in der Kategorie „sonstige Merkmale“ mit erfasst.

Die Jahrringbreite wurde nicht berücksichtigt. Ihr Einfluss wird zutreffender über die Bruttorohichte beschrieben, die als eine Variable zur Berechnung des maschinellen Sortierparameters bzw. des dynamischen E-Moduls benötigt wird. Festigkeitsmindernde Fäule und Fraßgänge sowie Druckholz konnten beim untersuchten Schnittholz nicht beobachtet werden.

In Tabelle 3 sind für Brettlamellen vier und für Kanthölzer drei Sortierungen zusammengestellt, die sich jeweils als Vorstufe einer ordnungsgemäßen Sortierung nach E DIN

---

<sup>2</sup> Der Abteilung Physikalische Holztechnologie unter Leitung von Prof. Glos, Holzforschung München wird für die Durchführung der zahlreichen Zugversuche und die Ermittlung der Werte Zugfestigkeit, Zug-E-Modul, Holzfeuchte und Darrrohichte gedankt.



4074 T1 verstehen. Die Berücksichtigung der festigkeitsrelevanten Kriterien innerhalb einer Vorstufe ist jeweils durch ein X angezeigt. Die Sortierungen der Vorstufen V1 bis V4 dienen vergleichenden Gegenüberstellungen. Um Verwechslungen mit einer ordnungsgemäßen Sortierung nach E DIN 4074 T1 zu vermeiden werden im Folgenden die Sortierklassen einer Vorstufe mit dem entsprechenden Kürzel „V1, V2, V3 oder V4“ versehen.

Die Ästigkeit für den Einzelast und die Astansammlung sowie das Verhältnis E beim Kantenflächenast sind Beobachtungen an ein und demselben Querschnitt der Brettlamelle. Für die Sortierungen V1 bis V4 von Brettlamellen war dann von diesen das maßgebende Kriterium ausschlaggebend.

**Tabelle 3:** Sortierungen in Abhängigkeit von verschiedenen Kombinationen von festigkeitsrelevanten Sortierkriterien der E DIN 4074 T1

Vorstufe einer Sortierung nach E DIN 4074 T1	festigkeitsrelevante Kriterien			
	Äste und Astansammlung	Mark	Kantenflächenäste	Sonstige Merkmale
Brettlamellen				
Sortierung V1	X			
Sortierung V2	X			X
Sortierung V3	X	X		X
Sortierung V4	X		X	X
Kanthölzer				
Sortierung V1	X		-	
Sortierung V2	X		-	X
Sortierung V3	X	X	-	X

Es wurde angenommen, dass es sich bei derjenigen Stelle, die für die visuelle Sortierung maßgebend ist, auch um den schwächsten Querschnitt für die Festigkeitsprüfung nach EN 408 handelt. Da die visuell bestimmte schwächste Stelle einer Brettlamelle oder eines Kantholzes nicht immer innerhalb der Lastangriffspunkte (Biegeprüfung) bzw. innerhalb der freien Prüflänge (Zugprüfung) lag, müssen zwei Fälle unterschieden werden.

1. Fall: Lag die augenscheinlich schwächste Stelle unmittelbar am Ende des Brettes/Kantholzes und der übrige Bereich war weitgehend frei von gleichwertigen Schwachstellen, dann wurde diese Schwachstelle in Hinblick auf ein Abtrennen in der Praxis ignoriert. Diese Vorgehensweise galt insbesondere für das Sortierkriterium, „sonstige Merkmale“, weniger für Äste.

2. Fall: Lag die augenscheinlich schwächste Stelle X1 unmittelbar am Ende der Brettlamelle/des Kantholzes und der übrige Bereich wies weitgehend gleichwertige

Schwachstellen X2, X3 ... auf, dann wurde die Stelle X1 für die Sortierung zu Grunde gelegt und die Festigkeitsprüfung an einer prüfbaren Stelle X2 oder X3... durchgeführt. Diese Vorgehensweise galt insbesondere für das Sortierkriterium „Äste“.

Das Vorgehen in den Fällen 1 und 2 begünstigt die Festigkeitsvorhersage auf der Grundlage der visuellen Sortierung. Es wird einschränkend angemerkt, dass es nicht garantiert, in manchen Fällen die tatsächlich geringste Festigkeit zu ermitteln.

Häufigkeitsdiagramme der Ästigkeiten und des Verhältnisses E bei Kantenflächenästen sind in den Bildern A1 bis A4 (Anlage A-1 bis A-8) dargestellt. Das Vorhandensein der Markröhre, zahlenmäßige Zusammensetzungen der Sortierungen V1 bis V3 bzw. V4 bei Brettlamellen zeigen die Bilder A5 bis A12 (Anlage A-9 bis A-16). Diagramme „Biege- bzw. Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Ästigkeit“ für die Sortierung V3 sind auf den Bildern A13 bis A18 (Anlage A-17 bis A-19) zu finden.

### **3.3 Maschinelle Festigkeitssortierung**

Grundlage der vorgesehenen maschinellen Festigkeitssortierung ist es, mit Hilfe einer Berechnungsgleichung für jedes Stück Schnittholz, das sortiert werden soll, einen maschinellen Sortierparameter – Vorhersagewert für die Biegefestigkeit - zu ermitteln. In dieser Forschungsarbeit werden Berechnungsgleichungen mittels der linearen multiplen Regression bestimmt. Zur Auswahl stehen folgende maschinell messbaren Eigenschaften, die in Regressionsmodellen als unabhängige Parameter aufgenommen werden:

1. Bruttorohichte von trockenem Holz
2. Bruttorohichte von frischem Holz (dient nur der Berechnung des dyn. E-Moduls)
3. Dicke oder Höhe des Schnittholzes
4. Breite des Schnittholzes
5. Dynamischer Elastizitätsmodul von trockenem Holz
6. Dynamischer Elastizitätsmodul von frischem Holz

Die Werte dieser Eigenschaften wurden unter Laborbedingungen bzw. im Sägewerk ermittelt. Hilfsmittel waren Messschieber, elektronische Waage und das Messgerät GRINDO-SONIC zur Schwingungszeitmessung. Zur grundsätzlichen Eignung der Schwingungszeitmessung für die maschinelle Schnittholzsortierung wird auf Görlacher (1990) verwiesen.

Die Mittelwerte der Bruttorohichte und des dynamischen E-Moduls – die bedeutendsten Eigenschaften - jeweils von trockenem Holz sind in den Bildern B1 und B2 (Anlage B-1) für Reihen und Kollektive vergleichbar grafisch gegenübergestellt. In Tabelle B1 (Anlage B-2 bis B-3) sind die Mittelwerte und Standardabweichungen aller o. g.

Eigenschaften für Reihen und Kollektive zusammengestellt. Die Diagramme der Bilder B3 bis B4 (Anlage B-4) verdeutlichen die Abhängigkeit des dynamischen E-Moduls von der Brutto Rohdichte jeweils von Brettlamellen und Kanthölzern. Der eindeutige lineare Zusammenhang zwischen den dynamischen E-Moduln, ermittelt an trockenem und frischem Holz, zeigt Bild B5 (Anlage B-5). In den Bildern B6 bis B9 (Anlage B-6 bis B-7) sind sowohl die Biege- als auch Zugfestigkeit (siehe Kap. 3.4) in Abhängigkeit vom dynamischen E-Modul und von der Brutto Rohdichte vergleichend gegenübergestellt. Die erwartungsgemäß bessere Vorhersage der Festigkeit durch den dynamischen E-Modul verdeutlichen die 95%-Vertrauensgrenzen, die jeweils parallel zu den Regressionsgeraden in den Diagrammen eingezeichnet sind.

### 3.4 Biege- und Zugfestigkeit, E-Modul und Rohdichte

In Karlsruhe wurde die Bestimmung der Biegefestigkeit, des Biege-Elastizitätsmoduls, und der Rohdichte jeweils nach EN 408 durchgeführt. Abweichend von EN 408 wurde jedoch der Biege-Elastizitätsmodul der Prüfkörper für Brettlamellen der zweiten Entnahme (Herbst 2001) mittels einer Biegeschwingung erster Ordnung nach Görlacher (1984) bestimmt. Der Schub einfluss wurde - wie dort auch angenommen - mit einem Verhältniswert  $E/G = 20$  berücksichtigt.

Die Ergebnisse der statischen Versuche an den Prüfkörpern der ersten Entnahme erwiesen sich aufgrund der Wechselwirkung zwischen Querkrümmung der ungehobelten Prüfkörper von Brettlamellen und der konventionellen Messeinrichtung als unzuverlässig. Bei den Kanthölzern war dieses Problem erwartungsgemäß nicht zu erkennen. Insbesondere war die Lage der Markröhre während des Versuchs für die Größe des ermittelten Biege-E-Moduls von Bedeutung. Das Wenden desselben Prüfkörpers führte zu einer unrealistischen Änderung des Biege-E-Moduls von bis zu  $10000 \text{ N/mm}^2$ . Beispielhaft sei hier erwähnt, dass die Reihen BB (Breite =  $215 \text{ mm}$ ) und BC (Breite =  $175 \text{ mm}$ ) sehr hohe Standardabweichungen von  $3760 \text{ N/mm}^2$  und  $4740 \text{ N/mm}^2$  des Biege-E-Moduls nach EN 408 aufweisen, siehe Tabelle C2 (Anlage C-9).

Mit der auf Bild C1 (Anlage C-1) dargestellten Versuchsvorrichtung, die den Einfluss der Querkrümmung während des Versuchs nach EN 408 weitgehend kompensiert, konnte an 25 Prüfkörpern belegt werden, dass der Biege-E-Modul aus dem statischen Versuch weitgehend linear vom dynamischen Biege-E-Modul abhängig ist. Die Prüfkörper (aus den Reihen BK und BP) wiesen zum Teil starke Querkrümmungen auf. Auf Bild C2 (Anlage C-1) ist der Zusammenhang zwischen den Wertepaaren der Biege-E-Moduln (Marklage jeweils oben und unten während des statischen Versuchs) und dem dynamischen Biege-E-Modul dargestellt. Die eingezeichnete Regressionsgerade ermöglicht eine überschlägige Umrechnung zwischen den beiden E-Moduln.

Die Abteilung Physikalische Holztechnologie, Holzforschung München führte die Versuche zur Bestimmung des Zug-Elastizitätsmoduls, der Zugfestigkeit, der Holzfeuchte und der Rohdichte jeweils nach EN 408 durch.

Die Rohdichte nach EN 408 wurde auf eine Holzfeuchte von 12% bei den Karlsruher Werten nach EN 384, Abschnitt 7 linear umgerechnet und bei den Münchner Werten ausgehend von der Darrrohddichte nach DIN 52 182, Abschnitt 7.2 nach Kollmann hochgerechnet.

Die Mittelwerte der Biege- und Zugfestigkeit sind in den Bildern C3 und C4 (Anlage C-2) für Reihen und Kollektive vergleichbar grafisch gegenübergestellt. In Tabelle C1 (Anlage C-3 bis C-4) sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Biege-, Zugfestigkeit, der Rohdichte nach EN 408 ( $u=12\%$ ) und der Holzfeuchte für Reihen und Kollektive zusammengestellt. Bild C5 (Anlage C-5) zeigt die Häufigkeitsverteilungen der Biege- und Zugfestigkeit jeweils für Brettlamellen und Kanthölzer. Die Bilder C6 bis C9 (Anlage C-6 bis C-7) zeigen die Abhängigkeit der Biege- bzw. Zugfestigkeit von der Rohdichte nach EN 408 ( $u=12\%$ ) jeweils für Brettlamellen und Kanthölzer. In Bild C10 (Anlage C-8) ist eine Häufigkeitsverteilung der Rohdichte nach EN 408 ( $u=12\%$ ) für Brettlamellen und Kanthölzer dargestellt. Mittelwerte und Standardabweichungen der Biege- bzw. Zug-E-Moduln nach EN 408 und des ersatzweise bestimmten dynamischen Biege-E-Moduls sind in Tabelle C2 (Anlage C-9 bis C-10) zu finden.

Die Zuordnung von Nadelschnittholz in die Festigkeitsklasse C35 nach EN 338 erfordert unter anderem einen mittleren E-Modul nach EN 408 - aus einem statischen Biege- oder Zugversuch - von  $13000 \text{ N/mm}^2$ . Bedingt durch die Tatsache, dass für Brettlamellen der Biege-E-Modul nach EN 408 nur teilweise und vor allem betragsmäßig unzuverlässig vorliegt und dass bei den Zugprüfungen der Zug-E-Modul nach EN 408 bestimmt wurde, liegen für den E-Modul aus dieser Sicht keine einheitlichen untereinander vergleichbaren Werte vor. Aus diesem Grund wurde der Mittelwert des E-Moduls, der für die Klassifizierung benötigt wird, für alle Schnitthölzer aus dem dynamischen E-Modul berechnet. Die Diagramme in den Bildern C11 bis C14 (Anlage C-11 bis C-12) zeigen die Abhängigkeiten der E-Moduln, ermittelt an Prüfkörpern nach EN 408, jeweils vom dynamischen E-Modul. Eine überschlägige Umrechnung zwischen den Werten gelingt mit den Regressionsgeraden. Diese basieren nur auf den Wertepaaren der Sortierklassen S13/V2 und S10/V2. Die 95%-Vertrauensgrenzen für die Mittelwerte sind ober- und unterhalb der Regressionsgeraden mit eingezeichnet. An dieser Stelle sei vorgreifend auf Kap. 4 angemerkt, dass die Sortiererergebnisse, die in dieser Arbeit ausgewertet werden, eine Teilmenge der Sortierklassen S13/V2 und S10/V2 sind. Insofern wird die Regression auf die Sortierklassen S10/V2 und S13/V2 beschränkt.

Eine Übersicht über die Anzahl aller gültigen Beobachtungen, die in Kap. 3.2 bis 3.4 eingeführt wurden, ist in den Tabellen D1 und D2 (Anlage D-1 bis D-2) zu finden.

## 4 Kombination der maschinellen und visuellen Festigkeitssortierung

### 4.1 Allgemeines

Maschinelle Festigkeits- und visuelle Sortierung müssen aufeinander abgestimmt werden. Dies geschieht zweckmäßig durch Festlegung eines Grenzwertes für den Zahlenwert des maschinellen Sortierparameters und durch Auswahl bestimmter Sortierklassen der Vorstufensortierung. Beeinflusst wird die Abstimmung durch die gewünschte Festigkeitsklasse oder eine gewünschte Ausbeute. Der im Weiteren vorgestellte Vorschlag sieht im Rahmen des Forschungsantrags die Sortierung in die Festigkeitsklasse C35 vor.

Zur Vorgehensweise: EN 384 gestattet in Abschnitt 8.1 die Berechnung des charakteristischen Wertes der Zugfestigkeit aus dem der Biegefestigkeit. Demnach sollte die Zugfestigkeit mindestens 60% der Biegefestigkeit betragen. An dem augenscheinlich schwächsten Querschnitt kann mittels zerstörender Prüfung entweder die Biege- oder die Zugfestigkeit nach EN 408 ermittelt werden, ein genaues Verhältnis von Zug- zu Biegefestigkeit kann folglich nicht angegeben werden.

Es bietet sich daher an, den maschinellen Sortierparameter als Vorhersagewert ausschließlich für die Biegefestigkeit mittels multipler linearer Regression zu modellieren. Anschließend wird ein Grenzwert festgelegt (Anpassungsschritt), der eine Sortierung neben Rohdichte und E-Modul mittels der 5%-Fraktile der Biegefestigkeit in die Festigkeitsklasse C35 ermöglicht. Dieser Grenzwert kann abschließend durch eine Sortierung der Schnitthölzer, für die die Zugfestigkeit ermittelt wurde, überprüft werden (Überprüfungsschritt). Kommt die Überprüfung zu dem Ergebnis, dass die 5%-Fraktile der Zugfestigkeit den Grenzwert für C35 einhält, gewährleistet der Grenzwert des maschinellen Sortierparameters auch eine ausreichende Zugfestigkeit.

Ist dies nicht der Fall, so ist das gewählte Regressionsmodell + Grenzwert ungeeignet, Schnittholz allein auf Grundlage eines Vorhersagewertes für die Biegefestigkeit zu sortieren. Es erfolgt dann die Festlegung des Grenzwertes über die Zugfestigkeit.

Die Bilder E1 und E2 (Anlage E-1) zeigen Balkendiagramme, in denen die Mittelwerte von dynamischem E-Modul und Brutorohdichte getrennt nach Reihen und Versuchstyp dargestellt sind. Die Unterschiede der Mittelwerte bezogen auf den Versuchstyp sind demnach gering. Anpassungsschritt und Überprüfungsschritt haben somit gleichwertige Materialeigenschaften.

In den Kapiteln 4.2 und 4.3 werden Regressionsgleichungen für maschinelle Sortierparameter hergeleitet. Diese Gleichungen sind das Ergebnis von verschiedenen Kombi-

nationen der maschinell messbaren Eigenschaften der Schnitthölzer innerhalb der Regressionsmodelle. So ergeben sich eine Reihe von Regressionsgleichungen, die unterschiedlichen praktischen Anwendungen einer maschinellen Festigkeitssortierung gerecht werden – z.B. Verzicht auf die Ermittlung des dynamischen E-Moduls, Sortierung vor der technischen Trocknung oder auch Verzicht auf die Berücksichtigung der Querschnittsabmessungen im Regressionsmodell.

Es werden zunächst die Kollektive „Brettlamellen“ und „Kanthölzer“ gemeinsam und darauf aufbauend das Kollektiv „Brettlamellen“ alleine untersucht. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass bedingt durch die Abnahme der Biegefestigkeit mit zunehmender Querschnittshöhe die Ausbeute in der Festigkeitsklasse C35 für Kanthölzer gering ausfällt und deshalb die Ergebnisse der statistischen Auswertung (5%-Fraktile der Biege- und Zugfestigkeit) mit einer zufallsbedingten Unsicherheit behaftet sind. Eine gesonderte Betrachtung von Kanthölzern ändert diese Tatsache nur unwesentlich. Insofern wird das Kollektiv „Kanthölzer“ nicht alleine untersucht.

Für die Ermittlung der Regressionsgleichungen wurden die Eigenschaften der Schnitthölzer aus den Sortierklassen S10/V2 und S13/V2 herangezogen. Bild F7 (Anlage F-12) zeigt - hier stellvertretend für alle untersuchten Regressionsmodelle, dass Schnitthölzer des Ausschusses und der Sortierklasse S7/V2 nicht in den linearen Zusammenhang im unteren Bereich der X-Wolke S10/V2 und S13/V2 passen. Die Wertepaare (Biegefestigkeit/maschinelles Sortierparameter) liegen vorwiegend unterhalb der eingezeichneten Regressionsgeraden für S10/V2 und S13/V2.

#### **4.2 Regressionsmodelle für Brettlamellen und Kanthölzer gemeinsam**

In Tabelle 4 ist die Auswertung zunächst nur in Hinblick auf die Einhaltung der charakteristischen Biegefestigkeit für C35 von 16 Regressionsmodellen dargestellt. Diese Tabelle dient der Auswahl von Regressionsgleichungen für detaillierte Auswertungen auch für E-Modul und Rohdichte. In den Spalten 2 bis 6 ist die Berücksichtigung der maschinell messbaren Eigenschaft als unabhängiger Parameter im Regressionsmodell durch ein  $x$  angezeigt. In Spalte 7 steht der Grenzwert für den Zahlenwert des maschinellen Sortierparameters. In den Spalten 8 bis 10 stehen die 5%-Fraktile bzw. die absoluten Ausbeuten für die Biegefestigkeit und in den Spalten 12 bis 14 für die Zugfestigkeit jeweils für alle Kollektive und nach Kollektiv „Brettlamellen“ und „Kanthölzer“ getrennt. In Spalte 11 kann die Anzahl der im Regressionsmodell berücksichtigten Prüfkörper aus den Sortierklassen S10/V2 und S13/V2 abgelesen werden. In Spalte 15 steht die Anzahl der Prüfkörper der Sortierklassen S10/V2 und S13/V2, für die die Zugfestigkeit ermittelt wurde. Die Ausbeuten sind ein Teil der in den Spalten 11 und 15 angegebenen Mengen. Sie sind folglich unabhängig von der Anzahl des Ausschusses und der Sortierklasse S7/V2.

**Tabelle 4:** Regressionsmodelle 1/BK bis 16/BK und Sortiererergebnisse

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	maschinell messbare Eigenschaften						Anpassungsschritt: Erreichen der charakteristischen Biegefestigkeit von C35 für alle Kollektive				zugehöriger Überprüfungsschritt: Ermittlung der 5%-Fraktile der Zugfestigkeit			
Modelle bzw. Zeile	Breite b	Dicke d / Höhe h	Bruttoflordichte	dynamischer E-Modul	dyn. E-Modul (frisches Holz)	Grenzwert [N/mm <sup>2</sup> ]	Alle Kollektive 5%-Fraktile [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	Kollektiv Brettlamellen 5%-Fraktile [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	Kollektiv Kanthölzer 5%-Fraktile [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	im Modell berücksichtigt	Alle Kollektive 5%-Fraktile [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	Kollektiv Brettlamellen 5%-Fraktile [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	Kollektiv Kanthölzer 5%-Fraktile [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	Zugfestigkeiten
1/BK			x			63	35,5/6	k.A./0	35,5/6	441	40,9/9	k.A./0	40,9/9	383
2/BK	x		x			56	36,0/44	48,8/26	32,5/18	441	27,0/31	23,7/15	33,1/16	383
3/BK		x	x			55	35,3/59	38,2/42	32,5/17	441	23,6/53	21,6/35	30,5/18	383
<b>4/BK</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>			<b>55</b>	<b>35,2/58</b>	<b>37,9/41</b>	<b>32,5/17</b>	<b>441</b>	<b>23,7/57</b>	<b>22,8/38</b>	<b>29,4/19</b>	<b>383</b>
5/BK				x		48	36,0/185	40,7/122	31,2/63	441	25,1/153	23,6/88	30,5/65	383
6/BK	x			x		48	35,4/198	37,9/143	30,8/55	441	24,5/149	23,4/96	32,0/53	383
7/BK		x		x		48	36,0/196	38,7/149	30,5/47	441	23,9/145	23,0/101	33,9/44	383
8/BK	x	x		x		48	36,0/195	38,6/148	30,5/47	441	23,9/145	23,0/101	33,9/44	383
9/BK			x	x		48	35,4/188	38,1/125	30,4/63	441	24,3/143	23,6/85	26,7/58	383
10/BK	x		x	x		48	35,2/197	36,2/142	30,8/55	441	24,0/149	23,0/98	31,0/51	383
11/BK		x	x	x		48	36,0/193	36,6/148	31,4/45	441	24,3/142	23,5/102	38,5/40	383
<b>12/BK</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>		<b>48</b>	<b>36,1/191</b>	<b>38,4/147</b>	<b>31,3/44</b>	<b>441</b>	<b>22,5/145</b>	<b>21,1/104</b>	<b>35,4/41</b>	<b>383</b>
13/BK					x	48	35,0/149	40,9/83	30,5/66	386	25,7/150	23,9/85	28,0/65	384
14/BK	x				x	48	35,7/150	40,5/98	30,7/52	386	23,9/147	22,9/97	28,5/50	384
15/BK		x			x	48	36,3/155	39,2/110	31,4/45	386	21,4/153	20,6/110	29,6/43	384
<b>16/BK</b>	<b>x</b>	<b>x</b>			<b>x</b>	<b>48</b>	<b>36,3/154</b>	<b>39,0/109</b>	<b>31,4/45</b>	<b>386</b>	<b>21,4/153</b>	<b>20,6/110</b>	<b>29,6/43</b>	<b>384</b>

k.A.: keine Angabe

bei Ausbeuten kleiner 20 wird ersatzweise der minimale Festigkeitswert angegeben

Die Modelle der Zeilen 4/BK,12/BK und 16/BK sind detailliert ausgewertet (Anlage F-2 bis F-31)

Tabelle F1 (Anlage F-1 ) enthält ergänzend die Korrelationskoeffizienten der in Tabelle 4 aufgeführten Regressionsmodelle sowie die Konstanten und Koeffizienten der zugehörigen Regressionsgleichungen.

Die gemeinsame Zusammenstellung der Sortierergebnisse in Tabelle 4 lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

1. Modelle 1/BK-4/BK: Erst die Modelle 3/BK und 4/BK führen im Ansatz zu besseren Sortierergebnissen. Das ist auf den bekanntermaßen signifikanten Einfluss der Dicke bzw. Höhe bei gemeinsamer Betrachtung von Brettlamellen und Kanthölzern zurückzuführen. Dennoch lässt die geringe Ausbeute ( $<30$ ) bei Kanthölzern keine zuverlässige statistische Auswertung zu.

Da die Biegefestigkeit bei den Kanthölzern mit der Bruttorohichte ( $r=0,49$ ) weniger gut korreliert ist als bei den Brettlamellen ( $r=0,59$ ), erscheint eine gemeinsame Regression für Brettlamellen und Kanthölzer für eine Festigkeitssortierung nach der Bruttorohichte zu ungünstig. Das bezieht sich auf die untersuchten Schnitthölzer der Sortierklassen S10/V2 und S13/V2. Daher wird zusätzlich für Brettlamellen eine eigene Regression durchgeführt. Siehe dazu Kap 4.3.

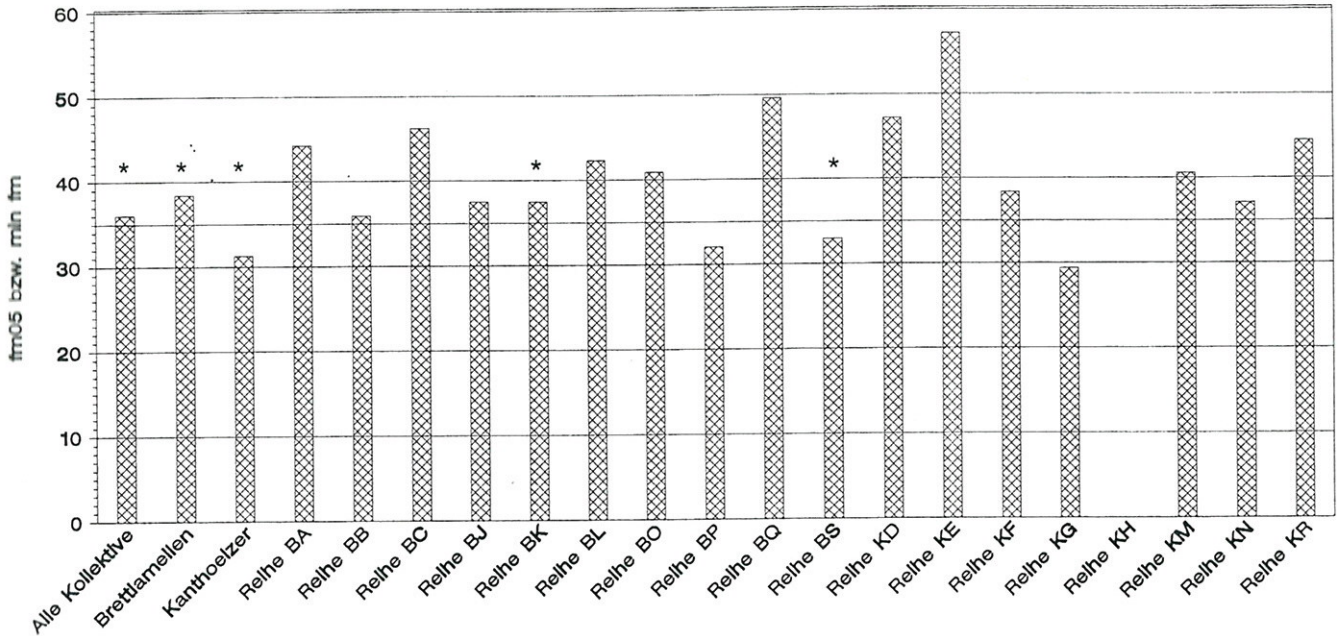
2. Modelle 5/BK-8/BK: Die Breite der untersuchten Brettlamellen liegt zwischen 100mm und 220 mm die Dicke zwischen 20mm und 48mm. Die Breite der untersuchten Kanthölzer liegt zwischen 50mm und 80 mm die Höhe zwischen 100mm und 240mm. So ist es nachvollziehbar, dass eine Brettlamelle sowohl durch eine große Breite als auch eine geringe Dicke geometrisch festgelegt ist. Bei den Kanthölzern gilt das Gegenteil. So erklärt sich im Modell 6/BK das positive Vorzeichen für den Koeffizienten der Breite und beim Modell 7/BK das negative Vorzeichen für denjenigen der Dicke, um dem Einfluss der Dicke gerecht zu werden. Im Modell 8/BK spielt die Breite eine untergeordnete Rolle. Die Sortierergebnisse der Modelle 7/BK und 8/BK sind weitgehend identisch.

3. Modelle 9/BK-12/BK: Die Aufnahme der Bruttorohichte führt in diesen Modellen zu geringfügigen Veränderungen im Vergleich zu den Modellen 5/BK-8/BK. Die Balkendiagramme der Bilder 1 und 2 verdeutlichen die 5%-Fraktilen, soweit abzählbar, ansonsten den Minimalwert der Biege- und Zugfestigkeit des Sortierergebnisses nach Modell 12/BK.

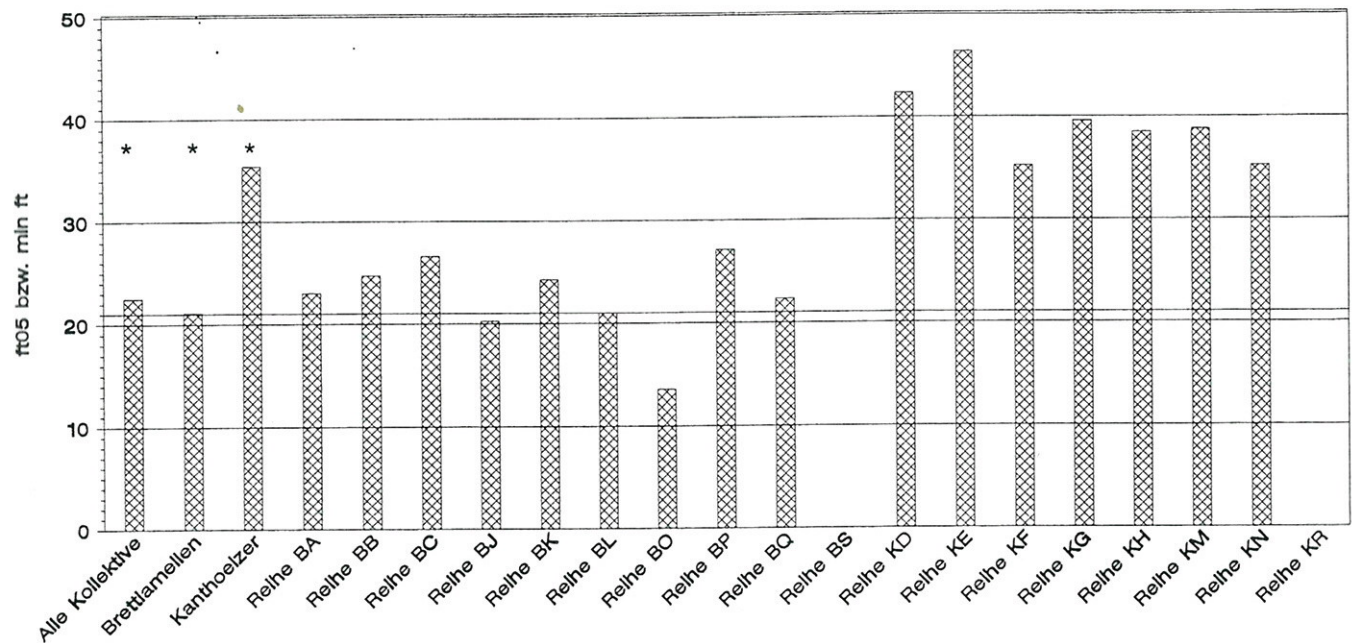
4. Modelle 13/BK-16/BK: Die sehr gute lineare Beziehung zwischen dynamischem E-Modul von trockenem und frischem Holz erklärt die Übereinstimmung der Sortierergebnisse der Modelle 13/BK-16/BK mit denjenigen der Modelle 5/BK-8/BK. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass für die Reihe BS keine Werte für den dynamischen



E-Modul am frischen Holz vorlagen, die Ausbeute (Spalte 9, Zeile 13-16) entsprechend geringer ausfällt und den Modellen 13/BK-16/BK nur 386 statt 441 Beobachtungen zugrunde lagen. Der Anteil der Reihe BS bei den Ausbeuten in Spalte 9 Zeile 5/BK-8/BK beträgt zwischen 38 und 43 Stk.



**Bild 1:** 5%-Fraktile bzw. Minimalwert der Biegefestigkeit des Sortierergebnisses nach Modell 12/BK, 5%-Fraktile gekennzeichnet\*



**Bild 2:** 5%-Fraktile bzw. Minimalwert der Zugfestigkeit des Sortierergebnisses nach Modell 12/BK, 5%-Fraktile gekennzeichnet\*

In der Anlage (F-2 bis F-31) sind die detaillierten Auswertungen der Sortierergebnisse der Modelle 4/BK, 12/BK und 16/BK auf jeweils 10 Seiten dargestellt. Die Bilder jeweils auf den ersten zwei Seiten zeigen die Abhängigkeit der Biege- und Zugfestigkeit vom maschinellen Sortierparameter für Brettlamellen und Kanthölzer gemeinsam. Auf den weiteren vier Seiten ist dieselbe Abhängigkeit getrennt nach Sortierklassen der Sortierung V2 jeweils für Brettlamellen und Kanthölzer dargestellt. Die Tabellen jeweils auf den letzten vier Seiten enthalten u.a. die 5%-Fraktile der Biege – und Zugfestigkeit, den Mittelwert des dynamischen E-Moduls und die 5%-Fraktile der Rohdichte nach EN 408 (12%). Diese Werte sind für jede Reihe und für die Kollektive Brettlamellen und Kanthölzer getrennt und gemeinsam angegeben.

### 4.3 Regressionsmodelle für Brettlamellen alleine

Ausschlaggebend für eine gesonderte Betrachtung von Brettlamellen alleine war die Herleitung einer Regressionsgleichung für die Berechnung eines maschinellen Sortierparameters in Abhängigkeit von der Brutto Rohdichte (Modelle 1/B bis 4/B, Tabelle 5), weil das Sortierergebnis des Modells 4/BK aus den o.g. Gründen zu einer unbefriedigenden Ausbeute für Brettlamellen führte. Die Systematik, mit der die maschinell messbaren Eigenschaften schrittweise in die Modelle aufgenommen wurden, entspricht der Vorgehensweise in Kap. 4.2. Die Modelle 5/B bis 16/B dienen vergleichenden Betrachtungen mit den Modellen 5/BK bis 16/BK.

Die Darstellung der Regressionsmodelle erfolgt auch hier in tabellarischer Form. Tabelle 5 ist bis einschließlich Spalte 6 identisch mit Tabelle 4. Während die Ergebnisse des Überprüfungsschrittes in Kap. 4.2 die Einhaltung der charakteristischen Zugfestigkeit für C35 von 21 N/mm<sup>2</sup> bis auf eine Ausnahme bestätigen, führt die Einhaltung der erforderlichen 5%-Fraktile der Biegefestigkeit für Brettlamellen alleine nicht zu dieser Bestätigung (Spalten 7 bis 9). Für die Einhaltung der 5%-Fraktile der Zugfestigkeit ist ein weiteres Anheben des Grenzwertes erforderlich (Spalten 10 bis 12). In Spalte 13 kann die Anzahl der im Regressionsmodell berücksichtigten Prüfkörper aus den Sortierklassen S10/V2 und S13/V2 abgelesen werden. In Spalte 14 steht die Anzahl der Prüfkörper der Sortierklassen S10/V2 und S13/V2, für die die Zugfestigkeit ermittelt wurde.

Tabelle G1 (Anlage G-1) enthält ergänzend die Korrelationskoeffizienten der in Tabelle 5 aufgeführten Regressionsmodelle sowie die Konstanten und Koeffizienten der zugehörigen Regressionsgleichungen.

Die gemeinsame Zusammenstellung der Sortierergebnisse in Tabelle 5 lässt nachstehende Schlussfolgerungen zu:

1. Modelle 1/B-4/B: Bei diesen Modellen geht mit dem Anheben des Grenzwertes ein monotonen Wachstum der 5%-Fraktile der Zugfestigkeit nicht einher. Bei Modell 2/B fällt

**Tabelle: 5:** Regressionsmodelle 1/B bis 16/B und Sortierergebnisse

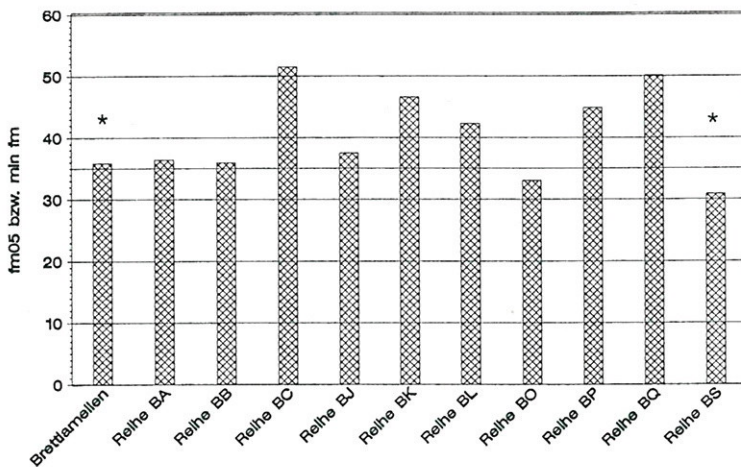
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	maschinell messbare Eigenschaften					Erreichen der charakteristischen Biegefestigkeit von C35			Erreichen der charakteristischen Zugfestigkeit von C35				
Modelle bzw. Zeile	Breite b	Dicke d / Höhe h	Bruttohohlräume	dynamischer E-Modul	dyn. E-Modul (frisches Holz)	Grenzwert [N/mm <sup>2</sup> ]	5%-Fraktile der Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	5%-Fraktile der Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	Grenzwert [N/mm <sup>2</sup> ]	5%-Fraktile der Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	5%-Fraktile der Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	im Model berücksichtigt	Zugfestigkeiten
1/B			x			50	35,9/121	16,1/82	53	36,4/86	22,4/57	274	226
2/B	x		x			50	35,7/119	16,4/85	58	38,6/43	22,4/37	274	226
3/B		x	x			50	35,9/124	16,5/86	52	35,9/103	21,5/65	274	226
4/B	x	x	x			50	35,9/121	16,4/85	<b>52</b>	<b>35,9/102</b>	<b>21,4/64</b>	<b>274</b>	<b>226</b>
5/B				x		44	35,9/180	17,9/133	47	36,1/156	21,7/108	274	226
6/B	x			x		45	36,0/173	18,1/126	48	36,9/150	21,5/103	274	226
7/B		x		x		45	36,0/169	18,1/125	48	38,7/149	23,0/101	274	226
8/B	x	x		x		45	36,0/171	18,1/125	48	36,9/149	21,1/104	274	226
9/B			x	x		45	36,1/171	18,1/125	47	37,4/158	21,7/108	274	226
10/B	x		x	x		45	36,2/171	19,0/123	48	36,8/147	21,1/104	274	226
11/B		x	x	x		45	36,1/169	18,0/123	47	37,4/158	21,2/108	274	226
12/B	x	x	x	x		45	36,1/170	16,0/126	<b>48</b>	<b>36,8/148</b>	<b>21,1/104</b>	<b>274</b>	<b>226</b>
13/B					x	46	36,0/127	20,6/129	48	39,5/112	21,8/109	218	226
14/B	x				x	46	37,6/126	18,5/129	48	39,5/112	21,2/111	218	226
15/B		x			x	46	36,0/131	21,2/129	46	36,0/131	21,2/129	218	226
16/B	x	x			x	45	36,3/134	18,5/135	47	37,8/121	21,4/121	218	226

bei Ausbeuten kleiner 20 wird ersatzweise der minimale Festigkeitswert angegeben

Die Modelle der Zeilen 4/B und 12/B sind detailliert ausgewertet (Anlage G-2 bis G-13)

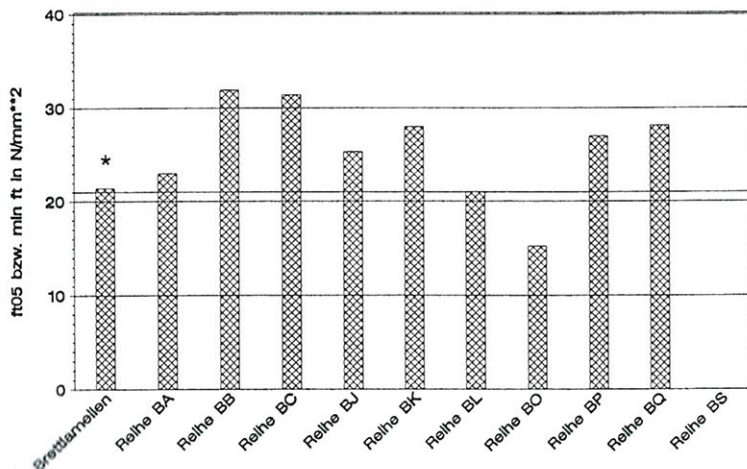
die 5%-Fraktile der Zugfestigkeit oberhalb des angegebenen Grenzwertes in Spalte 10 noch einmal bis auf 16 N/mm<sup>2</sup> ab. Im Vergleich sind die Modelle 3/B und 4/B am besten für eine maschinelle Festigkeitssortierung anhand der Bruttorechichte geeignet. So kann die Ausbeute beim Modell 4/B auf 102+64=166 gesteigert werden. Beim Modell 4/BK beträgt die Ausbeute lediglich 41+38=79. In Anbetracht dieser Zunahme erscheint eine gesonderte vom Kollektiv „Kanthölzer“ unabhängige Regression sinnvoll. Die Balkendiagramme der Bilder 3 und 4 verdeutlichen die 5%-Fraktile, soweit abzählbar, ansonsten den Minimalwert der Biege- und Zugfestigkeit des Sortierergebnisses nach Modell 4/B.

2. Modelle 5/B bis 16/B: Bei diesen Modellen fällt auf, dass mit den Grenzwerten im Bereich von 46 bis 48 N/mm<sup>2</sup> die Sortierergebnisse für Brettlamellen etwa ähnlich ausfallen wie in Tabelle 4, Zeile 5 bis 16, Spalte 9 und 13. Offensichtlich führt aber die Anpassung des Grenzwertes an die erforderliche 5%-Fraktile der Biegefestigkeit nicht auch zur notwendigen 5%-Fraktile der Zugfestigkeit. So erscheinen diese Modelle im Sinne der in Kap 4.1 festgelegten Vorgehensweise und der EN 338 Abschnitt 6.2.2 ungeeignet.



**Bild 3:**

5%-Fraktile bzw. Minimalwert der Biegefestigkeit des Sortierergebnisses nach Modell 4/B  
5%-Fraktile gekennzeichnet\*



**Bild 4:**

5%-Fraktile bzw. Minimalwert der Zugfestigkeit des Sortierergebnisses nach Modell 4/B  
5%-Fraktile gekennzeichnet\*

In der Anlage (G-2 bis G-13) sind die detaillierten Auswertungen der Sortiererergebnisse von Modell 4/B und zum Vergleich von Modell 12/B auf jeweils 6 Seiten dargestellt. Die Bilder auf den ersten zwei Seiten zeigen die Abhängigkeit der Biege- und Zugfestigkeit vom maschinellen Sortierparameter. Auf den weiteren zwei Seiten ist dieselbe Abhängigkeit getrennt nach Sortierklassen der Sortierung V2 dargestellt. Die Tabellen auf den folgenden zwei Seiten enthalten u.a. die 5%-Fraktile der Biege – und Zugfestigkeit, den Mittelwert des dynamischen E-Moduls und die 5%-Fraktile der Rohdichte nach EN 408 (12%). Diese Werte sind für jede Reihe und das Kollektiv „Brettlamellen“ angegeben.

#### 4.4 Unschärfe der Festigkeitssortierung

Sowohl maschinelle Festigkeits- als auch visuelle Sortierung sind in gewissen Grenzen einer Unschärfe unterworfen. Diese macht sich bei der maschinellen Festigkeitssortierung unter anderem in Form von Schwankungen bemerkbar, denen der Zahlenwert des maschinellen Sortierparameters bei mehrmaliger Wiederholung des Sortiervorgangs unterworfen ist. Diese Schwankungen sind in der Regel sehr gering und ihr Einfluss auf das Sortiererergebnis ist unbedeutend. Sie sollen daher an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden. Naheliegend ist aber eine vergleichsweise große Unschärfe im Bereich der visuellen Sortierung.

Von Interesse ist also die mögliche Veränderung des Sortiererergebnisses – charakteristische Festigkeitswerte und Ausbeute – wenn die visuelle Sortierung unter praktischen Bedingungen, wie z. B. hohem Holzdurchsatz und subjektiver Einschätzung der festigkeitsrelevanten Sortierkriterien durch die Sortierer, durchgeführt wird. In diesem Zusammenhang kann das Problem einer ungenauen visuellen Sortierung durch zwei Grenzfälle beschrieben werden, die zu einem mangelhaften Sortiererergebnis führen würden.

1. Es werden zu viele Schnitthölzer mit Biege- bzw. Zugfestigkeiten oberhalb der erforderlichen 5%-Fraktile für C35 in die Sortierklasse S7/V2 und Ausschuss entgegen der ordnungsgemäßen Anwendung der Sortierregeln eingestuft. Gleichzeitig aber würden die Zahlenwerte des Sortierparameters der Schnitthölzer den erforderlichen Grenzwert für die maschinelle Festigkeitssortierung übersteigen.
2. Es verbleiben Schnitthölzer, die eigentlich der Sortierklasse S7/V2 und des Ausschusses zugeordnet werden müssten, im Sortiererergebnis. Diese weisen Biege- bzw. Zugfestigkeiten unterhalb der für C35 erforderlichen 5%-Fraktile auf, auch deren maschinelle Sortierparameter würden bei der maschinellen Sortierung den erforderlichen Grenzwert übertreffen.

In beiden Fällen würde sich der gerade noch zulässige Verhältniswert (= 0,05) von Anzahl Schnitthölzer mit Festigkeiten unterhalb der erf. 5%-Fraktile zu Ausbeute vergrößern. In der Regel geht damit ein Absinken der 5%-Fraktile der Festigkeit einher.

Am Beispiel des Sortierergebnisses für das Modell 12/BK sei das Problem verdeutlicht. Der völlige Verzicht auf die visuelle Sortierung V2 entspräche o.g. Punkt 2 und würde auf das in Tabelle 6 dargestellte Sortierergebnis führen. Zum Vergleich ist in der Zeile darunter das entsprechende Sortierergebnis aus Tabelle 4, Zeile 12 nochmals angegeben, wenn eine Sortierung V2 durchgeführt wird. Der Einfluss einer Ungenauigkeit wie in Punkt 1 beschrieben würde das Ergebnis noch weiter verschlechtern. Aus der Gegenüberstellung der 5%-Fraktilen geht klar hervor, dass der Verzicht auf die visuelle Sortierung V2 zu nicht ausreichenden charakteristischen Festigkeitswerten bei den Gesamtkollektiven führt. Beim Kollektiv „Brettlamellen“ ist eine zu geringe charakteristische Zugfestigkeit die Folge.

**Tabelle 6:** Vergleichende Gegenüberstellung der 5%-Fraktilen und Ausbeuten:

1. Nur maschinelle Festigkeitssortierung
2. Maschinelle Festigkeitssortierung + visuelle Sortierung V2

Modelle -/BK	maschinell messbare Eigenschaften					Grenzwert [N/mm <sup>2</sup> ]	Anpassungsschritt: Erreichen der charakteristischen Biegefestigkeit von C35 für alle Kollektive				zugehöriger Überprüfungsschritt: Ermittlung der 5%-Fraktilen der Zugfestigkeit			
	Breite	Dicke d / Höhe h	Bruttofordichte	dynamischer E-Modul	dyn. E-Modul (frisches Holz)		Alle Kollektive [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	Kollektiv Brettlamellen 5%-Fraktile [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	Kollektiv Kanthölzer 5%-Fraktile [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	im Modell berücksichtigt	Alle Kollektive 5%-Fraktile [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	Kollektiv Brettlamellen 5%-Fraktile [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	Kollektiv Kanthölzer 5%-Fraktile [N/mm <sup>2</sup> ]/Stk.	Zugfestigkeiten
12 <sup>m</sup> )	x	x	x	x		48	33,9/209	35,9/159	31,7/50	441	18,8/163	18,3/120	35,2/43	383
12 <sup>mv</sup> )	x	x	x	x		48	36,1/191	38,4/147	31,3/44	441	22,5/145	21,1/104	35,4/41	383

<sup>m</sup>) Maschinelle Festigkeitssortierung  
<sup>mv</sup>) Maschinelle Festigkeitssortierung + visueller Sortierung V2, siehe Tabelle 4, Zeile 12

Für den Anwender eines kombinierten Sortierverfahrens wird von Interesse sein, inwieweit seine individuellen betrieblichen Voraussetzungen (z.B. eingesetztes Personal für die visuelle Sortierung und Maschinenbedienung, Einschnitt, Sägewerkstechnologie oder Rundholzlieferungen aus bestimmten Wuchsgebieten) das Sortierergebnis beeinflussen.

Bei der Entwicklung des kombinierten Sortierverfahrens wurden individuelle betriebliche Bedingungen durch eine repräsentative Entnahme des Untersuchungsmaterials nur anteilig erfasst und die visuelle Sortierung nach E DIN 4074 T1 exakt und weitgehend

objektiv im Labor durchgeführt. Daher soll an dieser Stelle erwähnt werden, dass die Anwendbarkeit des kombinierten Sortierverfahrens in einem bestimmten Betrieb bei Einführung des Verfahrens mit 40 Biegeversuchen einmalig unter Beweis gestellt wird. Im Rahmen der Anfangsprüfung nach E DIN 4074 T4 sind diese am klassifizierten Schnittholz durchzuführen. Darüber hinaus dienen jährliche Prüfungen nach E DIN 4074 T4 dem Nachweis, dass die erforderlichen Voraussetzungen für die Anwendung des kombinierten Sortierverfahrens erfüllt sind.

#### 4.5 Einfluss von Kantenflächenästen

Unter Verwendung von Modell 12/BK wird abschließend noch auszugsweise das Sortierergebnis für den Fall angegeben, dass eine Sortierung der Vorstufe V4 (zusätzliche Berücksichtigung von Kantenflächenästen) durchgeführt wird. In Abgrenzung zur Vorstufensortierung V3, die lediglich eine Umverteilung der Brettlamellen von Sortierklasse S13/V2 nach S10/V2 zur Folge hat und daher in Hinblick auf die Sortierergebnisse in Kap. 4.2 gleichwertig ist, hat eine Vorstufensortierung V4 möglicherweise auch eine Umverteilung von S13/V2 und S10/V2 jeweils nach S7/V2 zur Folge. Mit einem Grenzwert für den maschinellen Sortierparameter von  $48 \text{ N/mm}^2$  nach Modell 12/BK ergibt sich im Vergleich zu den Werten in Tabelle 4, Zeile 12, Spalte 9 und 13 für Brettlamellen folgendes Sortierergebnis:

5%-Fraktile der Biegefestigkeit / Ausbeute:  $37,3 \text{ N/mm}^2 / 137 \text{ Stk.}$

5%-Fraktile der Zugfestigkeit / Ausbeute:  $21,4 \text{ N/mm}^2 / 101 \text{ Stk.}$

Die Verschärfung der visuellen Sortierung durch die Berücksichtigung von Kantenflächenästen macht sich insbesondere in einem Rückgang der Ausbeute bezüglich der Biegefestigkeit bemerkbar. Da sich allerdings die Fraktilwerte nicht verbessern, was bei einer strengeren visuellen Sortierung zu erwarten wäre, kann mit den untersuchten Brettlamellen keine eindeutige Trendänderung im Sortierergebnis gezeigt werden. Es kann allerdings belegt werden, dass Modell 12/BK in Kombination mit der Sortierung V4 geeignet ist, Bretter und Bohlen, die nicht ausschließlich für die BSH-Herstellung bestimmt sind, in die Festigkeitsklasse C35 einzustufen.

## 5 Zusammenfassung

Es konnte die prinzipielle Eignung von drei unterschiedlichen kombinierten Sortierverfahren für die Klassifizierung von Schnittholz in die Festigkeitsklasse C35 anhand von Sortierergebnissen belegt werden. Diese Verfahren sind Kombinationen, die zum einen aus einer maschinellen Festigkeitssortierung, die 1. den dynamischen E-Modul von frischem Holz, 2. denjenigen von trockenem Holz oder 3. die Bruttorehdichte von jedem Stück Schnittholz zur Festigkeitsvorhersage erfordert, und zum anderen aus einer visuellen Sortierung in Anlehnung an E DIN 4074 T1 bestehen.

Kombinierte Verfahren, die auf dem dynamischen E-Modul beruhen, eignen sich für die gemeinsame Festigkeitssortierung von Brettlamellen und Kanthölzern in die Festigkeitsklasse C35. Hierbei muss einschränkend gesagt werden, dass die geringen Ausbeuten an Kanthölzern in den untersuchten Sortierergebnissen die Ermittlung statistischer gesicherter Kennwerte nicht zulassen. Hier wäre noch weiteres Datenmaterial für Kanthölzer erforderlich.

Kombinierte Verfahren, deren maschinelle Sortierung unter anderem auf der Ermittlung der Bruttorehdichte beruht, sind für die Sortierung von Brettlamellen geeignet. Da die Biegefestigkeit mit der Bruttorehdichte der untersuchten Kanthölzer weniger gut korreliert ist als bei Brettlamellen, ist die Folge eine weniger gute Festigkeitsvorhersage für Kanthölzer.

Mit den Ergebnissen dieser Forschungsarbeit ist die Kombination von der visuellen Sortierung nach E DIN 4074, einem Verfahren mit langer Tradition und hohem Bekanntheitsgrad, und maschineller Festigkeitssortierung gelungen. Die anwendungsbezogene Aufbereitung der Forschungsergebnisse ermöglicht eine zügige praktische Umsetzung der kombinierten visuellen und maschinellen Festigkeitssortierung.

Die nach E DIN 4074 T4 vorgeschriebene Anfangsprüfung bei Einführung des kombinierten Verfahrens in einen Betrieb sowie jährliche Überprüfungen werden die Anwendbarkeit des kombinierten Sortierverfahrens unter praktischen und individuellen Betriebsbedingungen in Zukunft unter Beweis stellen.



## Literatur

Görlacher, R. (1984). Ein neues Messverfahren zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Holz. Holz als Roh- und Werkstoff. Vol. 42, S. 219-222.

Görlacher, R. (1990). Sortierung von Brettschichtholzlamellen nach DIN 4074 durch Messung von Longitudinalschwingungen. Bauingenieur. Vol. 65, S. 517-522.

Glos, P., Henrici, D. (2000). Sortierhilfen zur Anwendung der DIN 4074. Institut für Holzforschung, München

Gruber, R., (1992). Arbeitshilfen zu DIN 4074 (9/89) – Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit. Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg, Otto-Graf-Institut Stuttgart

## Zitierte Normen

E DIN 4074<sup>3</sup> Teil 1 und 4, Ausgabe Mai 2001. Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit

DIN EN 408, Ausgabe April 1996. Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften

DIN EN 338, Ausgabe Juli 1996. Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen

DIN EN 384, Ausgabe Juli 1996. Bauholz für tragende Zwecke – Bestimmung charakteristischer Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte

DIN 52 182, Ausgabe September 1976. Bestimmung der Rohdichte – Prüfung von Holz

Statistische Auswertung und grafische Aufbereitung der Daten mit dem Statistik-Analyse-System SAS Release 6.12 (1998). SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

---

<sup>3</sup> In den für die Forschungsarbeit relevanten Punkten besteht Übereinstimmung dieses Entwurfs mit dem Manuskript der DIN 4074 T1 und T4, Ausgabe August 2002. Einschränkung: Der Kantenflächenast wurde im Manuskript DIN 4074 T1, Ausgabe August 2002 in Schmalseitenast umbenannt.

## Abkürzungen und Definitionen

Breite  $b$ : Breite des Schnittholzes

Brettlamellen: Bretter und Bohlen, die für die BSH-Herstellung vorgesehen sind

Bruttorohdichte (von trockenem Holz): Rohdichte des Schnittholzes, ermittelt nach der werkseitigen Trocknung und bei einer Holzfeuchte von etwa 10-18%. Diese Holzfeuchte wurde stichprobenartig mittels elektrischer Widerstandsmessung bestimmt.

Bruttorohdichte von frischem Holz: Rohdichte des Schnittholzes, ermittelt vor der werkseitigen Trocknung und bei einer Holzfeuchte von über 30%. Diese Mindestholzfeuchte wurde stichprobenartig mittels elektrischer Widerstandsmessung bestimmt.

Dicke  $d$ : Dicke von Brettlamellen – das kleinere Querschnittsmaß bei flachkant-Biegeprüfung

Dynamischer Biege-E-Modul: An Prüfkörpern nach EN 408 mittels Biegeschwingungen bestimmt

Dynamischer Elastizitätsmodul: Durch Längsschwingungen und in Abhängigkeit von der Bruttorohdichte bestimmt.

Höhe  $h$ : Höhe von Kanthölzern – das größere Querschnittsmaß bei hochkant-Biegeprüfung

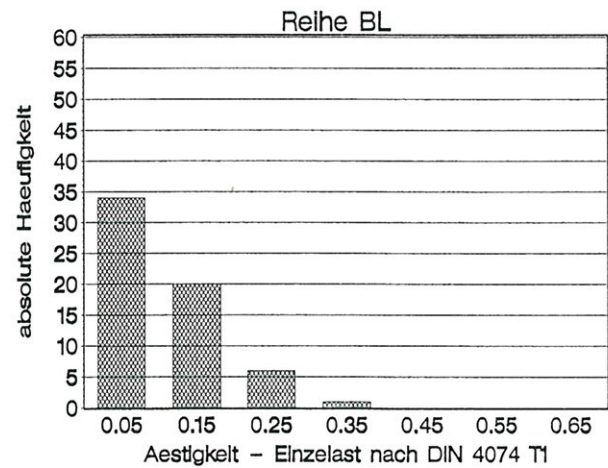
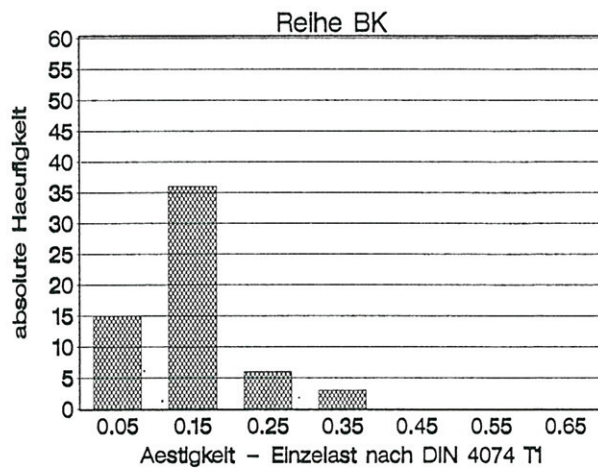
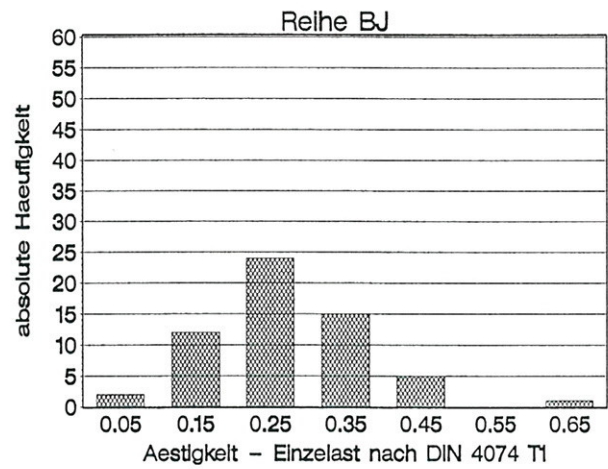
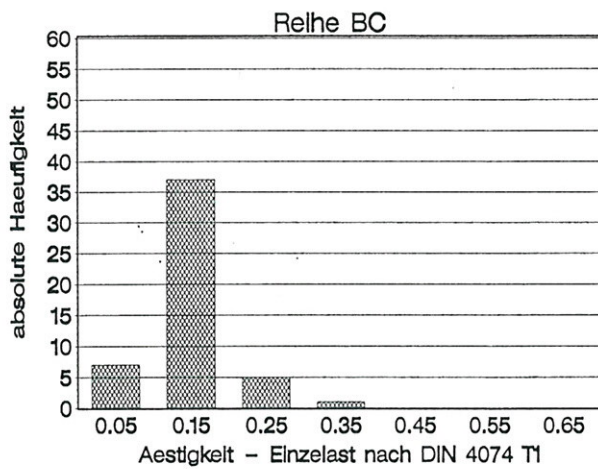
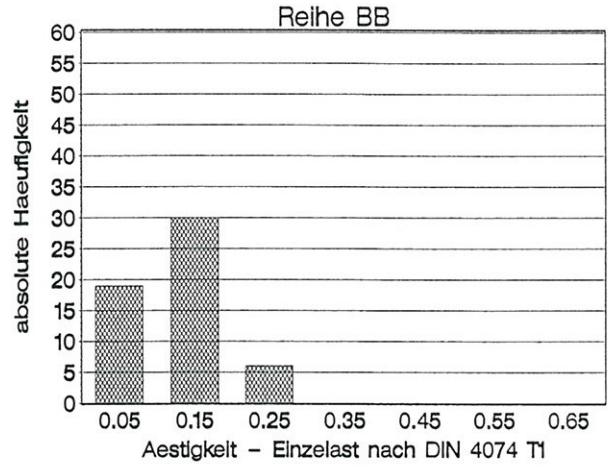
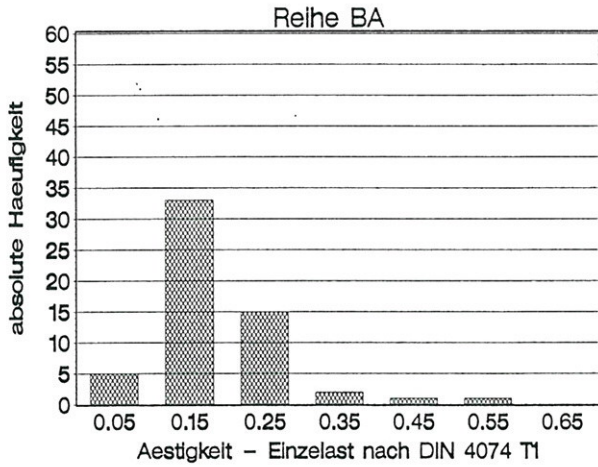
MASOPA: maschineller Sortierparameter

$f_{m,p}$  : bezeichnet den Zahlenwert des maschinellen Sortierparameters als Vorhersagewert für die Biegefestigkeit für ein bestimmtes Schnittholz

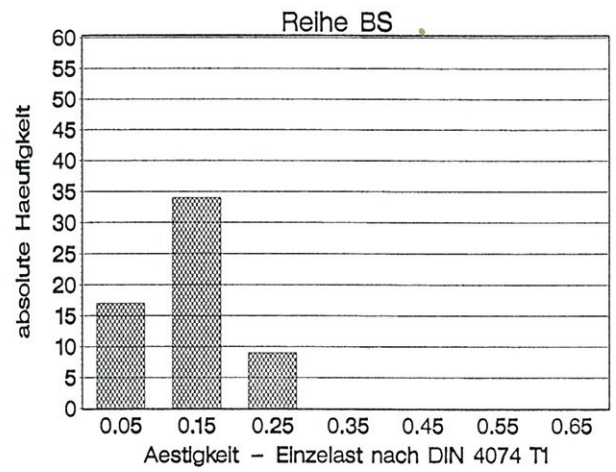
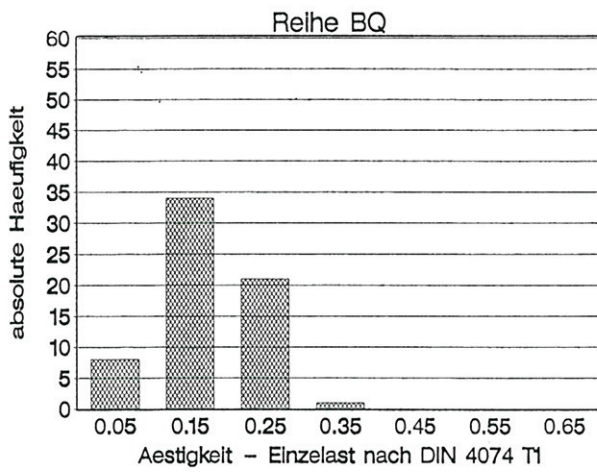
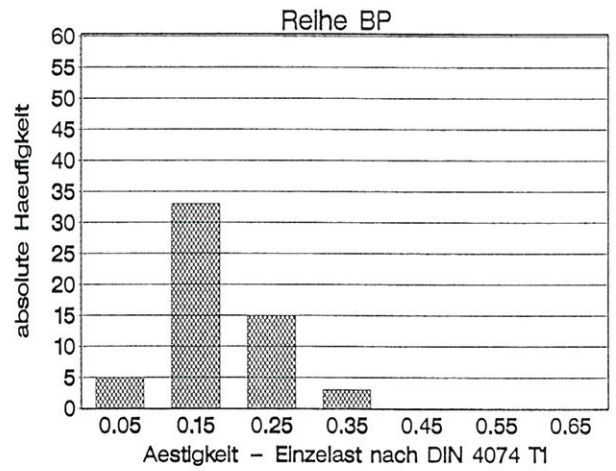
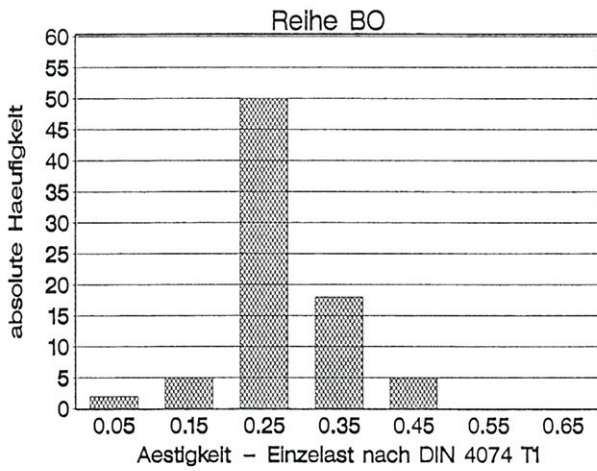
## Anlagen

Visuelle Sortierung	A-1 bis A-19
Maschinelle Sortierung	B-1 bis B-7
Biege- und Zugfestigkeit, E-Modul und Rohdichte	C-1 bis C-12
Anzahl der Beobachtungen	D-1 bis D-2
Vergleich der Materialeigenschaften	E-1
Regressionsmodelle für Brettlamellen und Kanthölzer gemeinsam	F-1 bis F-31
Regressionsmodelle für Brettlamellen alleine	G-1 bis G-13





**Bild A1:** Häufigkeitsdiagramme der Ästigkeiten für den Einzelast nach E DIN 4074 T1 von Brettlamellen



**Bild A1:** (Fortsetzung) Häufigkeitsdiagramme der Ästigkeiten für den Einzelast nach E DIN 4074 T1 von Brettlamellen

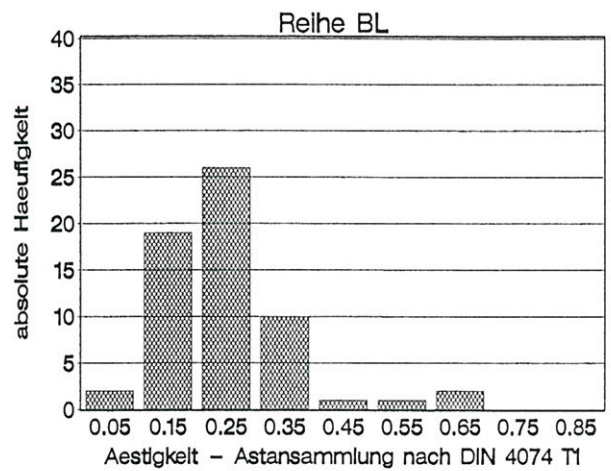
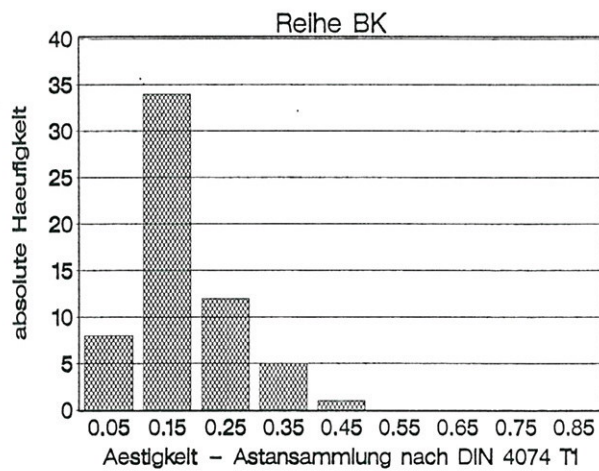
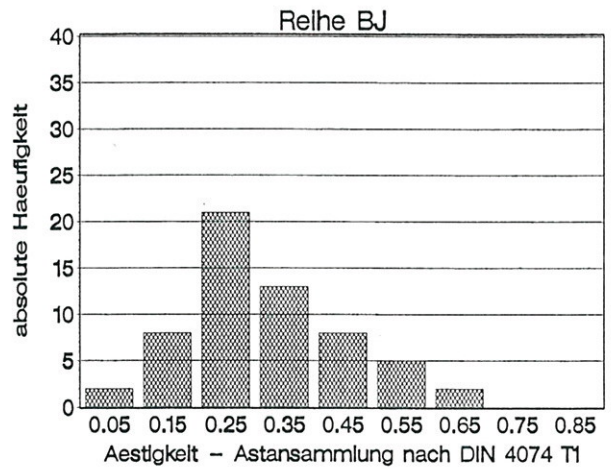
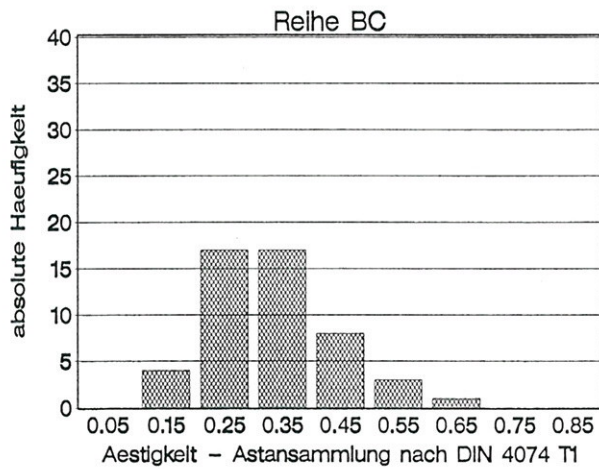
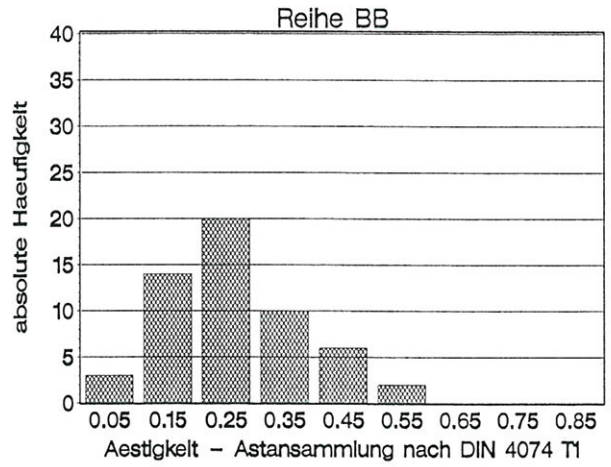
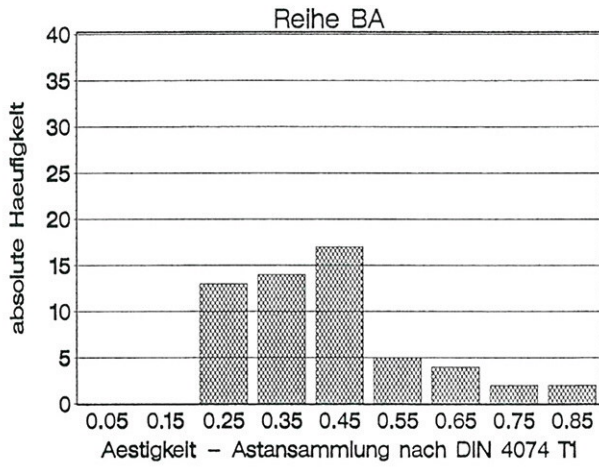
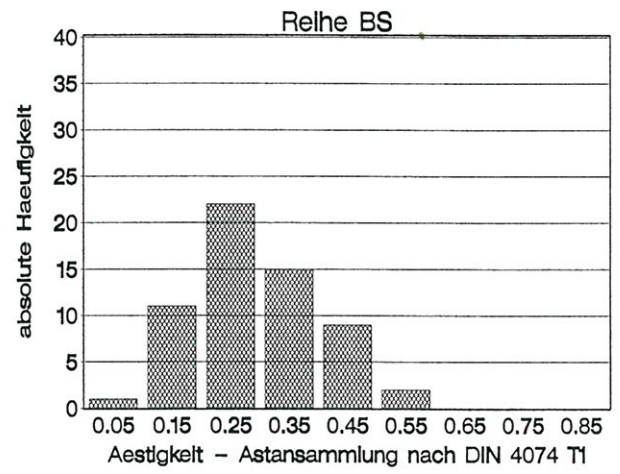
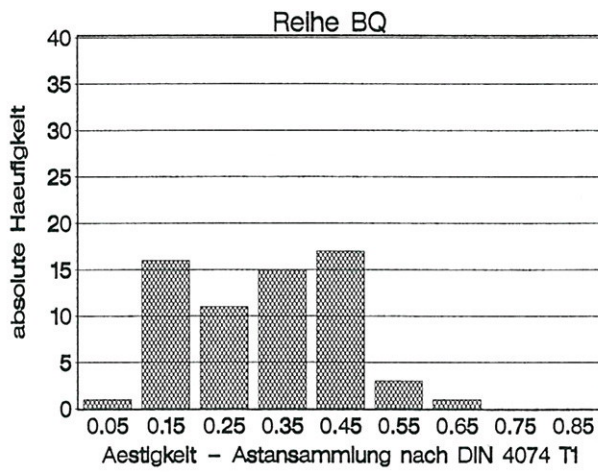
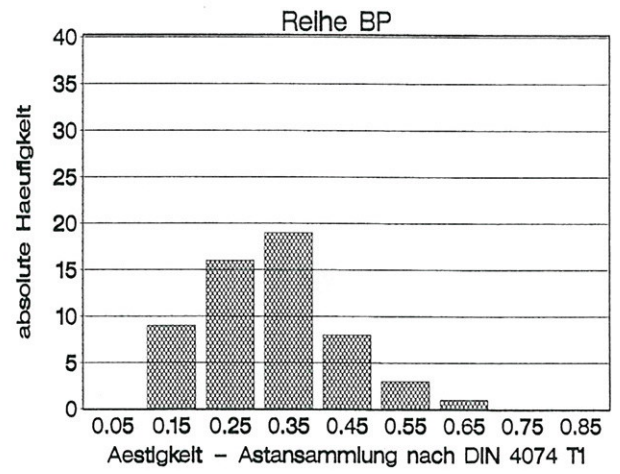
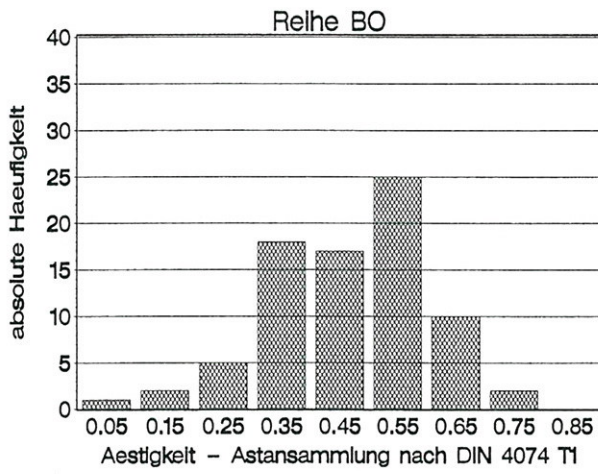
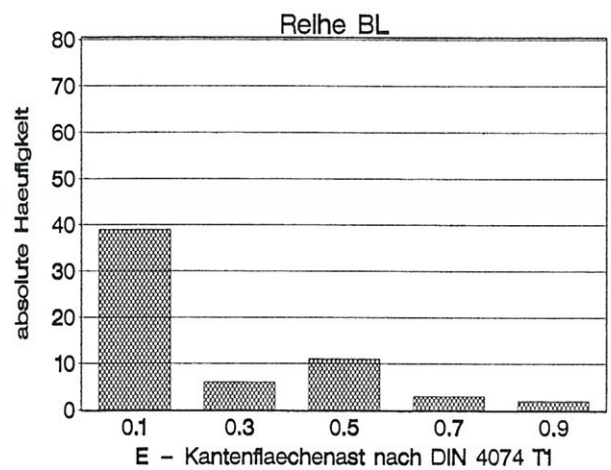
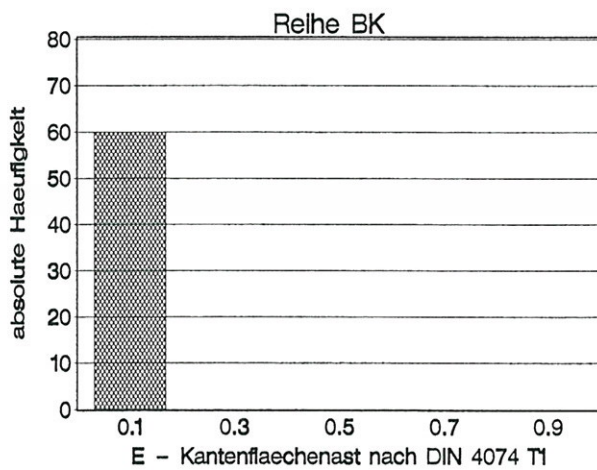
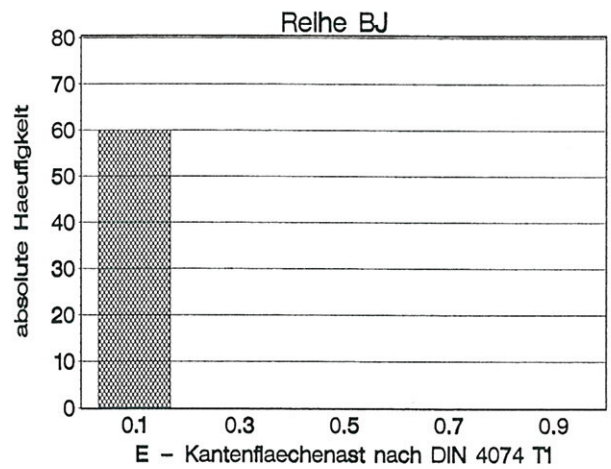
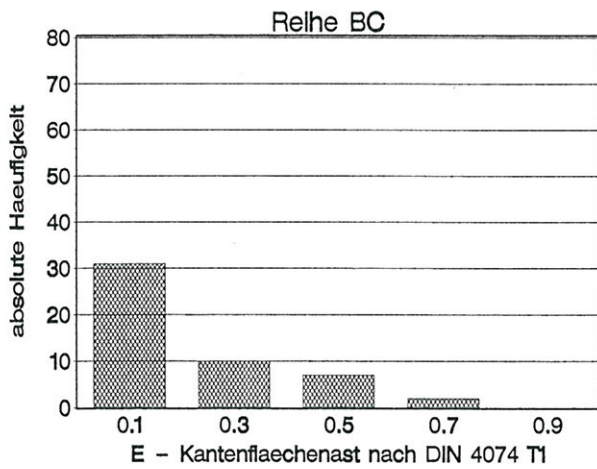
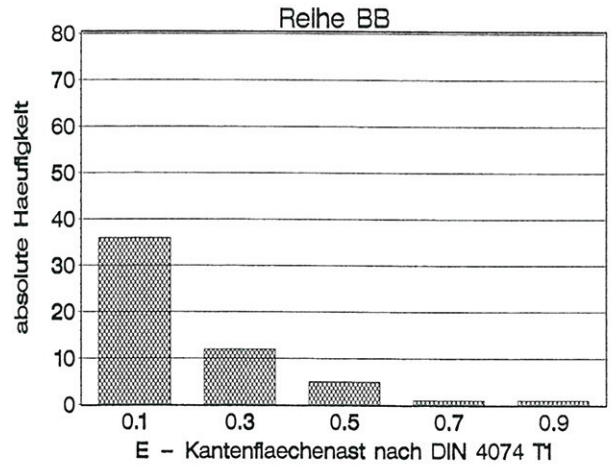
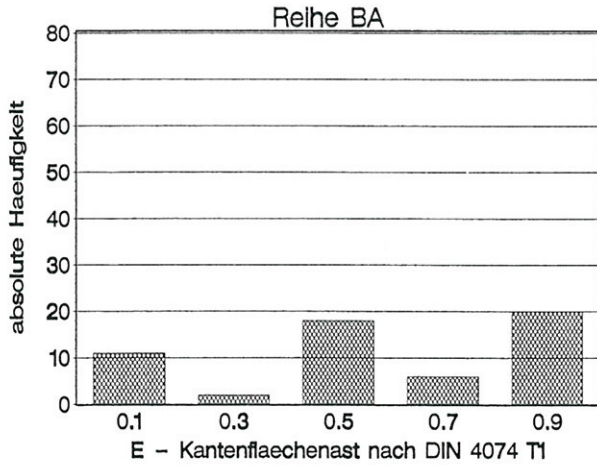


Bild A2: Häufigkeitsdiagramme der Ästigkeiten für die Astansammlung nach E DIN 4074 T1 von Brettlamellen

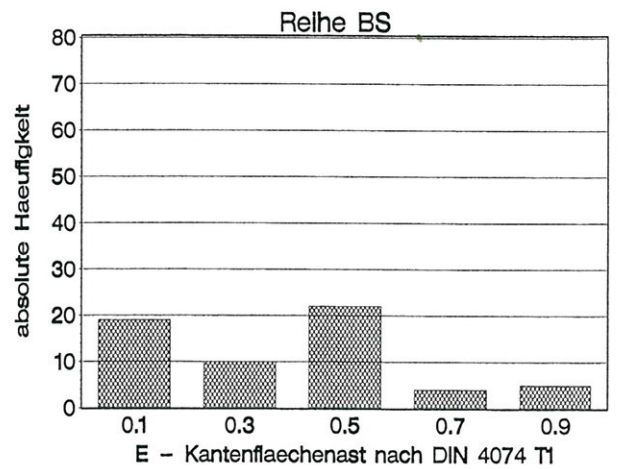
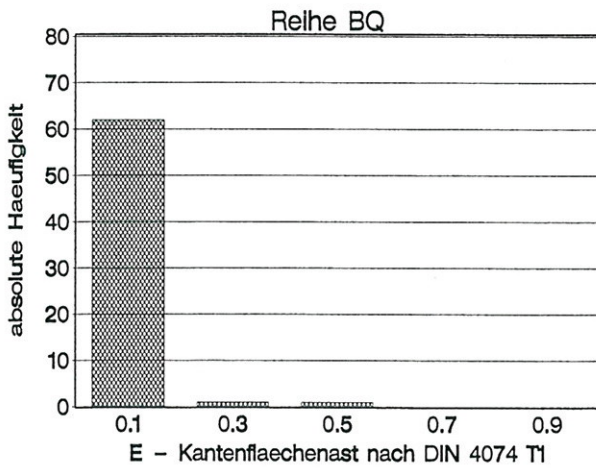
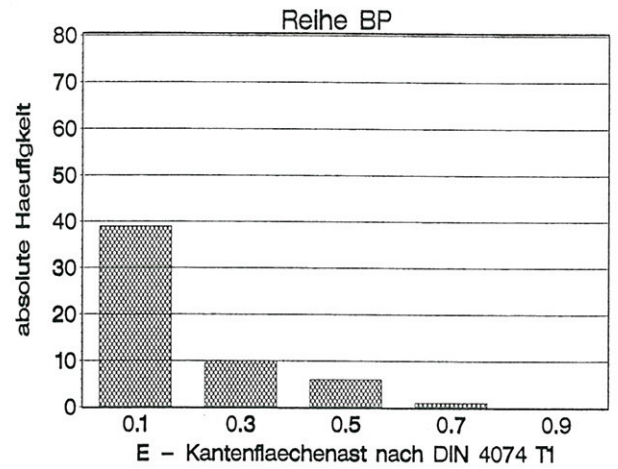
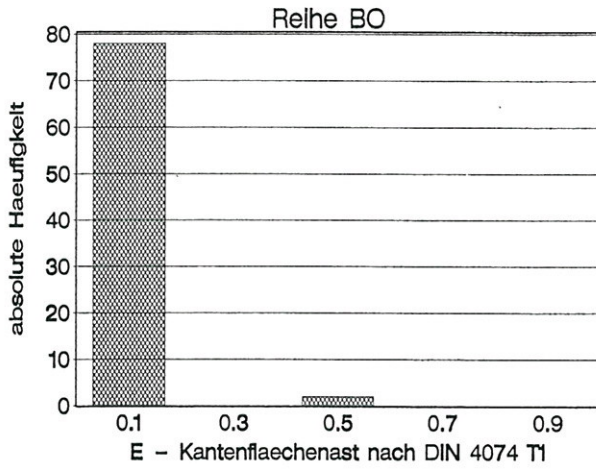


**Bild A2:** (Fortsetzung) Häufigkeitsdiagramme der Ästigkeiten für die **Astansammlung** nach E DIN 4074 T1 von Brettlamellen

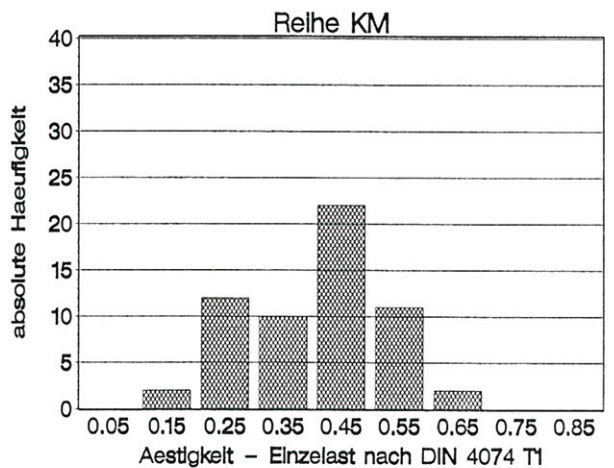
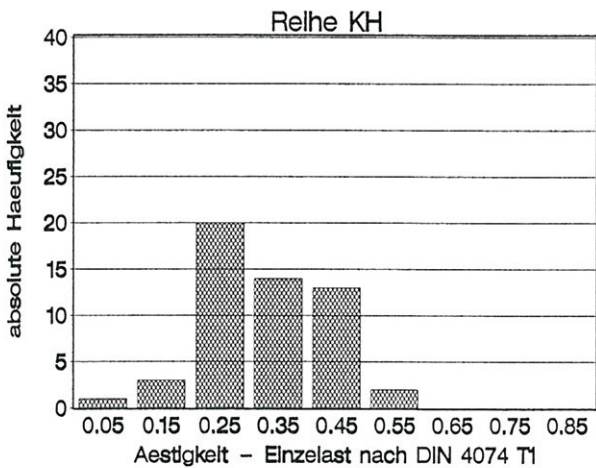
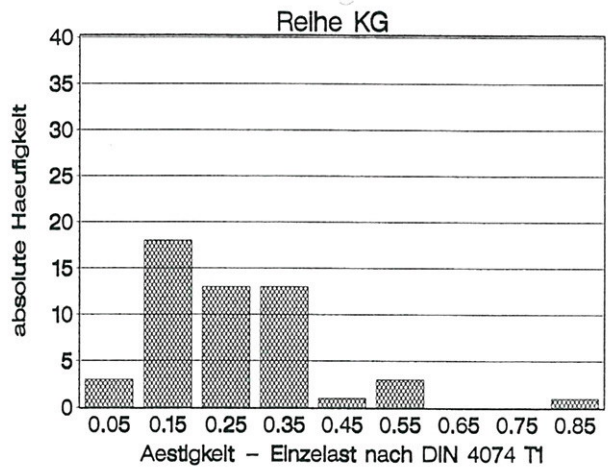
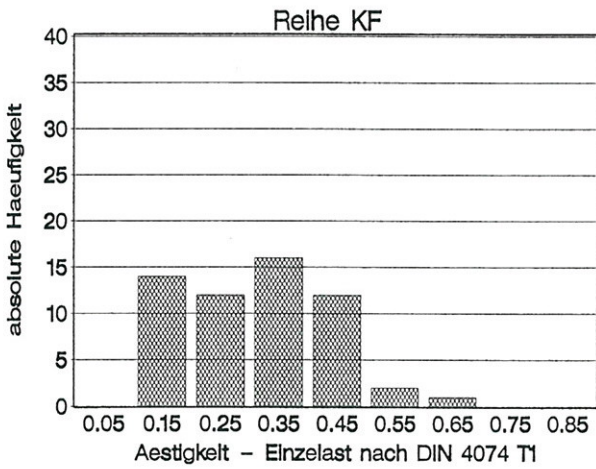
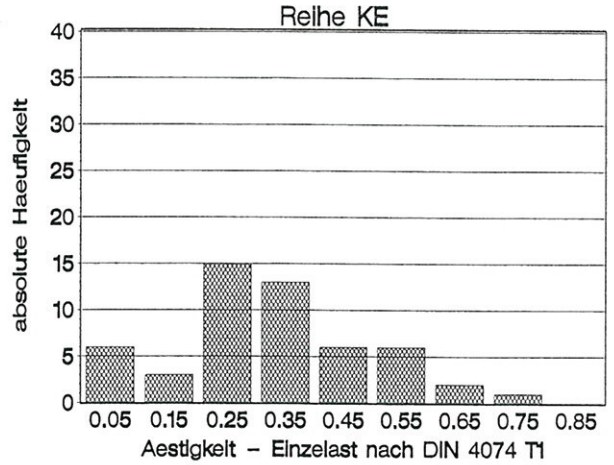
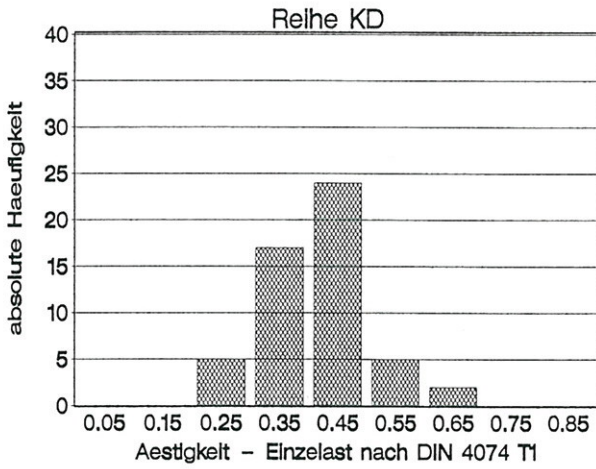




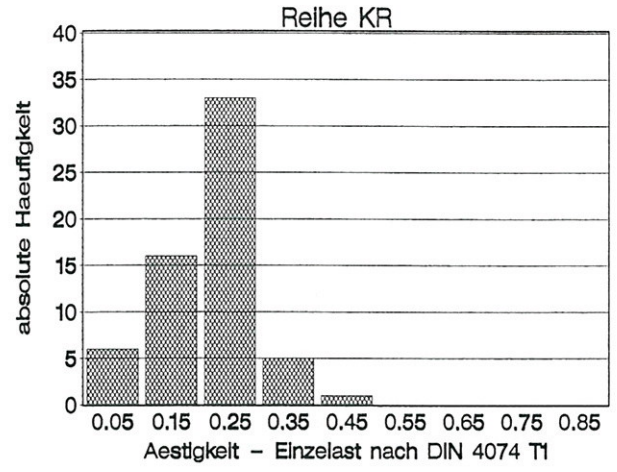
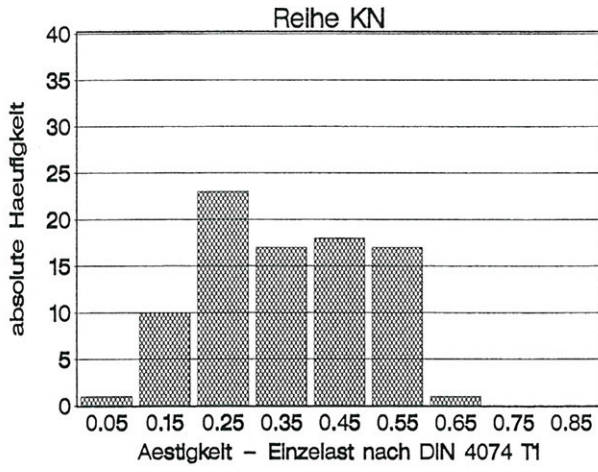
**Bild A3:** Häufigkeitsdiagramme des Verhältnisses E für **Kantenflächenäste** nach E DIN 4074 T1 von Brettlamellen



**Bild A3:** (Fortsetzung) Häufigkeitsdiagramme des Verhältnisses E für **Kantenflächenäste** nach E DIN 4074 T1 von Brettlamellen



**Bild A4:** Häufigkeitsdiagramme der Ästigkeiten für den Einzelast nach E DIN 4074 T1 von Kanthölzern



**Bild A4:** (Fortsetzung) Häufigkeitsdiagramme der Ästigkeiten für den **Einzelast** nach E DIN 4074 T1 von Kanthölzern

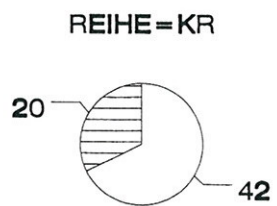
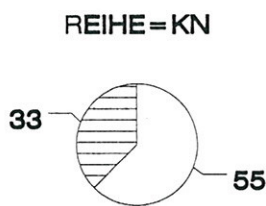
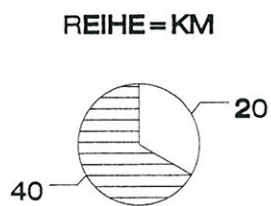
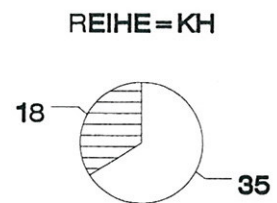
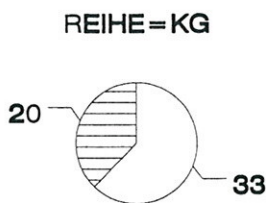
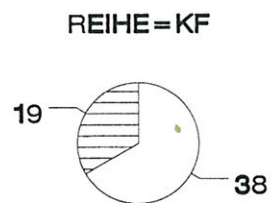
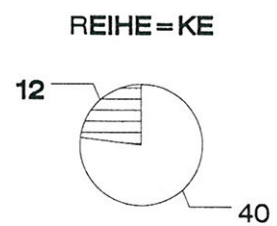
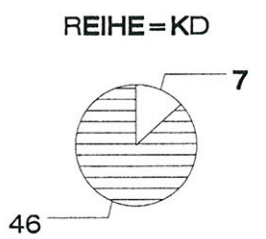
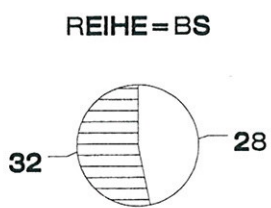
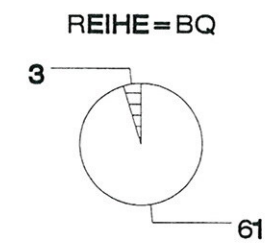
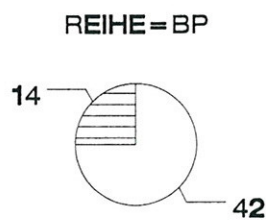
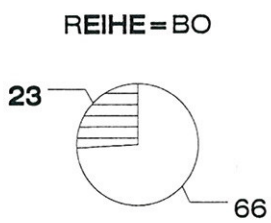
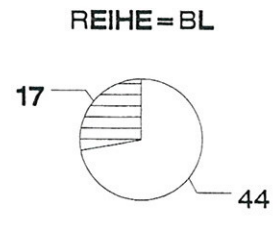
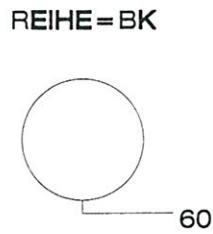
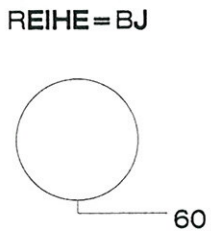
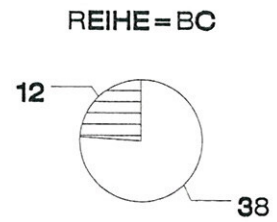
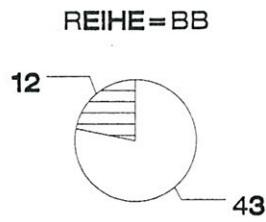
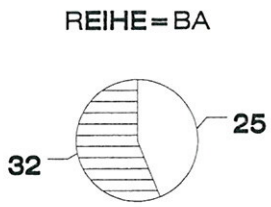


Bild A5: Vorhandensein der Markröhre bei Brettlamellen und Kanthölzern

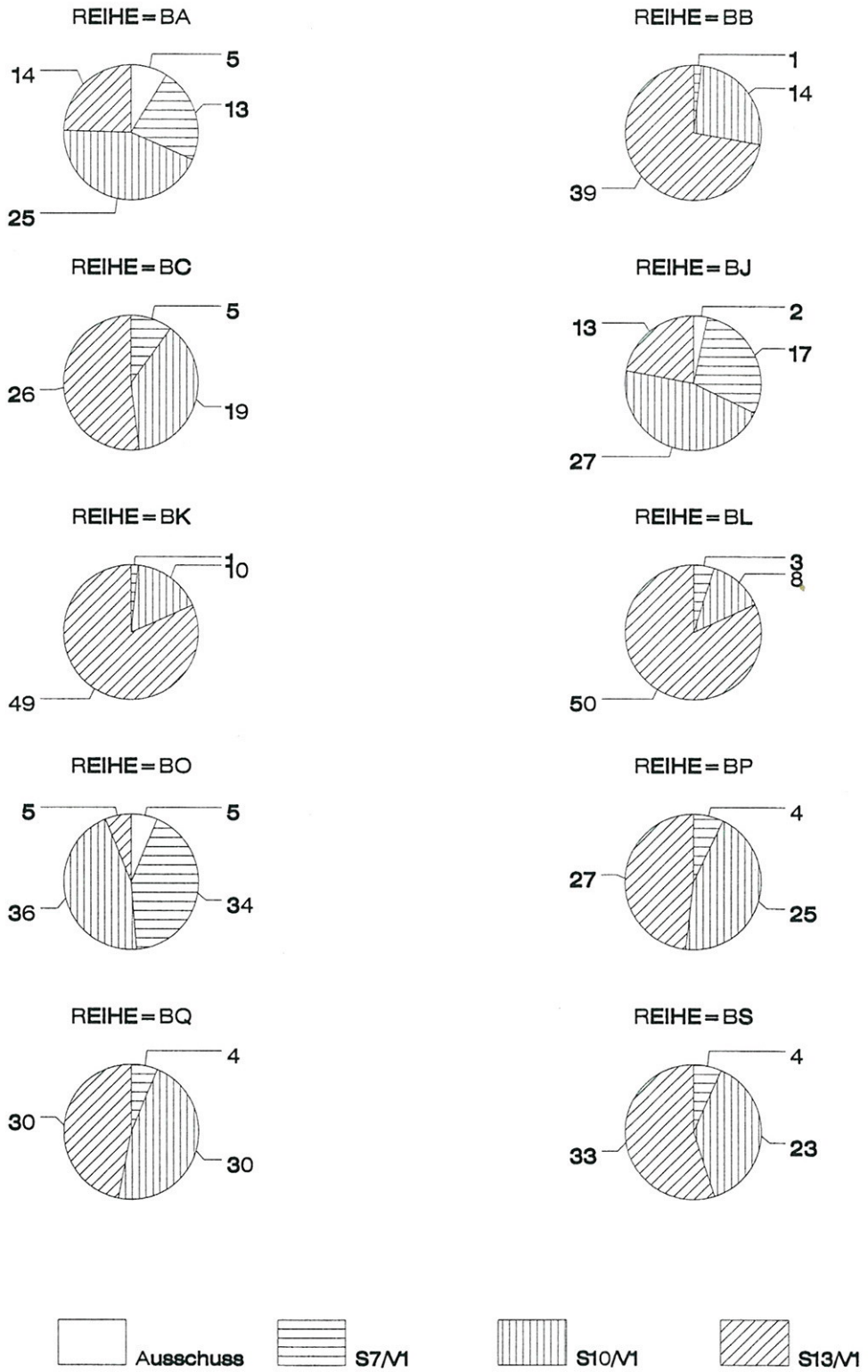
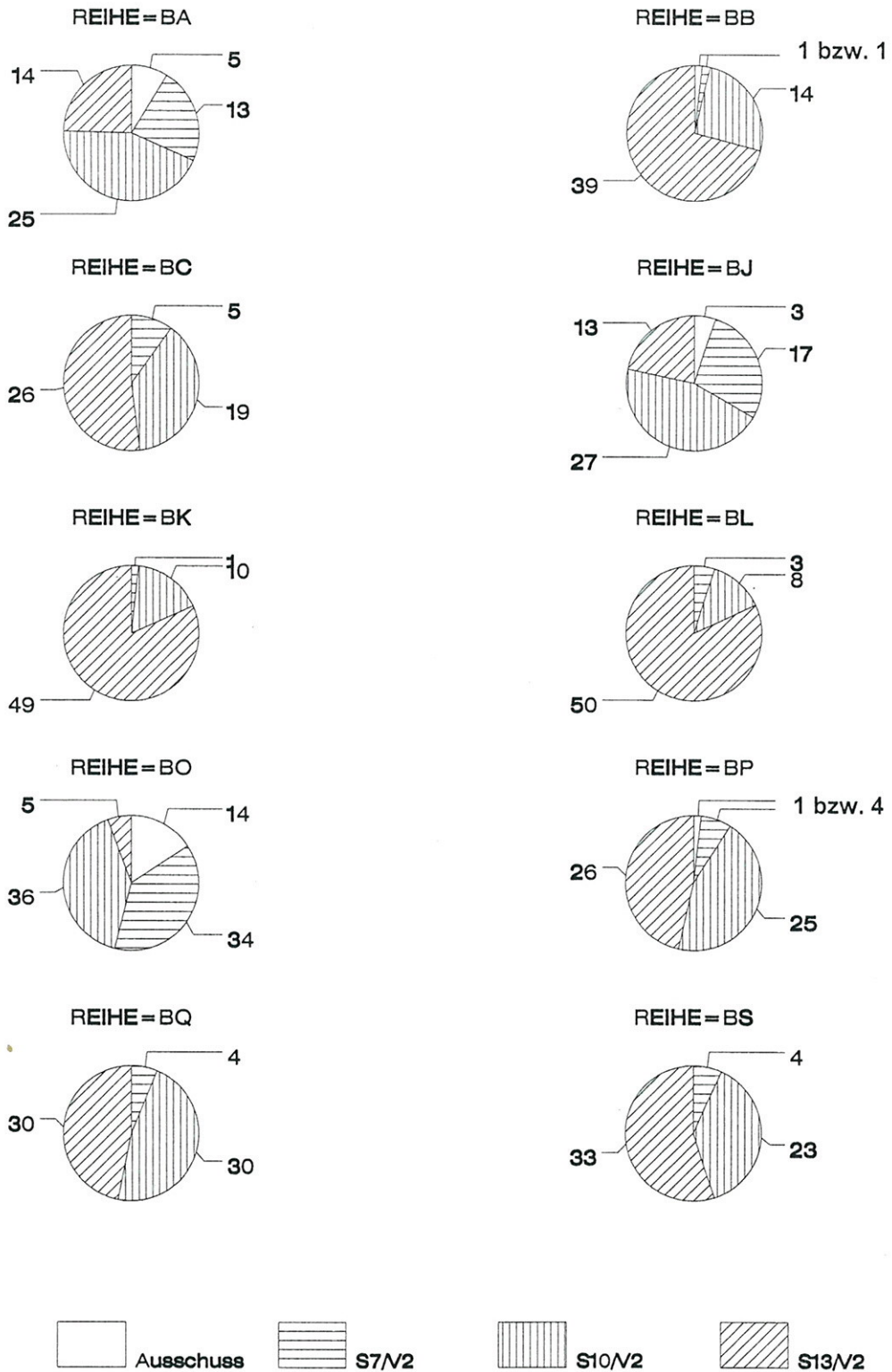
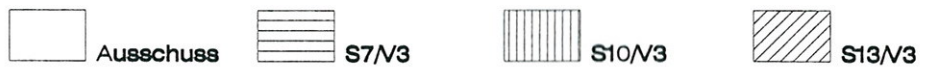
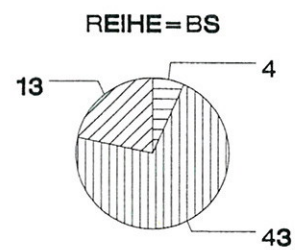
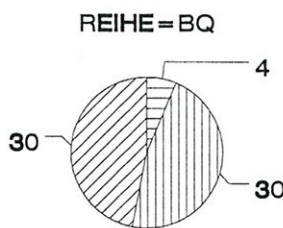
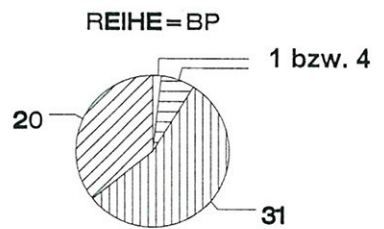
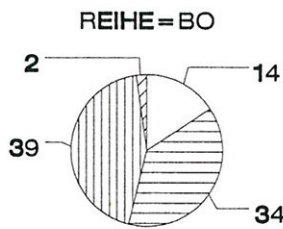
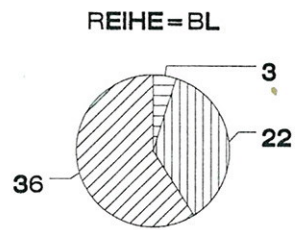
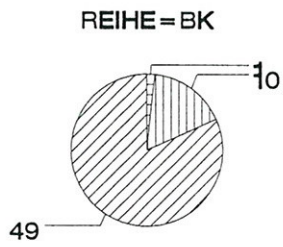
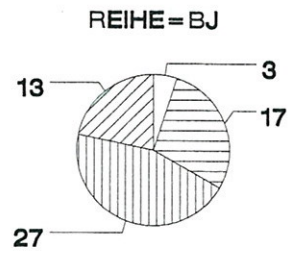
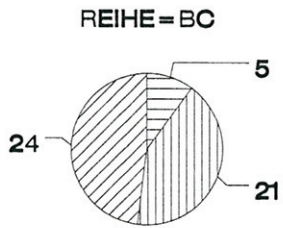
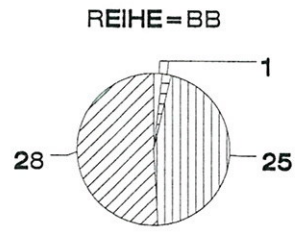
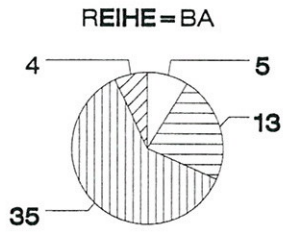


Bild A6: Zahlenmäßige Zusammensetzung der Sortierung V1 von Brettlamellen



**Bild A7:** Zahlenmäßige Zusammensetzung der Sortierung V2 von Brettlamellen



**Bild A8:** Zahlenmäßige Zusammensetzung der Sortierung V3 von Brettlamellen



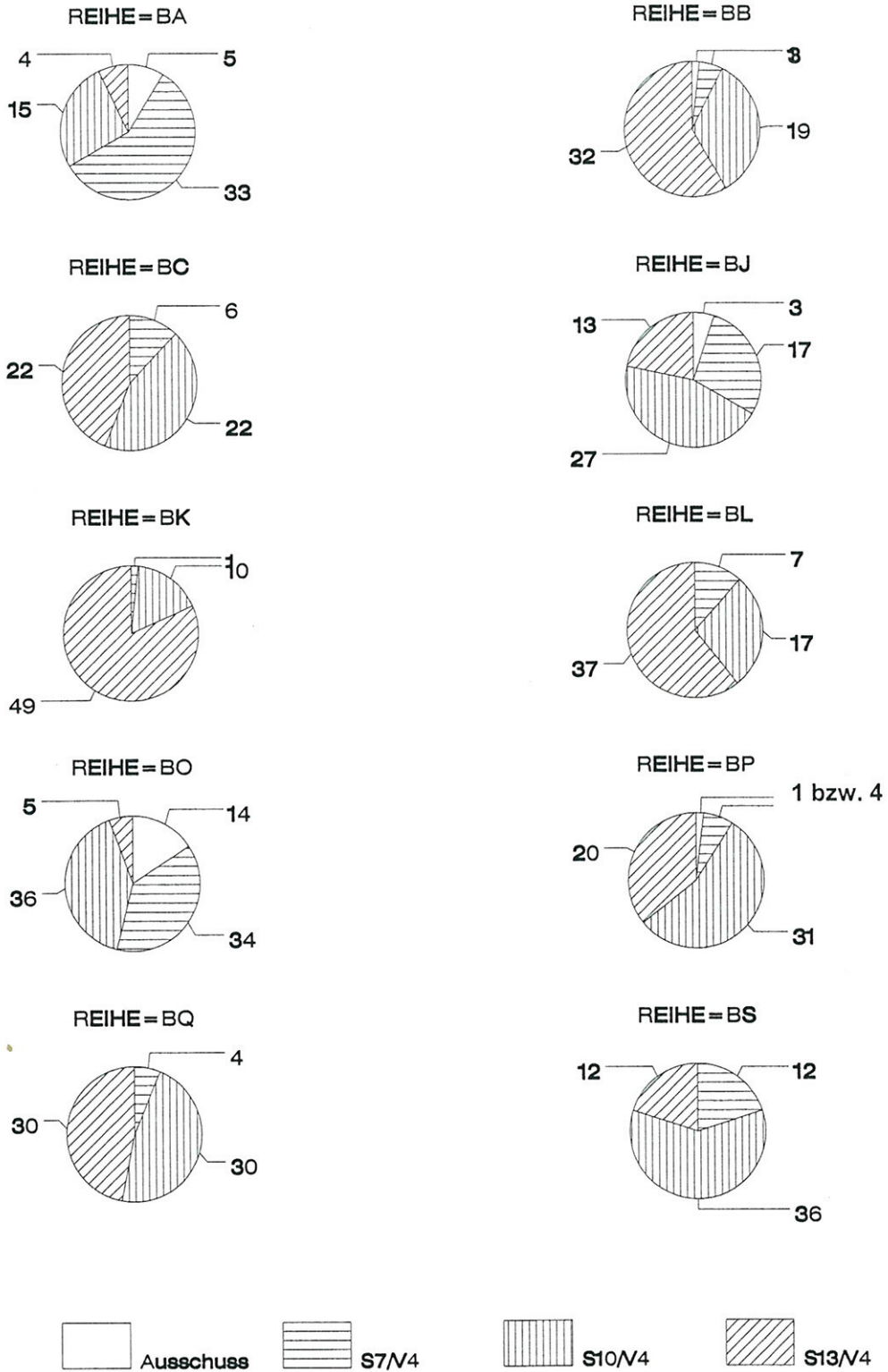


Bild A9: Zahlenmäßige Zusammensetzung der Sortierung V4 von Brettlamellen

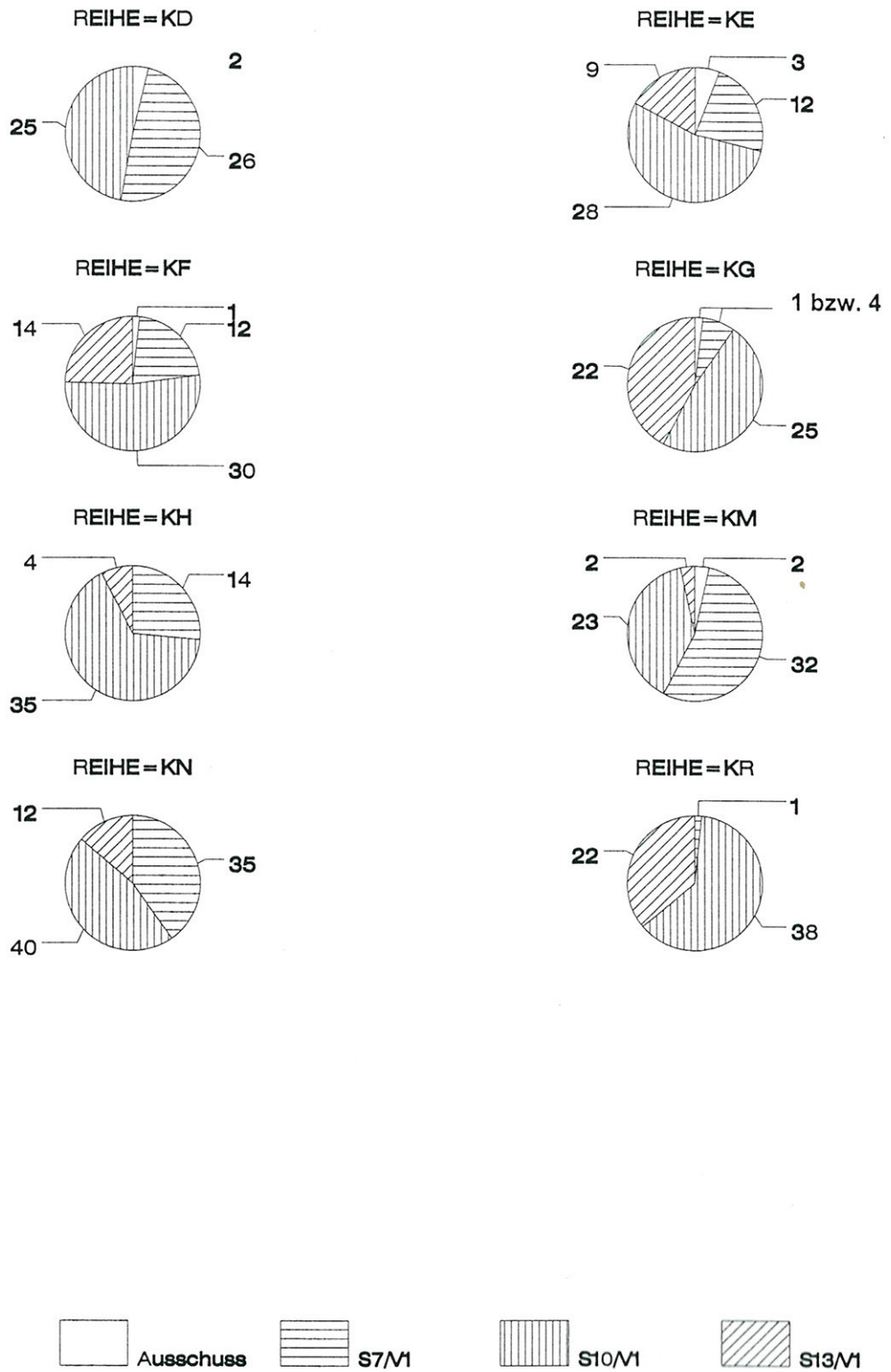
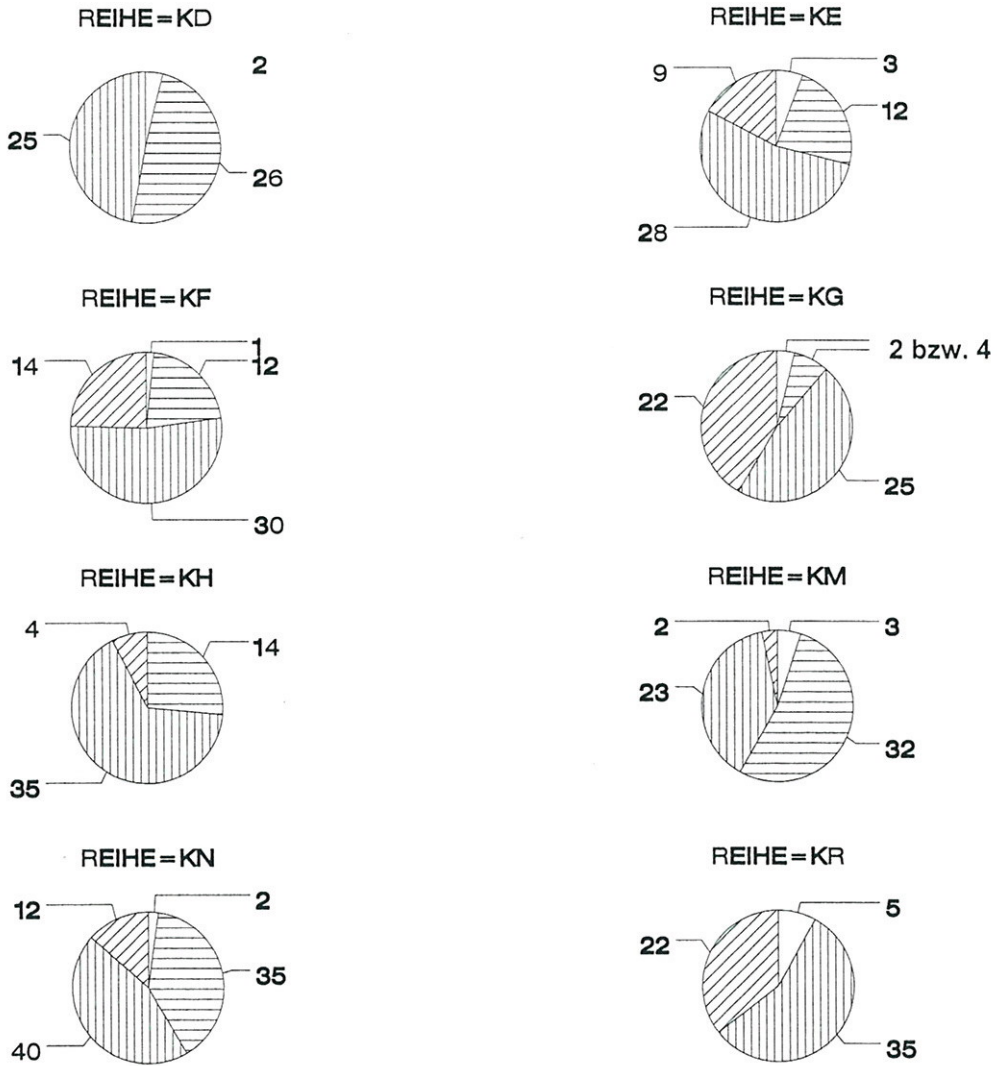
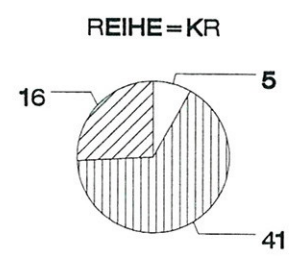
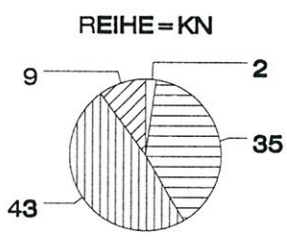
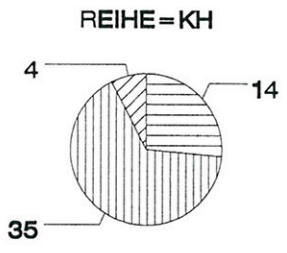
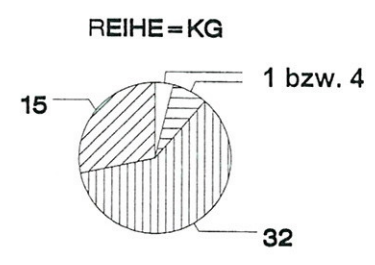
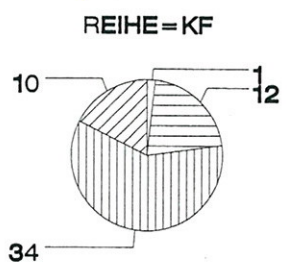
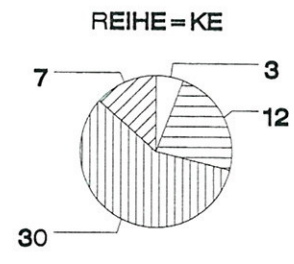
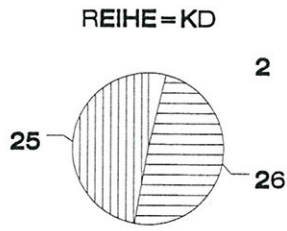


Bild A10: Zahlenmäßige Zusammensetzung der Sortierung V1 von Kanthölzern



**Bild A11:** Zahlenmäßige Zusammensetzung der Sortierung V2 von Kanthölzern



**Bild A12:** Zahlenmäßige Zusammensetzung des Sortierung V3 von Kanthölzern

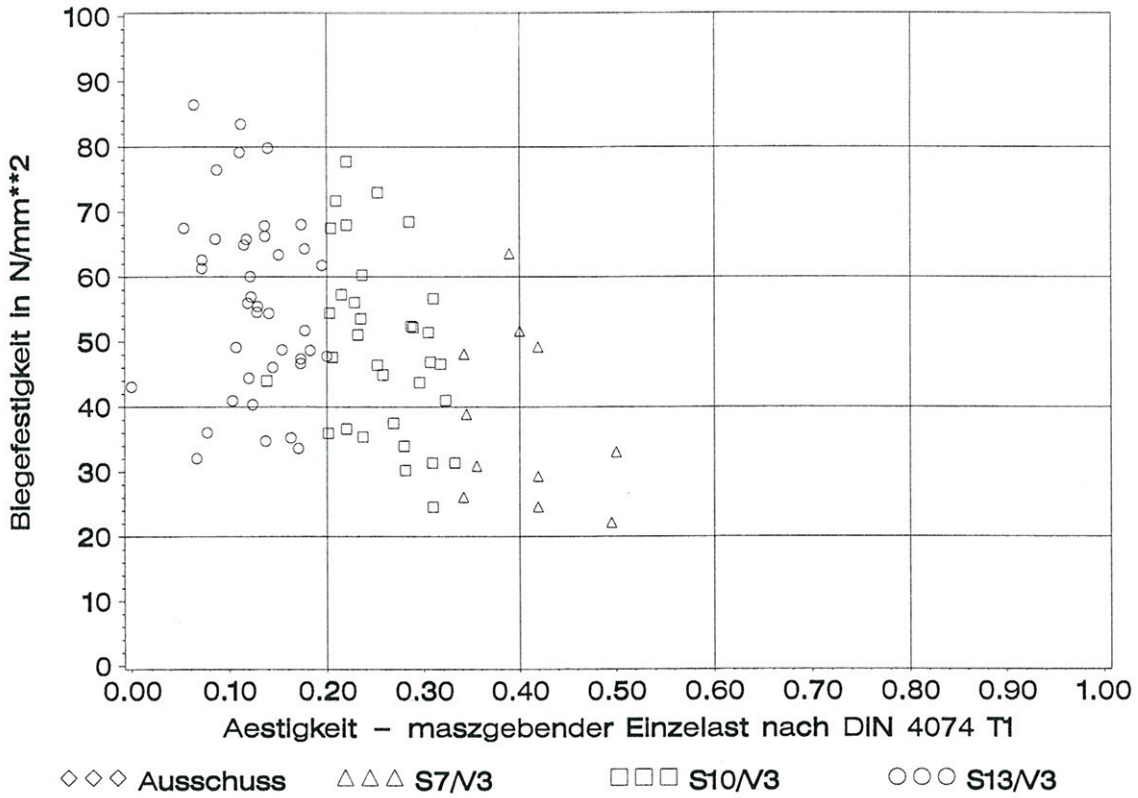


Bild A13: Sortierung V3: Biegefestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit von der Ästigkeit – Einzelast nach E DIN 4074 T1 maßgebend

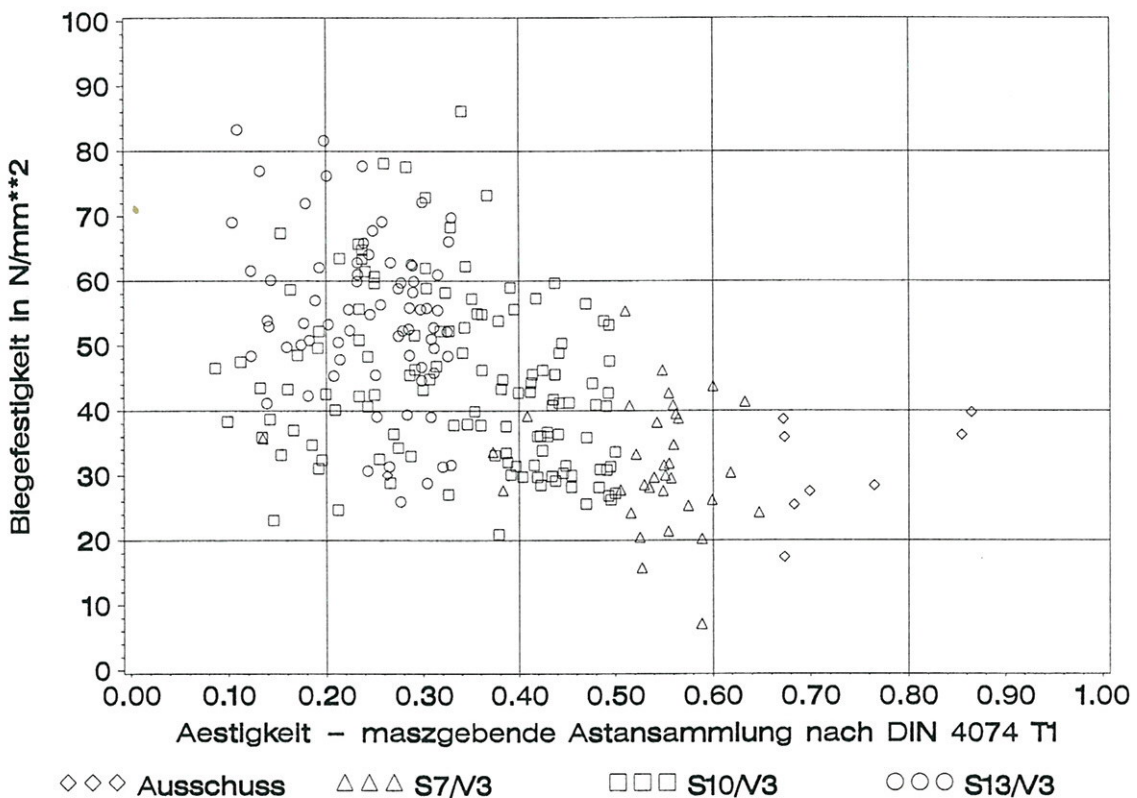


Bild A14: Sortierung V3: Biegefestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit von der Ästigkeit – Astansammlung nach E DIN 4074 T1 maßgebend

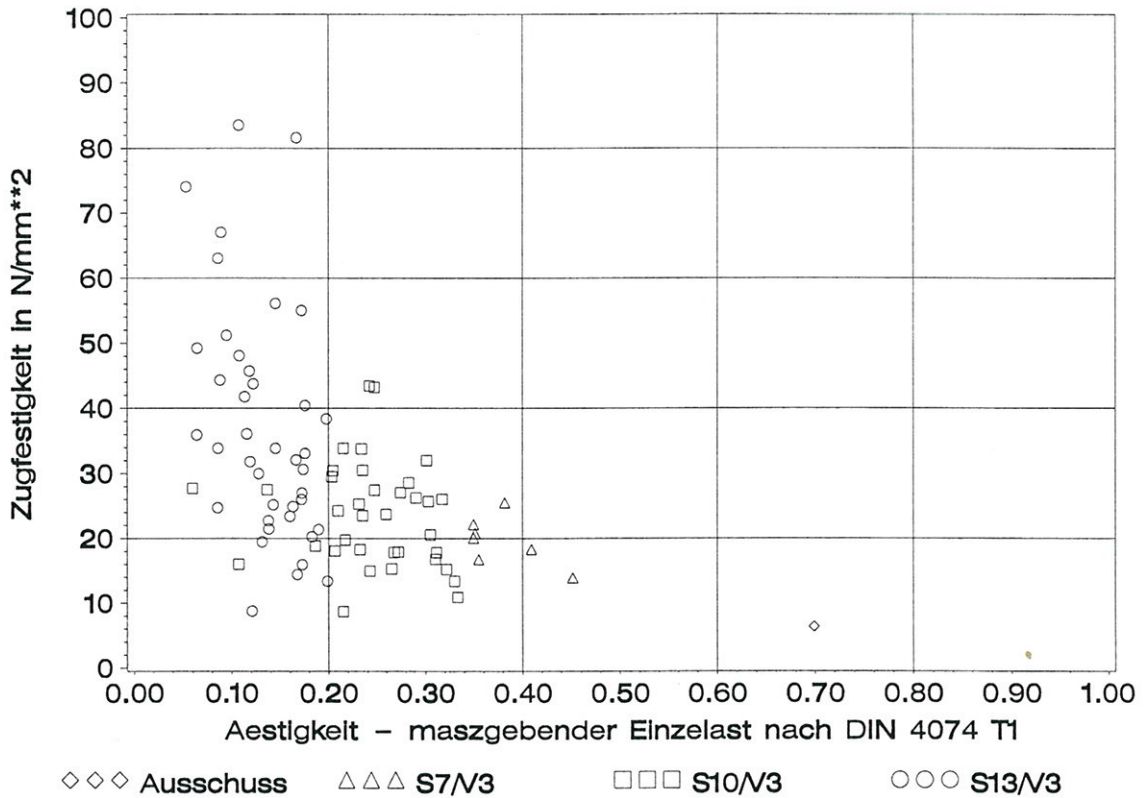


Bild A15: Sortierung V3: Zugfestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit von der Ästigkeit – Einzelast nach E DIN 4074 T1 maßgebend

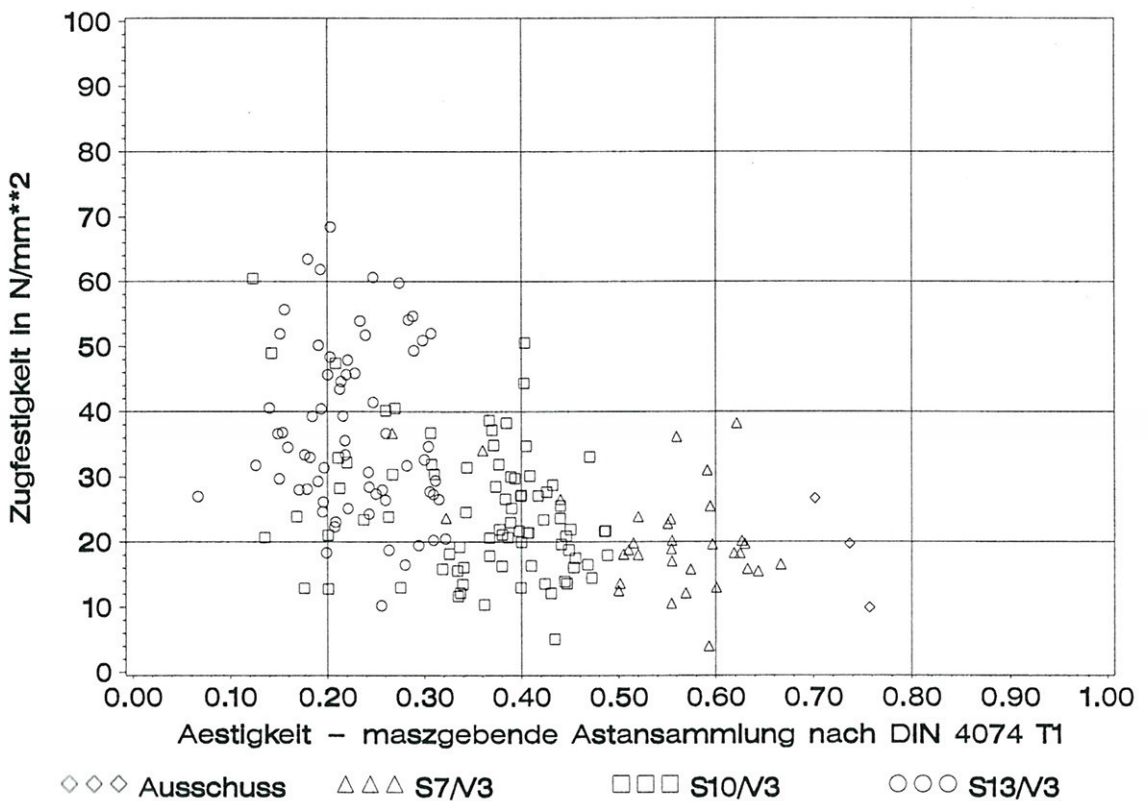


Bild A16: Sortierung V3: Zugfestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit von der Ästigkeit – Astansammlung nach E DIN 4074 T1 maßgebend

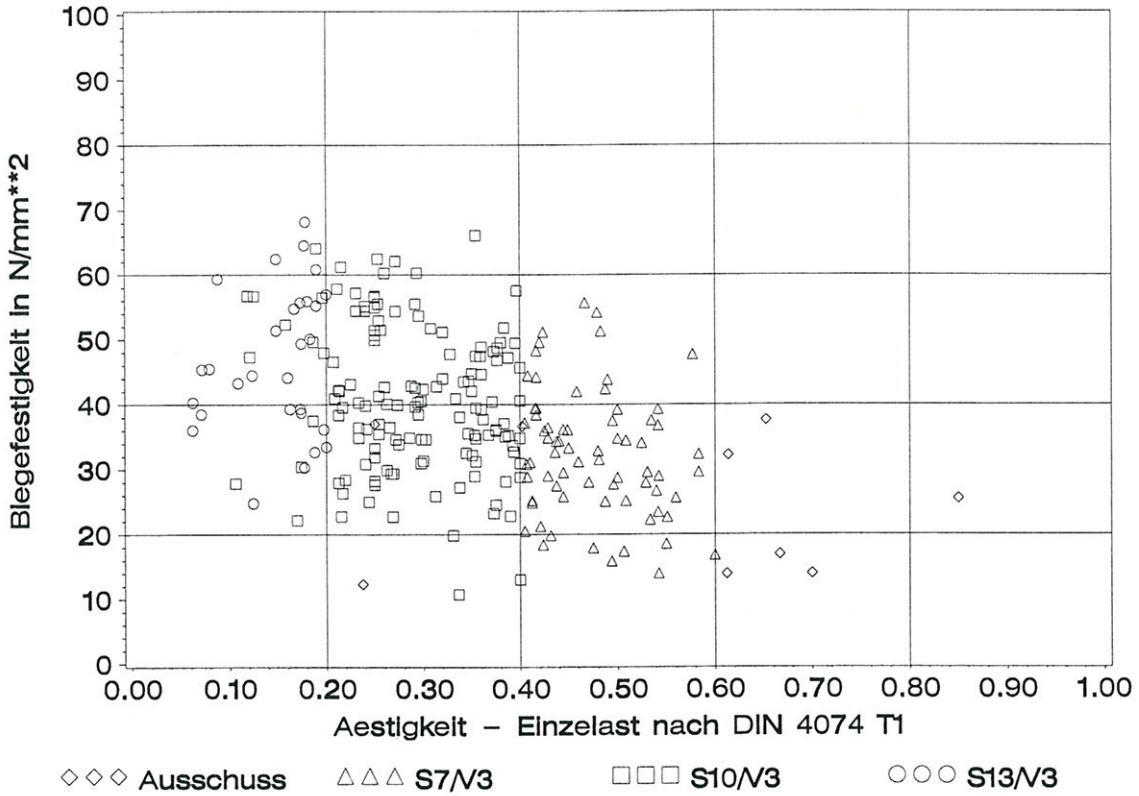


Bild A17: Sortierung V3: Biegefestigkeit von Kanthölzern in Abhängigkeit von der Ästigkeit – Einzelast nach E DIN 4074 T1

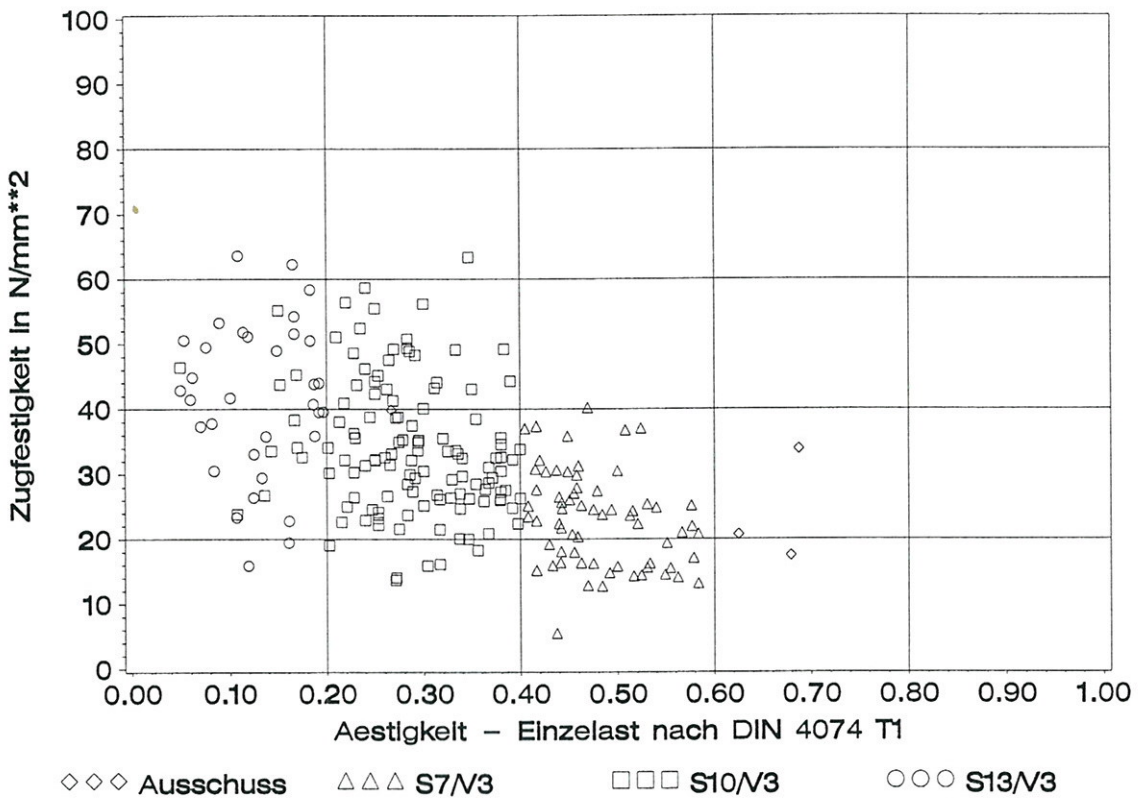


Bild A18: Sortierung V3: Zugfestigkeit von Kanthölzern in Abhängigkeit von der Ästigkeit – Einzelast nach E DIN 4074 T1





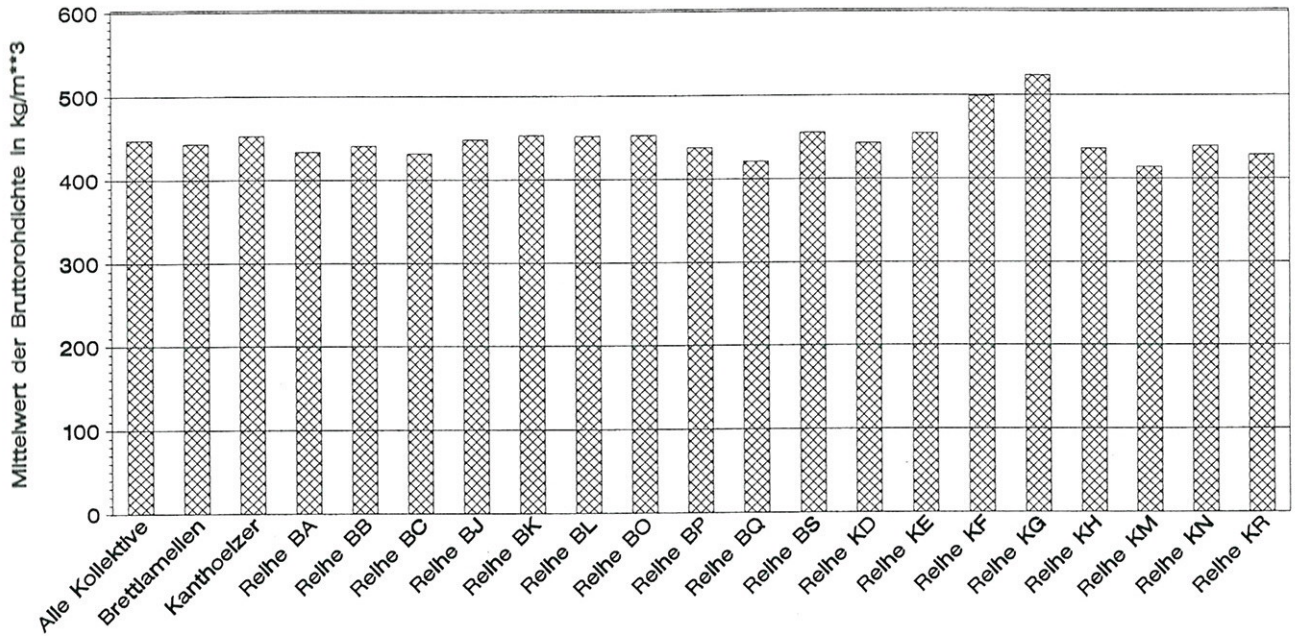


Bild B1: Mittelwerte der Bruttorehdichte

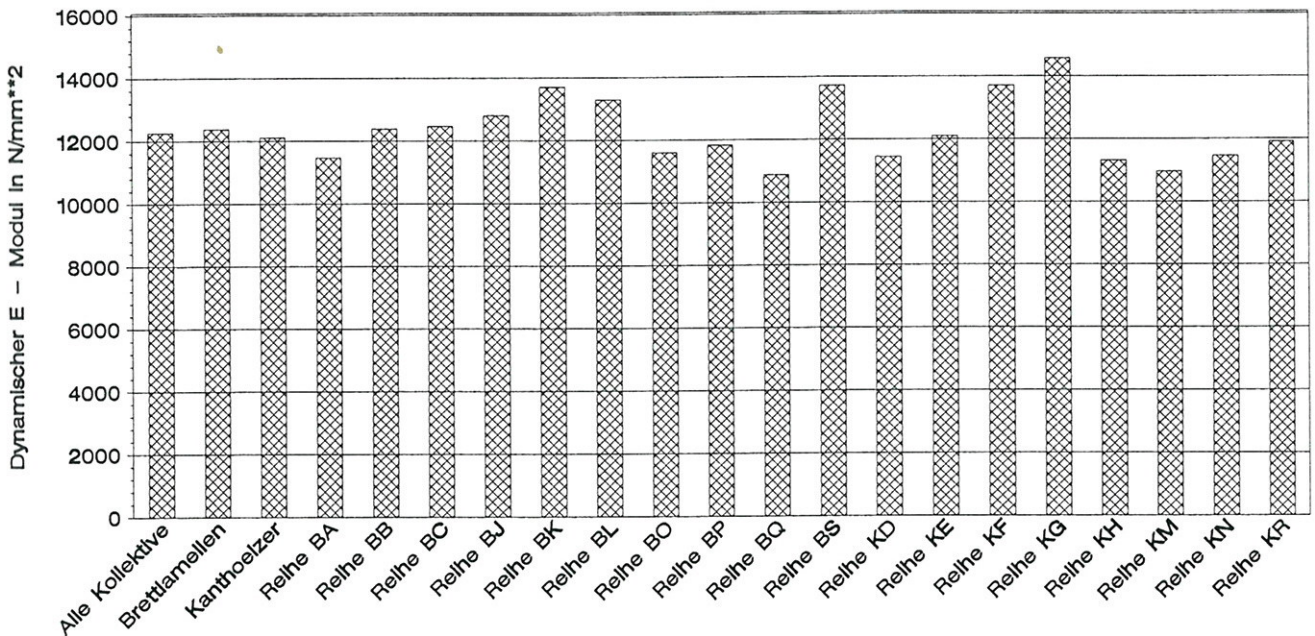


Bild B2: Mittelwerte des dynamischen E-Moduls

	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS
Bruttordichte von trockenem Holz [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	434	441	431	448	453	452	453	438	421	455
	s	42,3	36,3	36,4	49,9	34,8	44,4	37,0	34,9	33,9	37,8
Bruttordichte von frischem Holz [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	461	513	563	907	764	527	495	492	526	-
	s	45,4	50,1	88,9	152	129	54,7	52,1	64,2	91,7	-
Breite [mm]	Mittelwert	91,5	215	175	93,0	187	216	101	175	218	175
	s	1,08	2,17	1,75	0,65	1,08	1,24	0,98	0,78	1,35	0,81
Dicke [mm]	Mittelwert	45,8	46,7	38,2	21,9	37,4	46,4	20,7	37,2	20,7	46,7
	s	0,93	0,61	0,76	0,38	0,40	0,56	0,34	0,34	0,29	0,45
Dynamischer E-Modul von trockenem Holz [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	11500	12400	12500	12800	13700	13300	11600	11800	10900	13700
	s	2050	2150	2190	2740	2290	2380	1690	1770	1690	2050
Dynamischer E-Modul von frischem Holz [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	10300	10600	10500	11100	12100	11600	9850	10600	9970	-
	s	1890	2050	1810	2240	2060	2210	1440	1730	1620	-

**Tabelle B1:** Mittelwerte und Standardabweichungen der maschinell messbaren Eigenschaften von Brettlamellen und Kanthölzern

	Reihe	KD	KE	KF	KG	KH	KM	KN	KR	Kanthölzer	Brett- lamellen	Alle Kollektive
Bruttorohdichte von trockenem Holz [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	443	454	499	523	436	414	439	428	453	443	447
	s	33,3	27,6	49,9	46,0	64,5	44,5	54,5	34,7	57,3	40,3	48,7
Bruttorohdichte von frischem Holz [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	578	522	599	591	558	614	611	512	575	580	578
	s	113	67,9	95,8	66,5	80,4	105	112	60,0	97,9	166	138
Breite/Höhe [mm]	Mittelwert	49,5	50,5	78,9	59,7	79,2	48,0	59,9	77,8	-	-	-
	s	0,77	1,01	1,19	0,97	1,12	0,35	0,68	3,16	-	-	-
Dicke/Höhe [mm]	Mittelwert	101	244	184	184	244	103	168	240	-	-	-
	s	1,15	2,10	2,00	1,55	2,13	0,65	1,29	1,25	-	-	-
Dynamischer E-Modul von trockenem Holz [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	11400	12100	13700	14600	11300	11000	11500	11900	12100	12400	12300
	s	1310	1750	2690	2170	2920	2030	2720	1770	2530	2290	2400
Dynamischer E-Modul von frischem Holz [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	10000	10600	11900	12900	9980	9630	10200	10600	10700	10700	10700
	s	1190	1470	2480	2170	2690	1850	2530	1660	2320	2010	2160

**Tabelle B1:** (Fortsetzung) Mittelwerte und Standardabweichungen der maschinell messbaren Eigenschaften von Brettlamellen und Kanthölzern

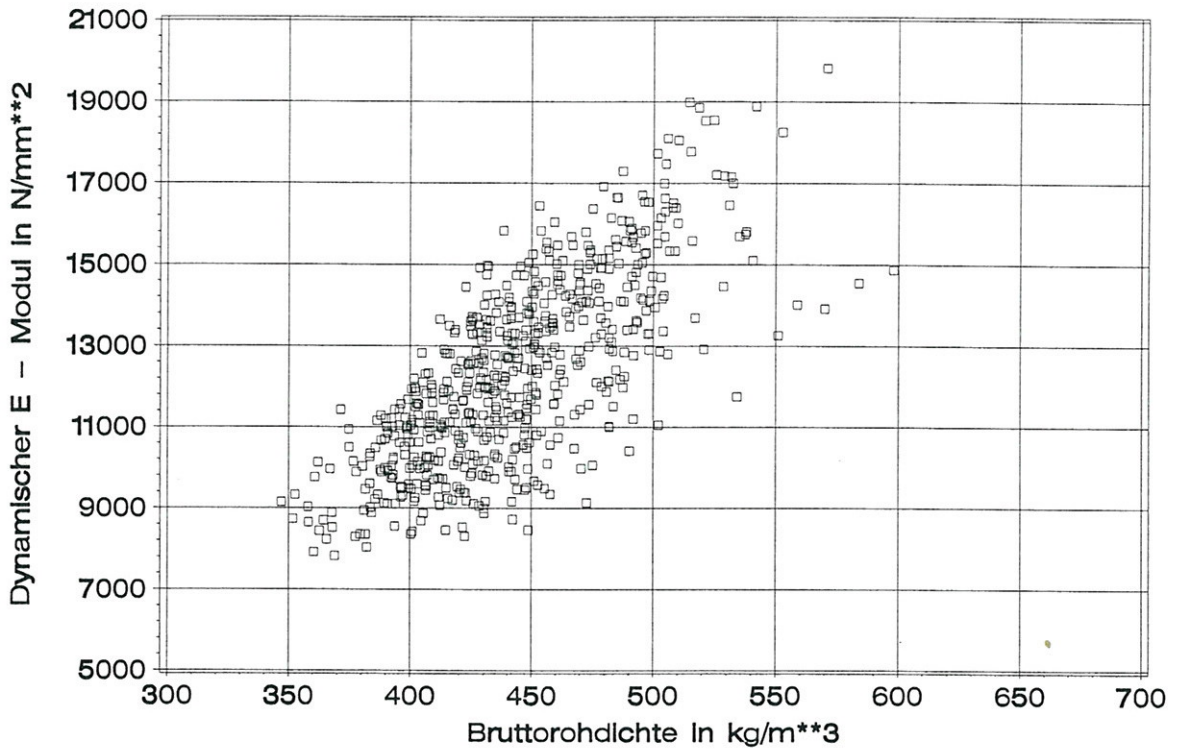


Bild B3: Dynamischer E- Modul in Abhängigkeit von der Bruttorohdichte bei Brettlamellen

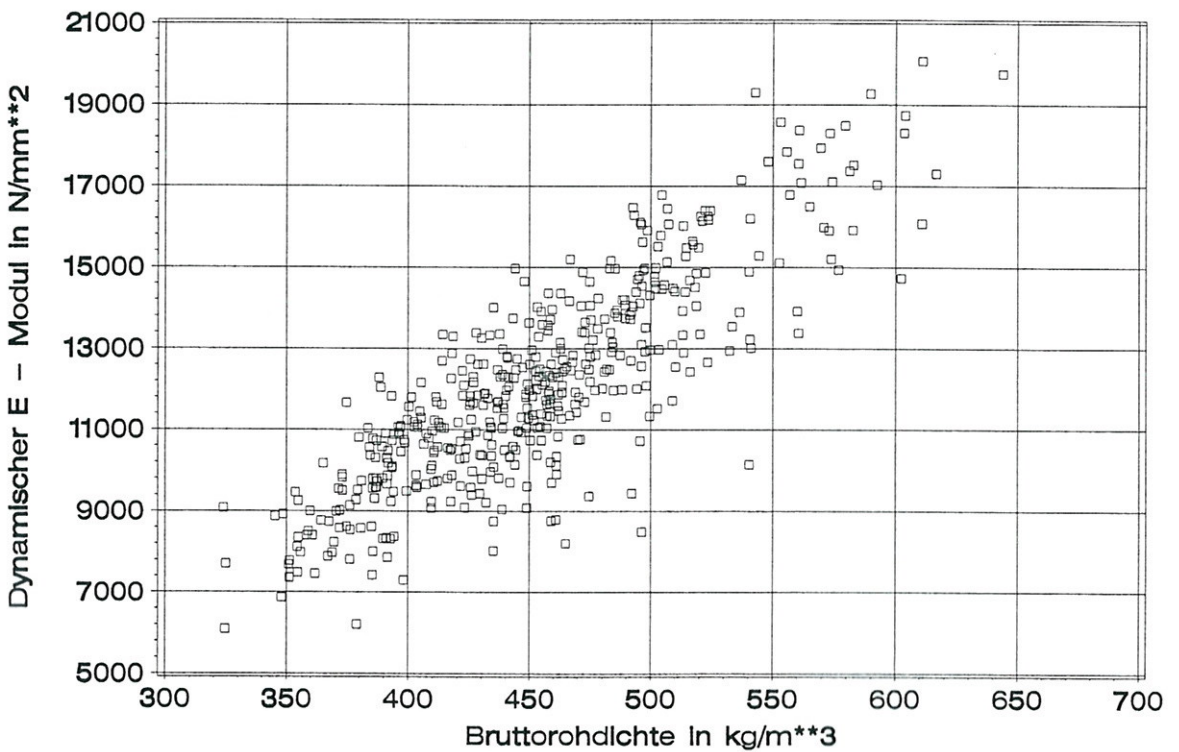
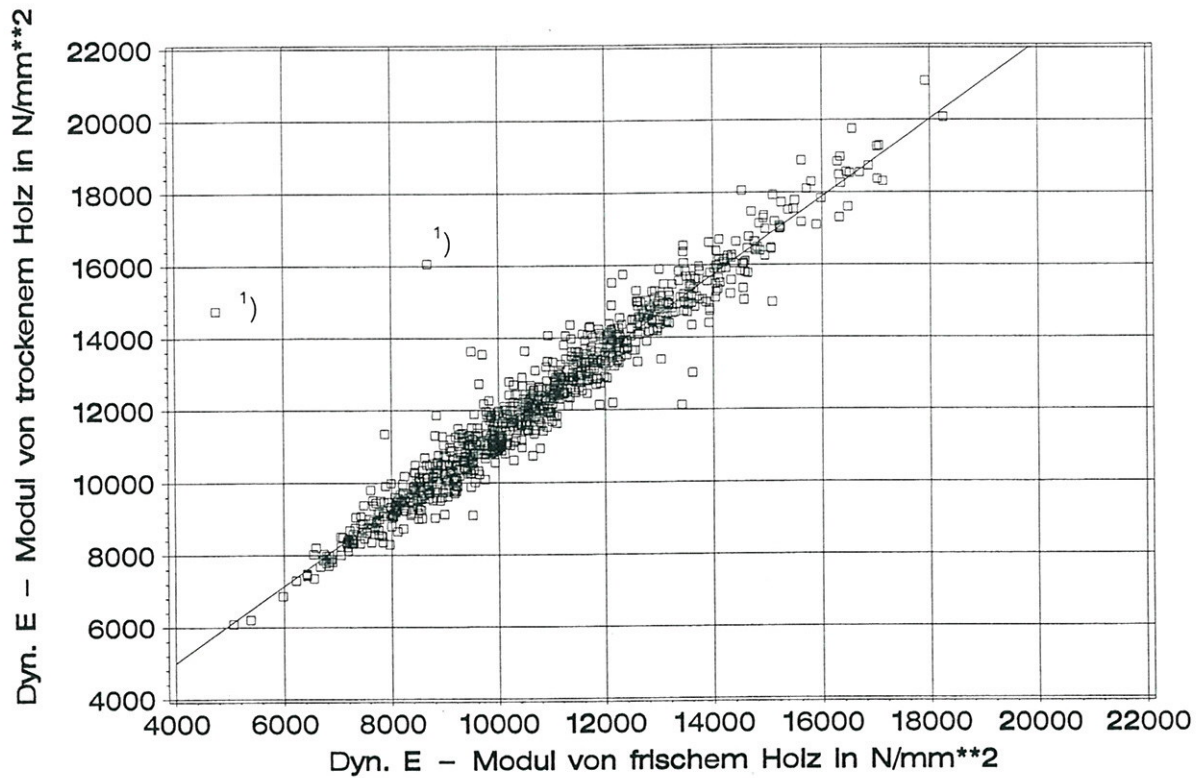
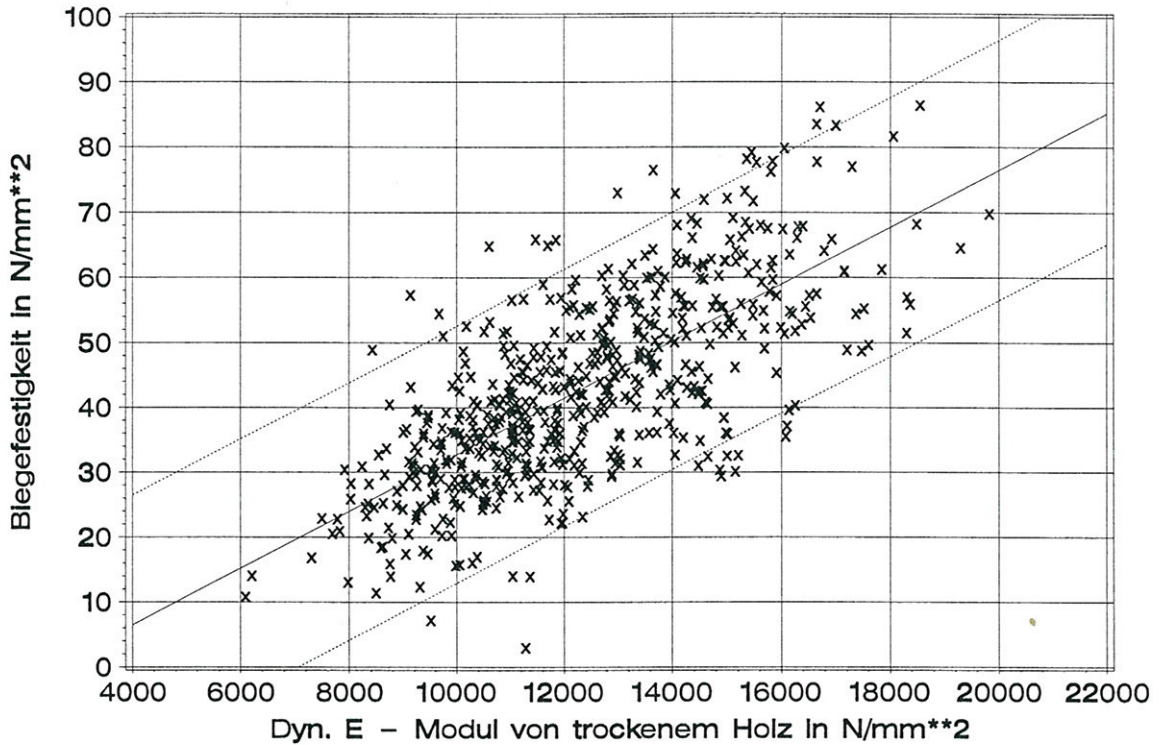


Bild B4: Dynamischer E- Modul in Abhängigkeit von der Bruttorohdichte bei Kanthölzern

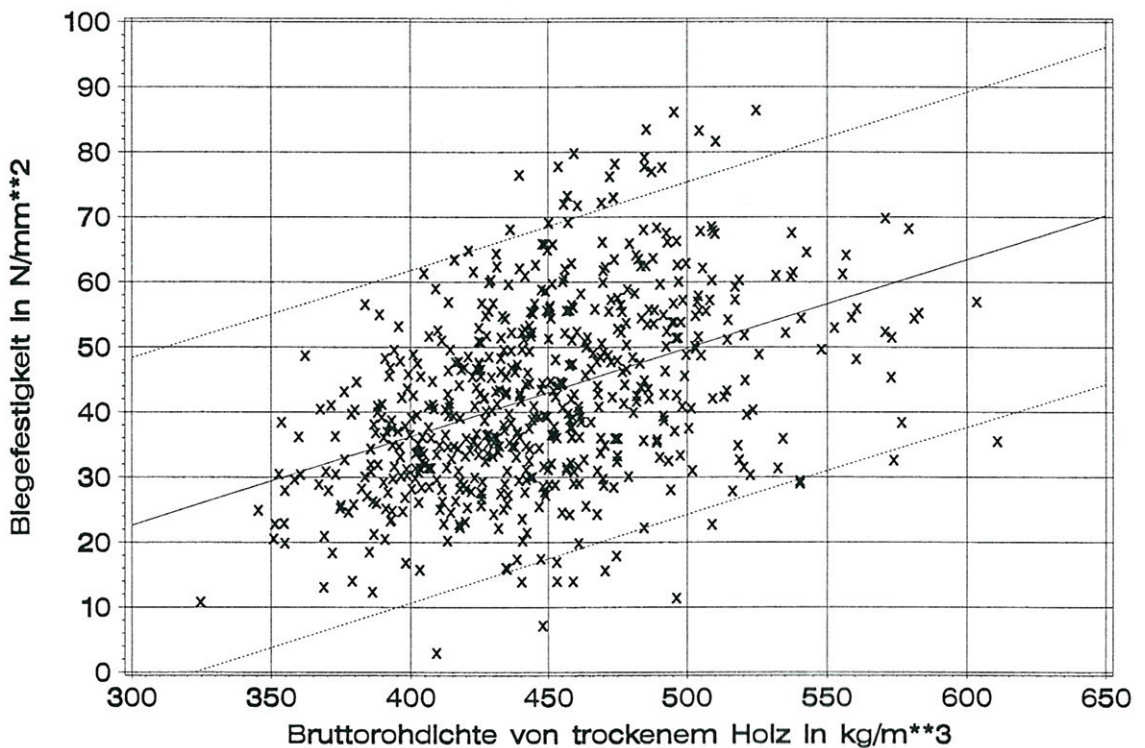


**Bild B5:** Dynamischer E-Modul (trockenes Holz) in Abhängigkeit vom dynamischen E-Modul (frisches Holz), Regressionsgerade:  $y = 704 + 1,07 \cdot x$ .

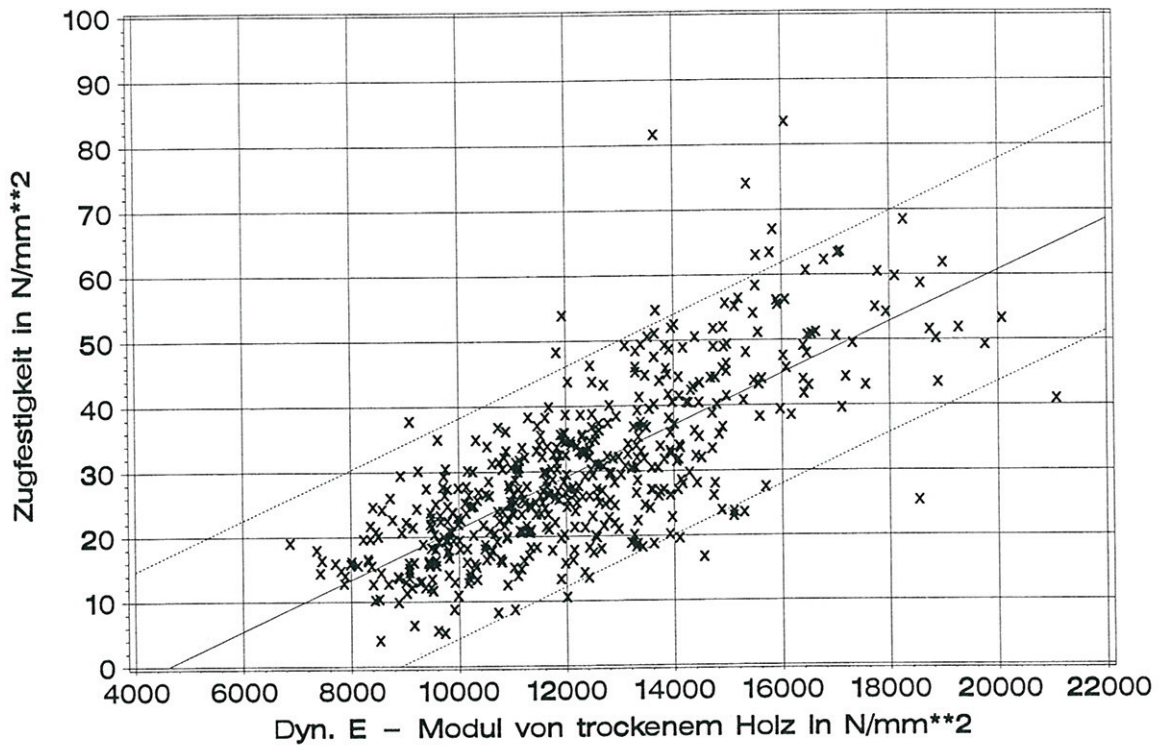
<sup>1)</sup> Diese Wertepaare weisen außergewöhnlich kleine Werte für die Frequenz der Längsschwingung von frischem Holz auf. Hier liegt eine offensichtliche Fehlmessung vor.



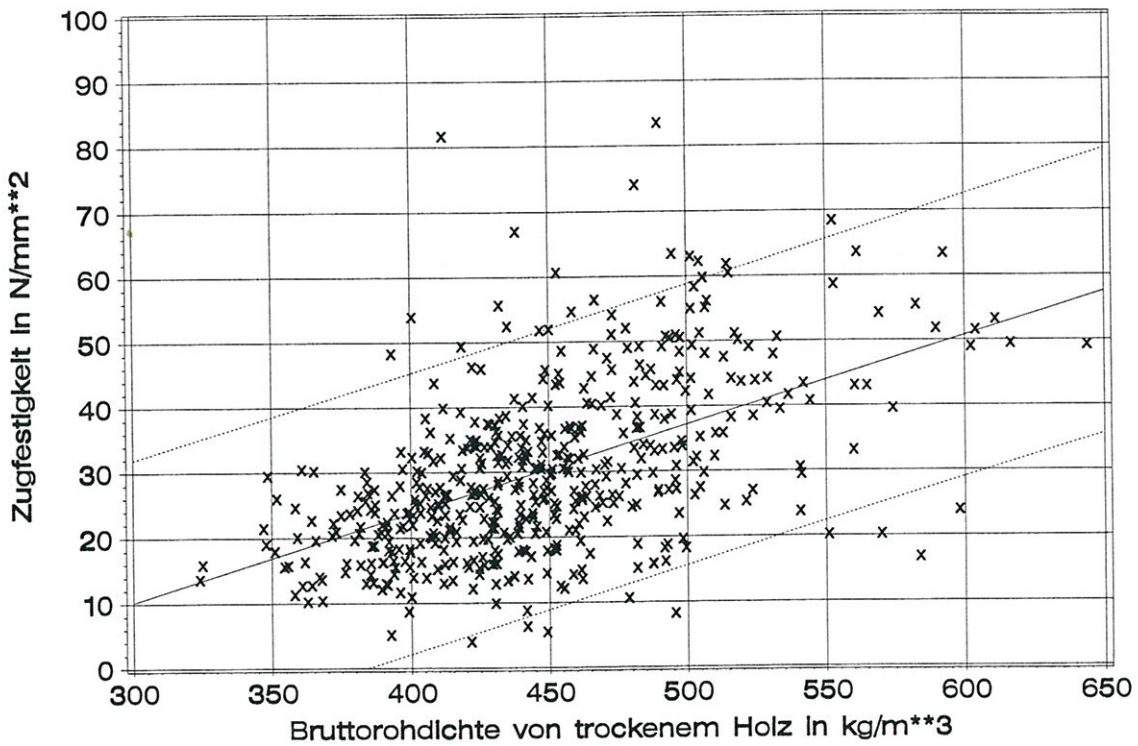
**Bild B6:** Biegefestigkeit in Abhängigkeit vom dynamischen E-Modul bei Brettlamellen und Kanthölzern, Regressionsgerade und 95%-Vertrauensbereich



**Bild B7:** Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Brutorohdichte bei Brettlamellen und Kanthölzern, Regressionsgerade und 95%-Vertrauensbereich



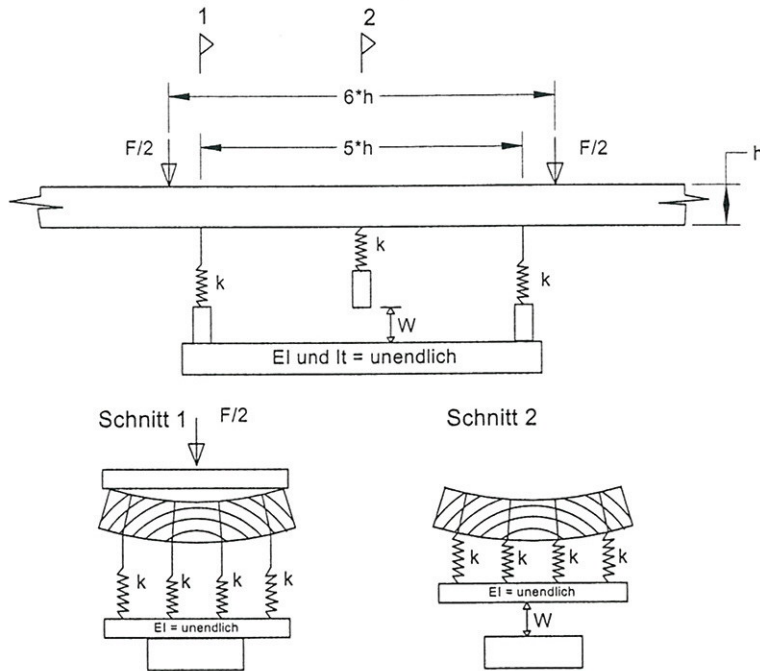
**Bild B8:** Zugfestigkeit in Abhängigkeit vom dynamischen E-Modul bei Brettlamellen und Kanthölzern, Regressionsgerade und 95%-Vertrauensbereich



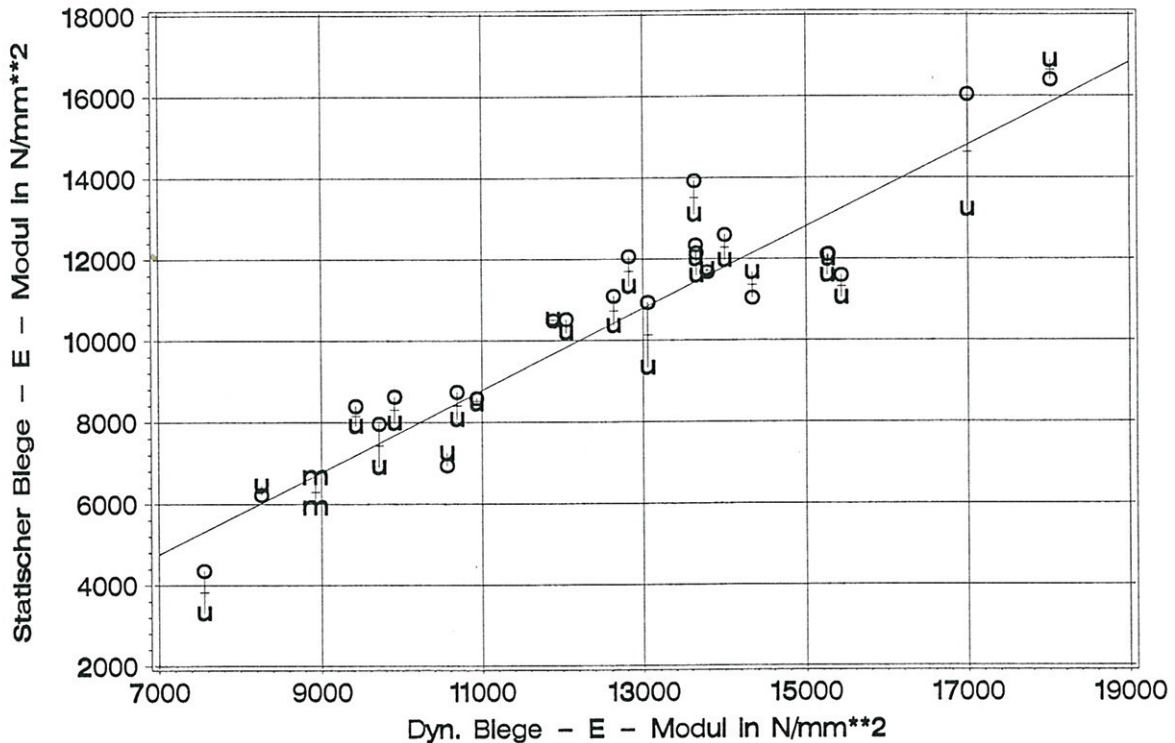
**Bild B9:** Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Bruttorohdichte bei Brettlamellen und Kanthölzern, Regressionsgerade und 95%-Vertrauensbereich







**Bild C1:** Versuchsaufbau gemäß EN 408 mit Wegaufnehmer im Schwerpunkt aller Federsteifigkeiten zur Kompensation von Einflüssen aus Veränderung der Querkrümmung während des Versuchs. Jede Feder erfasst  $\frac{1}{4}$  der Brettbreite, hier dargestellt: Seitenbrett mit Marklage unten "u"



**Bild C2:** Statischer Biege-E-Modul (je Prüfkörper eine Messung mit Marklage oben "o" und Marklage unten "u") in Abhängigkeit vom dynamischen Biege E-Modul ermittelt an Prüfkörpern nach EN 408. Der statische Biege-E-Modul wurde mit der auf Bild C1 dargestellten Vorrichtung ermittelt. m: Prüfkörper mit Mark

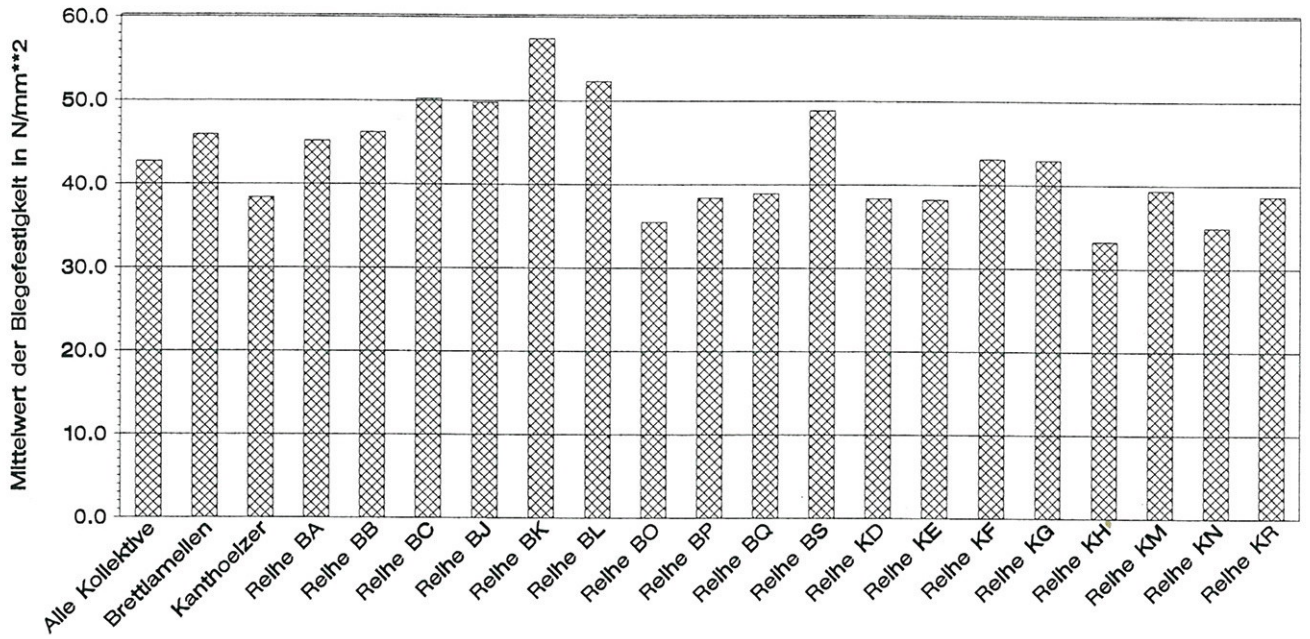


Bild C3: Mittelwerte der Biegefestigkeiten

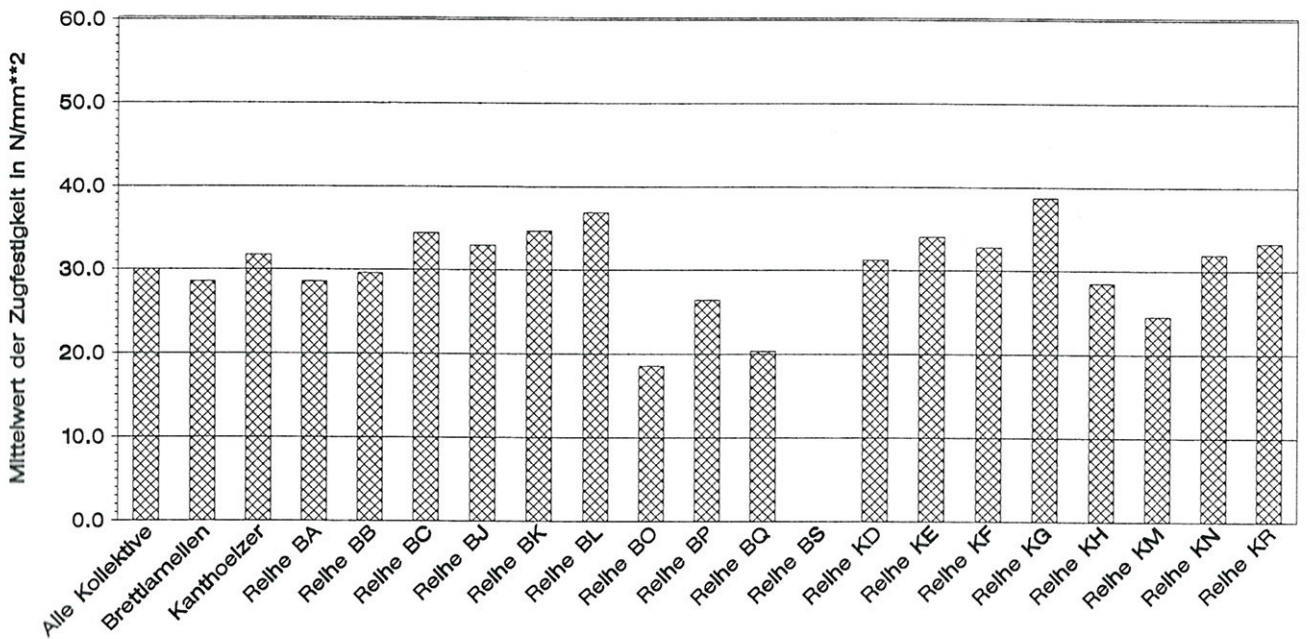


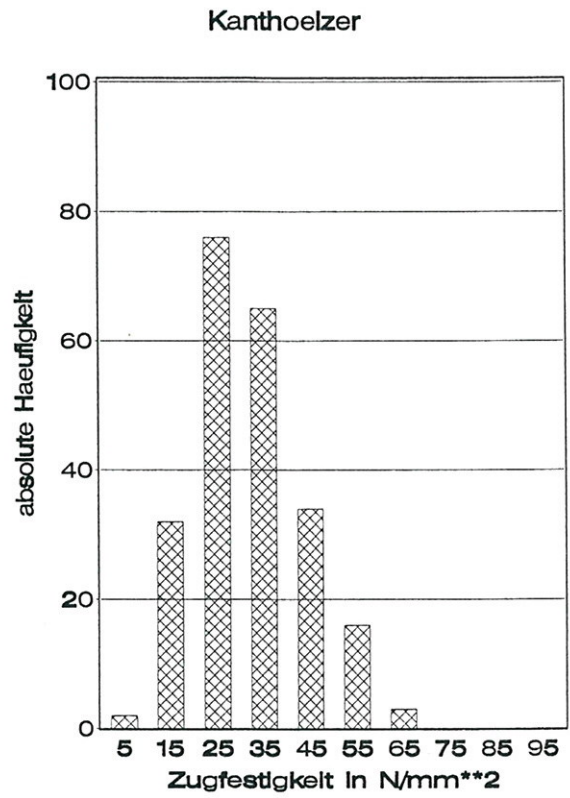
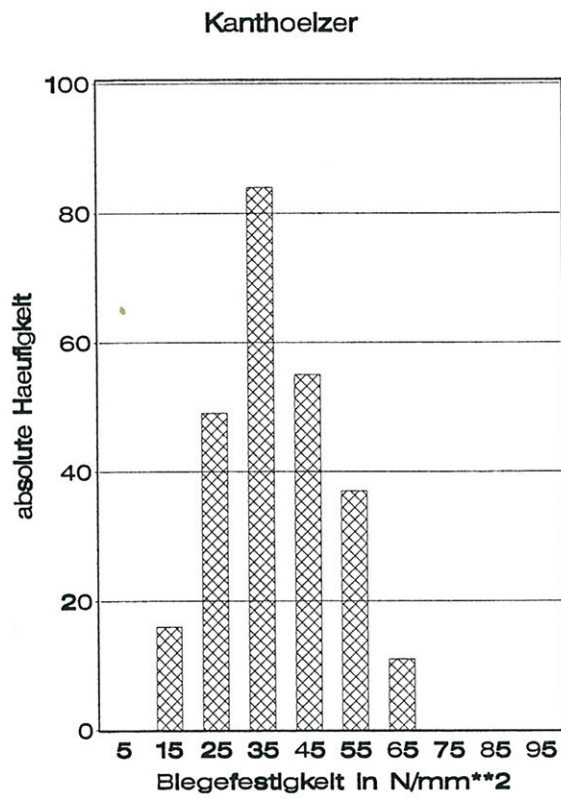
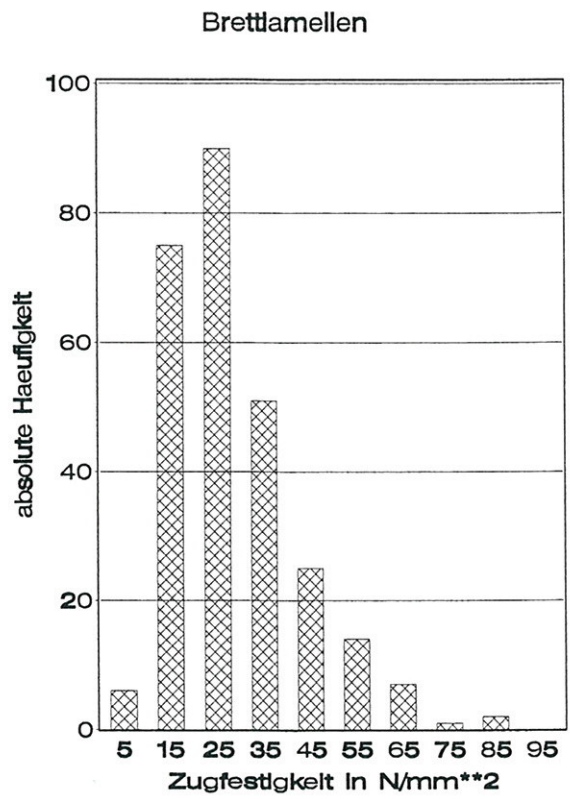
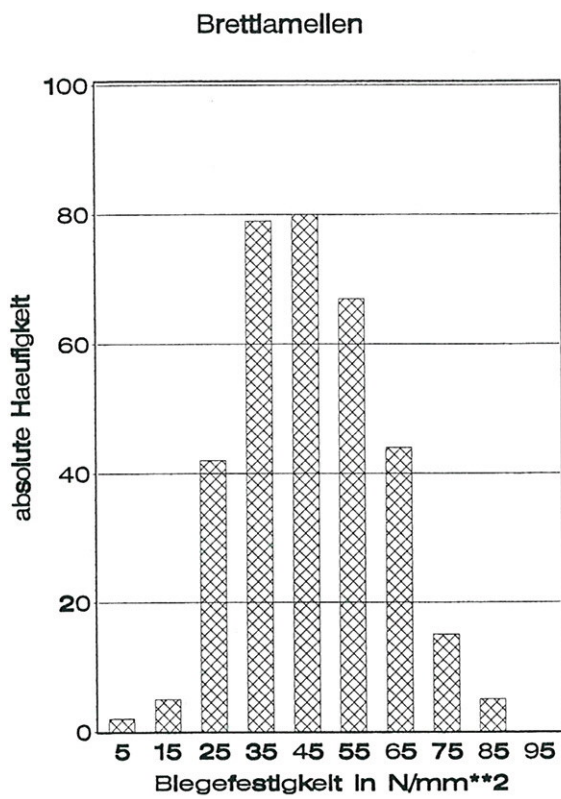
Bild C4: Mittelwerte der Zugfestigkeiten

	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS
Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	45,2	46,2	50,2	49,8	57,4	52,3	35,5	38,4	38,9	48,9
	s	11,1	16,1	14,9	16,0	14,8	14,0	13,7	10,8	12,8	13,6
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	28,6	29,6	34,4	32,9	34,7	36,9	18,5	26,4	20,3	-
	s	9,7	12,0	11,1	20,3	14,7	14,6	5,2	11,1	7,7	-
Rohdichte nach EN 408 bei 12% Holzfeuchte [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	420	437	453	457	452	449	452	426	420	445
	s	43,3	39,6	47,2	55,9	40,3	49,4	41,6	38,8	40,6	42,2
Holzfeuchte der Biegeproben [%]	Mittelwert	10,1	9,6	9,6	9,6	8,9	10,7	9,8	10,2	10,6	11,8
	s	0,31	0,75	0,21	0,23	0,47	0,33	0,57	0,38	0,63	0,64
Holzfeuchte der Zugproben [%]	Mittelwert	10,7	10,4	10,5	8,7	10,1	10,9	8,9	10,8	9,5	-
	s	0,23	0,16	0,20	0,42	0,76	0,56	0,44	1,05	0,75	-
Holzfeuchte aller Proben [%]	Mittelwert	10,4	10,0	10,1	9,1	9,5	10,8	9,4	10,5	10,1	10,2
	s	0,41	0,70	0,49	0,57	0,86	0,47	0,66	0,84	0,88	0,45

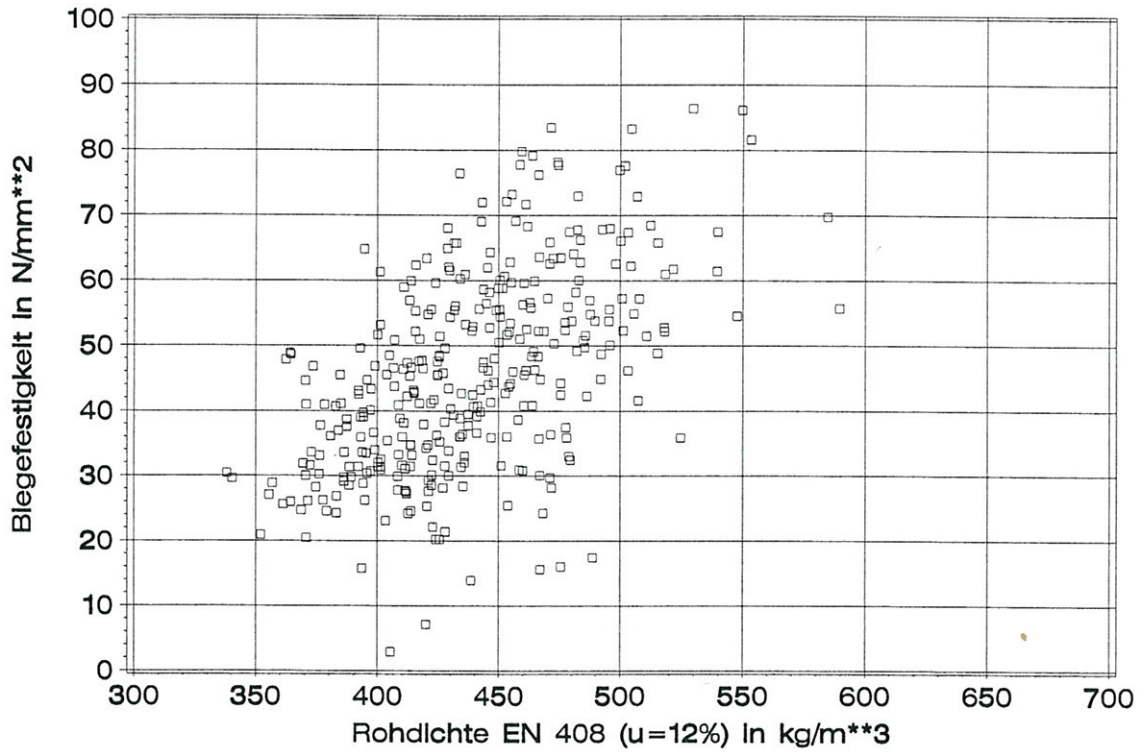
**Tabelle C1:** Mittelwerte und Standardabweichungen der Biege- sowie Zugfestigkeit, Rohdichte und Holzfeuchte

	Reihe	KD	KE	KF	KG	KH	KM	KN	KR	Kant- hölzer	Brett- lamellen	Alle Kollektive
Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	38,3	38,2	43,1	42,9	33,2	39,4	34,9	38,7	38,4	45,9	42,7
	s	7,8	13,6	13,1	11,5	9,0	11,6	13,7	11,4	12,0	15,2	14,4
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	31,2	34,0	32,8	38,7	28,5	24,5	31,9	33,3	31,7	28,6	30,0
	s	6,9	10,7	10,8	13,8	10,5	9,5	14,1	8,0	11,7	13,7	12,9
Rohdichte nach EN 408 bei 12% Holzfeuchte [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	426	439	485	506	420	414	431	418	441	442	441
	s	36,8	29,2	57,2	51,1	65,9	45,3	60,5	36,5	58,6	45,8	51,8
Holzfeuchte der Biegeproben [%]	Mittelwert	11,9	11,8	12,5	12,8	12,6	10,4	11,1	12,6	11,9	10,2	11,0
	s	0,29	0,41	0,43	0,40	0,27	0,41	0,45	0,63	0,92	0,99	1,26
Holzfeuchte der Zugproben [%]	Mittelwert	12,7	13,2	13,7	13,9	13,5	9,7	12,2	13,7	12,7	10,0	11,2
	s	0,42	0,56	0,38	0,34	0,57	0,71	0,85	0,60	1,45	0,99	1,82
Holzfeuchte aller Proben [%]	Mittelwert	12,3	12,5	13,1	13,3	13,1	10,0	11,6	12,9	12,3	10,0	11,0
	s	0,53	0,83	0,75	0,68	0,61	0,68	0,88	0,83	1,27	0,85	1,58

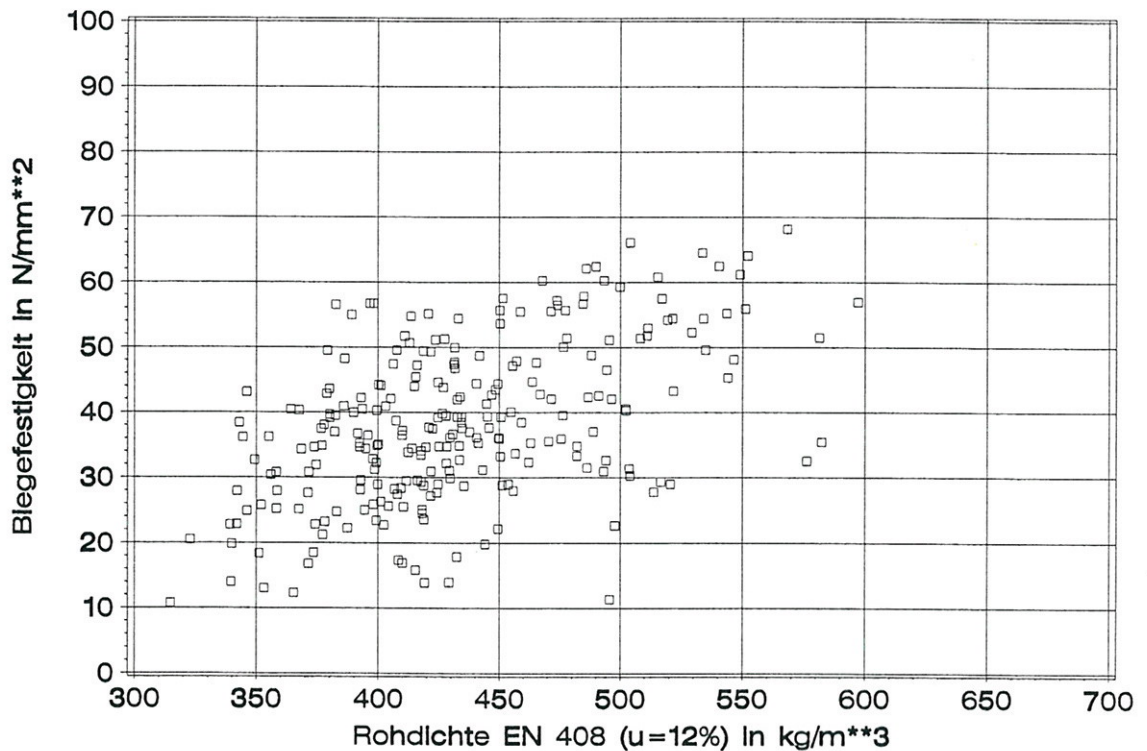
**Tabelle C1:** (Fortsetzung) Mittelwerte und Standardabweichungen der Biege- sowie Zugfestigkeit, Rohdichte und Holzfeuchte



**Bild C5:** Häufigkeitsverteilungen der Biege- und Zugfestigkeiten nach den Kollektiven "Brettlamellen" und "Kanthoelzer" getrennt



**Bild C6:** Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Rohdichte nach EN 408 (u=12%) von Brettlamellen



**Bild C7:** Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Rohdichte nach EN 408 (u=12%) von Kanthölzern

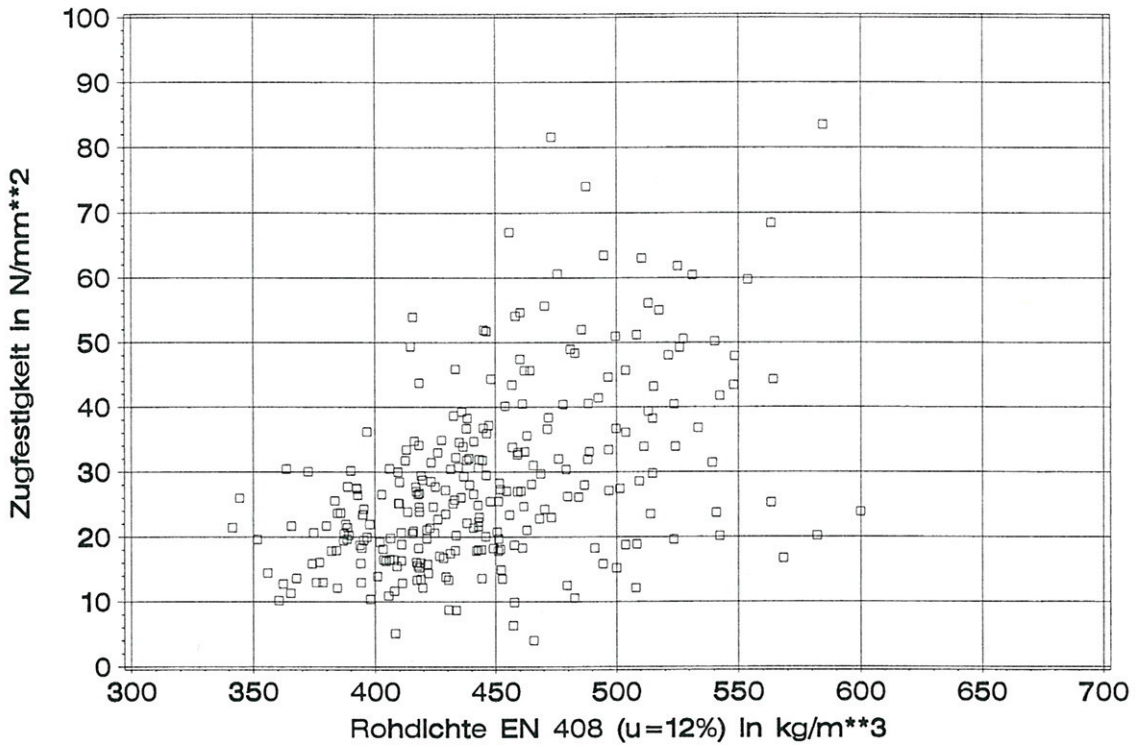


Bild C8: Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Rohdichte nach EN 408 ( $u=12\%$ ) von Brettlamellen

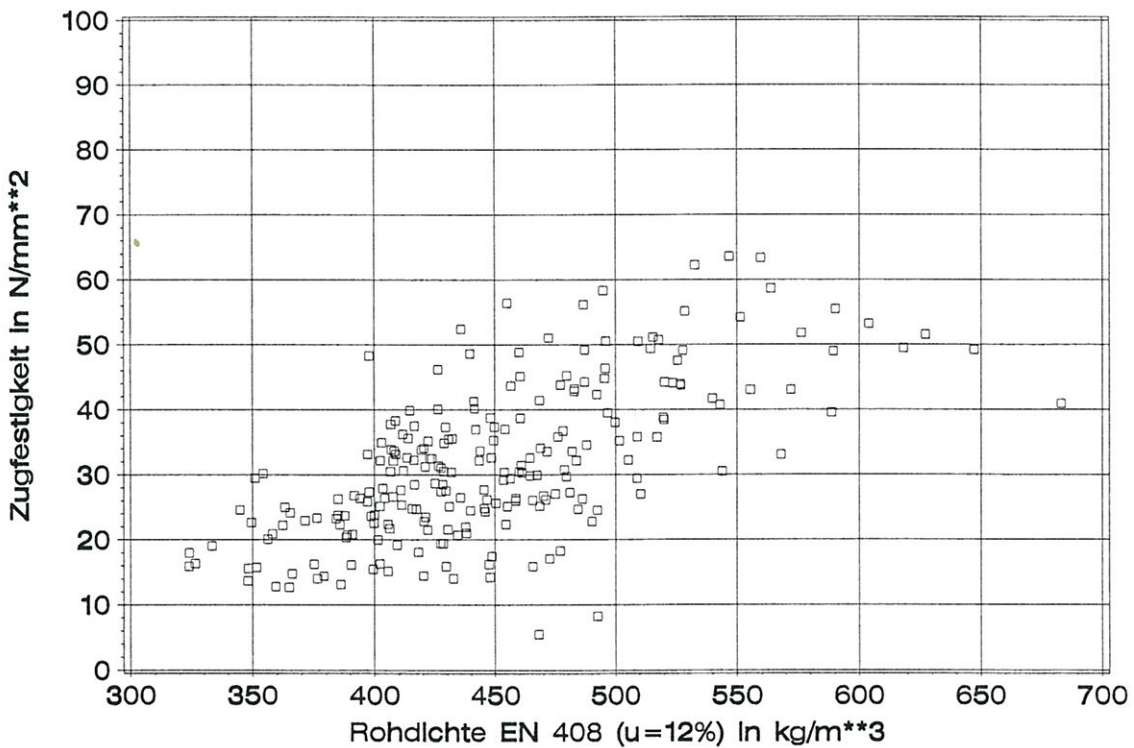
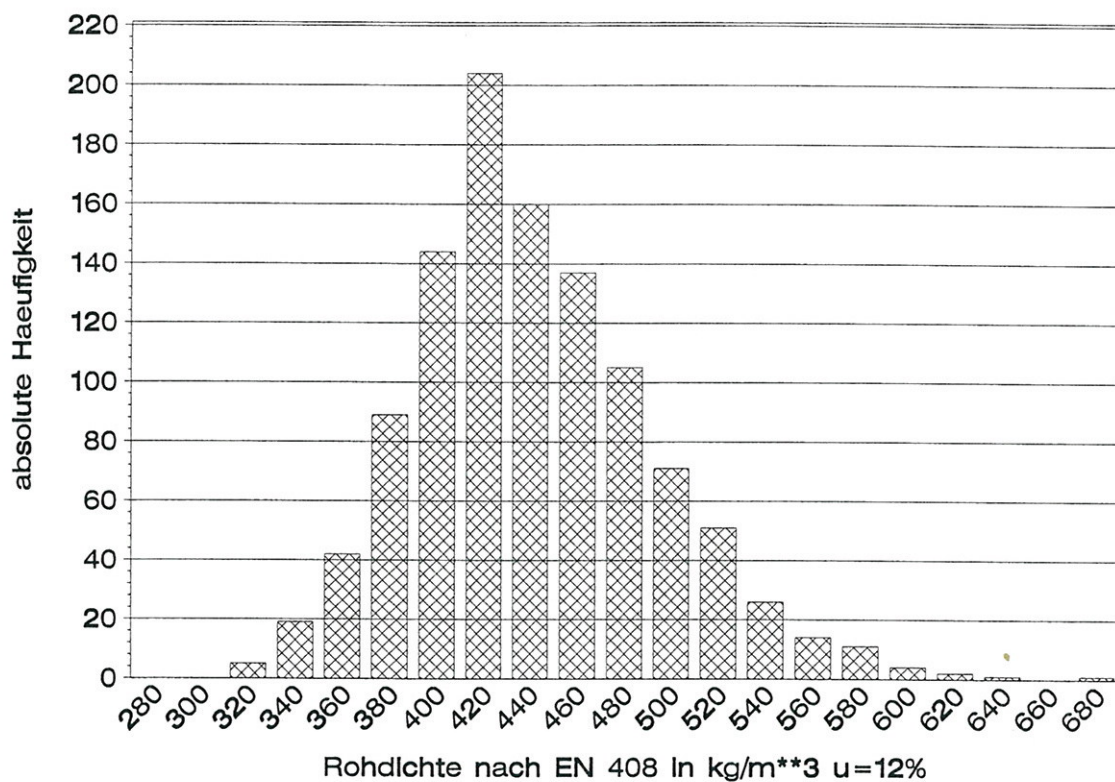


Bild C9: Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Rohdichte nach EN 408 ( $u=12\%$ ) von Kanthölzern



**Bild C10:** Häufigkeitsverteilung der Rohdichte nach EN 408 ( $u=12\%$ ) von Brettlamellen und Kanthölzern

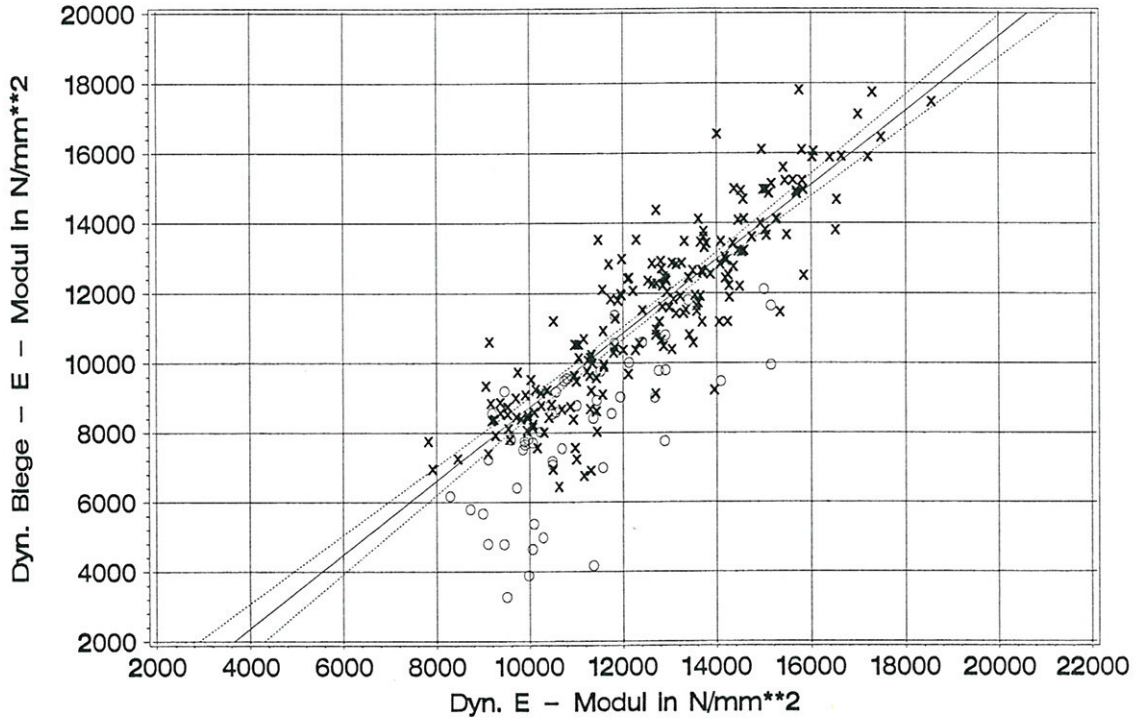


	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS
Statischer Biege-E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	10100	9970	11100	-	-	-	-	-	-	-
	s	2100	3760	4740							
Dynamischer Biege-E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	-	-	-	10300	13700	12900	8620	10500	9220	11600
	s	-	-	-	2670	1960	2650	2620	2000	2430	1690
Statischer Zug-E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	10800	11900	12700	11500	12700	13400	9640	11100	9630	-
	s	2830	2300	2230	3970	2900	2610	1730	1900	2170	-

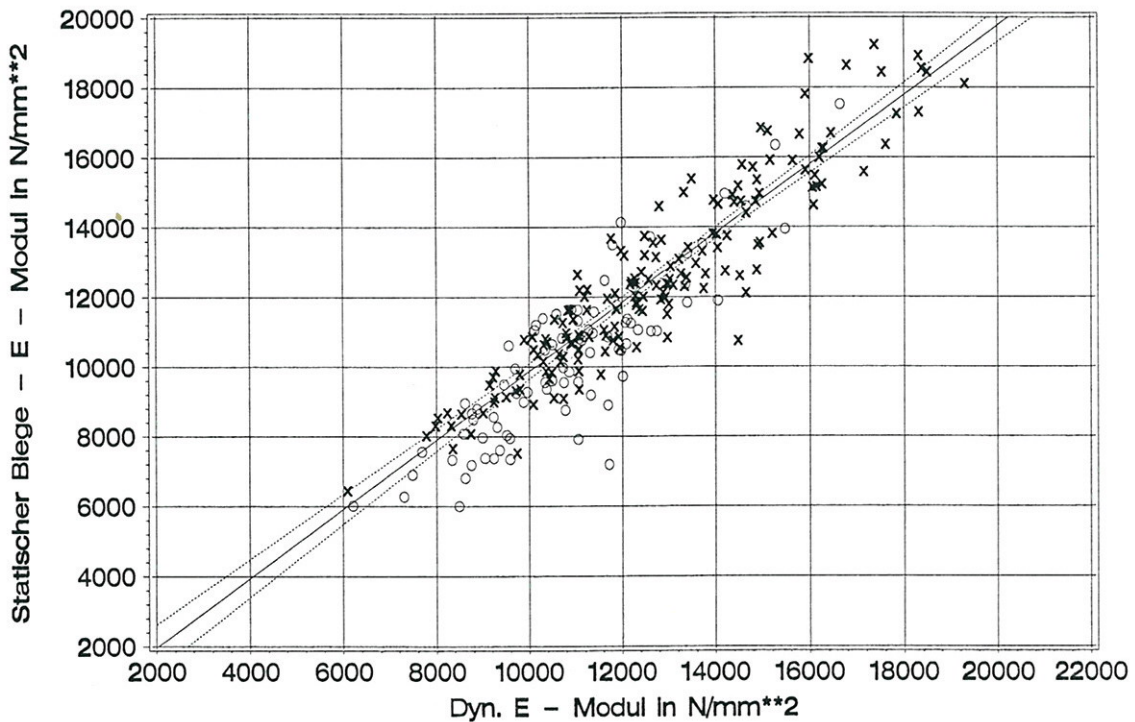
**Tabelle C2:** Mittelwerte und Standardabweichungen von statischem sowie dynamischem Biege-E-Modul und statischem Zug-E-Modul ermittelt an Prüfkörpern nach EN 408

	Reihe	KD	KE	KF	KG	KH	KM	KN	KR	Kant- hölzer	Brett- lamellen	Alle Kollektive
Statischer Biege-E- Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	10600	11400	13000	15000	10900	10900	10900	11900	11800	-	-
	s	1730	1920	3030	2690	2360	2660	2770	2250	2780	-	-
Dynamischer Biege-E- Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	-	-	-	-	-	12200	-	-	-	-	-
	s	-	-	-	-	-	2420	-	-	-	-	-
Statischer Zug-E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	11100	12000	13400	13900	11300	9970	11700	12200	11900	11400	11600
	s	1900	1850	2870	3390	3730	1970	3190	1050	2930	2850	2890

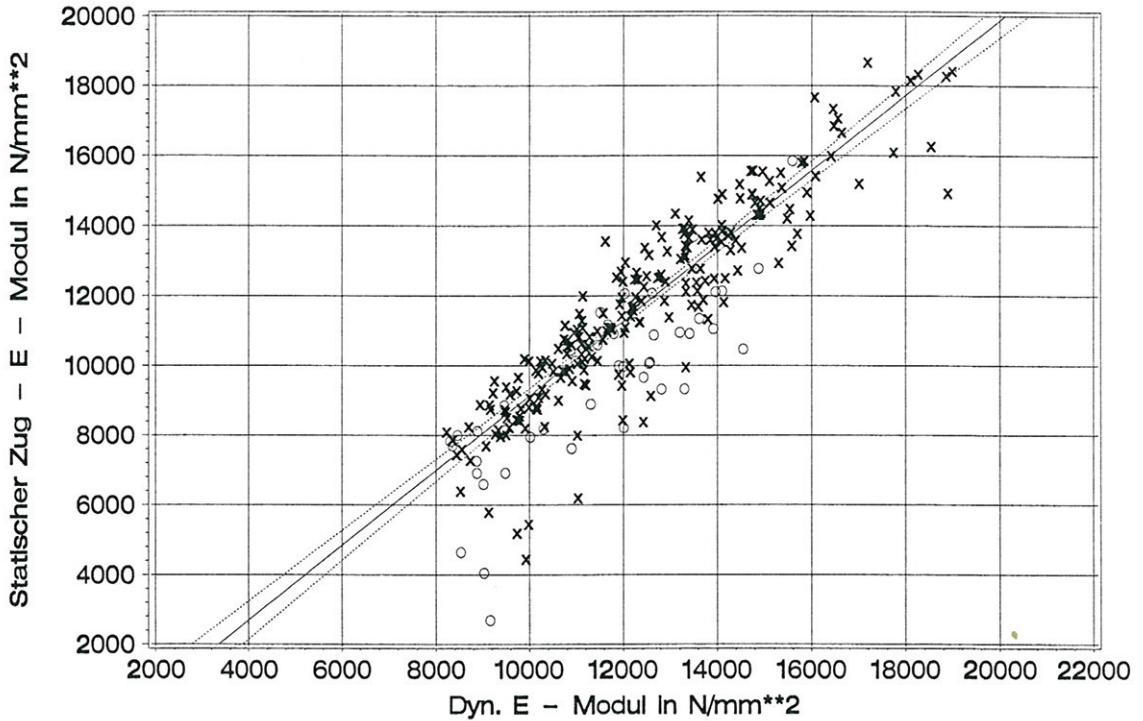
**Tabelle C2:** (Fortsetzung) Mittelwerte und Standardabweichungen von statischem sowie dynamischem Biege-E-Modul und statischem Zug-E-Modul von Prüfkörpern nach EN 408



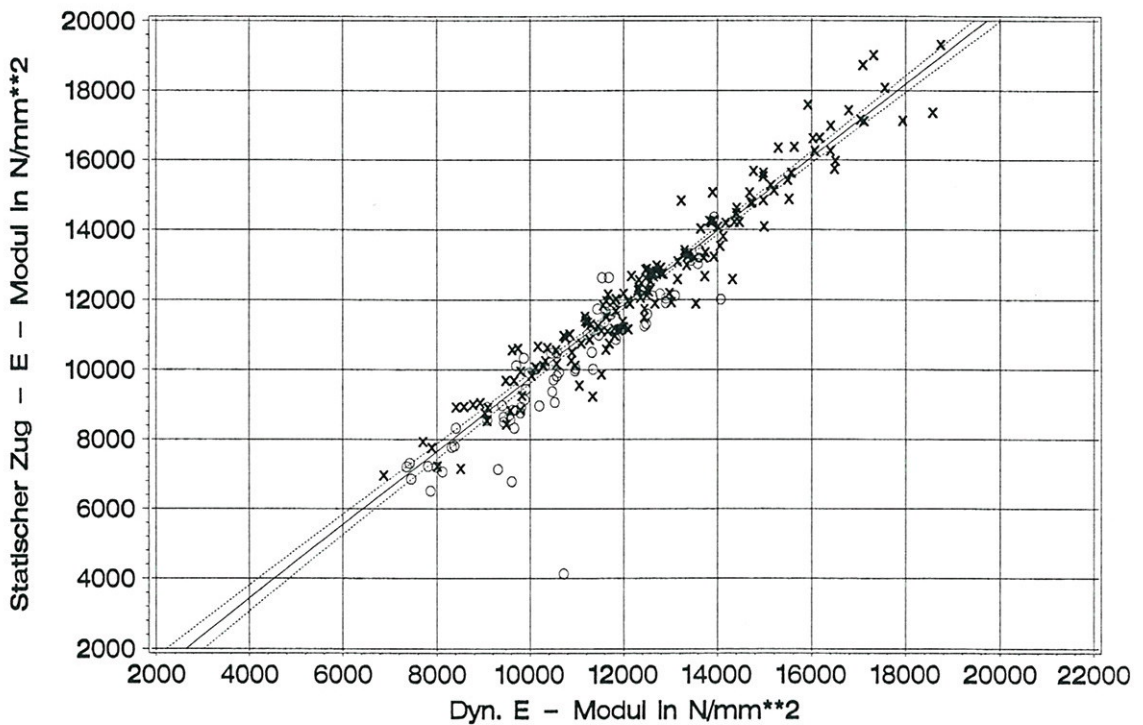
**Bild C11:** Dynamischer Biege-E-Modul in Abhängigkeit vom dynamischen E-Modul (ermittelt aus Längsschwingungen) von Brettlamellen, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade sowie 95%-Vertrauensgrenzen für Mittelwerte, O = Ausschuss und S7/V2



**Bild C12:** Statischer Biege-E-Modul in Abhängigkeit vom dynamischen E-Modul (ermittelt aus Längsschwingungen) von Kanthölzern, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade sowie 95%-Vertrauensgrenzen für Mittelwerte, O = Ausschuss und S7/V2



**Bild C13:** Statischer Zug-E-Modul in Abhängigkeit vom dynamischen E-Modul (ermittelt aus Längsschwingungen) von Brettlamellen, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade sowie 95%-Vertrauensgrenzen für Mittelwerte, O = Ausschuss und S7/V2



**Bild C14:** Statischer Zug-E-Modul in Abhängigkeit vom dynamischen E-Modul (ermittelt aus Längsschwingungen) von Kanthölzern, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade sowie 95%-Vertrauensgrenzen für Mittelwerte, O = Ausschuss und S7/V2

Prüfkörper aus Reihe/ Beobachtung	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS	Σ
Ursprünglicher Umfang der Probe	57	55	50	60	60	61	89	56	64	60	612
Vorhandensein der Markröhre	57	55	50	60	60	61	89	56	64	60	612
Kantenflächenast nach DIN 4074 T1	57	55	50	60	60	61	80	56	64	60	603
Einzelast nach DIN 4074 T1	57	55	50	59	60	61	80	56	64	60	602
Astansammlung nach DIN 4074 T1	57	55	50	59	60	61	80	56	64	60	602
Sortierung V1 <sup>5)</sup>	57	54	50	59	60	61	80	56	64	60	601
Sortierung V2 <sup>5)</sup>	57	55	50	60	60	61	89	56	64	60	612
Sortierung V3 <sup>5)</sup>	57	55	50	60	60	61	89	56	64	60	612
Sortierung V4 <sup>5)</sup>	57	55	50	60	60	61	89	56	64	60	612
Bruttorohdichte des trockenen Schnittholzes	57	55	50	60	60	61	89	56	64	60	612
dynamischer-E-Modul des trockenen Schnittholzes	57	55	50	60	60	61	89	56	64	60	612
Holzfeuchte Biegeprobe nach EN 408	29	26	25	30	30	31	47	28	33	8 <sup>3)</sup>	287
Biege-E-Modul nach EN 408	29	26	25	n.b. <sup>1)</sup>	n.b. <sup>1)</sup>	n.b. <sup>1)</sup>	n.b. <sup>1)</sup>	n.b. <sup>1)</sup>	n.b. <sup>1)</sup>	n.b. <sup>1)</sup>	80
Dynamischer Biege-E-Modul des trockenen Schnittholzes	n.b. <sup>2)</sup>	n.b. <sup>2)</sup>	n.b. <sup>2)</sup>	30	30	31	47	28	33	45	244
Biegefestigkeit nach EN 408	29	26	25	30	30	31	47	28	33	60	339
Zug-E-Modul nach EN 408	28	27	25	30	30	29	42	28	31	n.b. <sup>4)</sup>	270
Zugfestigkeit nach EN 408	28	27	25	30	30	30	42	28	31	n.b. <sup>4)</sup>	271
Holzfeuchte Zugprobe nach EN 408	28	27	25	30	30	30	42	28	31	n.b. <sup>4)</sup>	271
Bruttorohdichte des frischen Schnittholzes	57	55	50	60	60	61	89	56	64	n.b. <sup>4)</sup>	552
dynamischer-E-Modul des frischen Schnittholzes	57	55	50	60	60	61	89	56	64	n.b. <sup>4)</sup>	552
Rohdichte nach EN 408 (u=12%)	57	53	50	60	60	61	89	56	64	60 <sup>3)</sup>	610

n.b.: diese Eigenschaft wurde nicht bestimmt

<sup>1)</sup> ersatzweise wurde der dynamische Biege-E-Modul ermittelt

<sup>2)</sup> aufgrund der zerstörenden Prüfung konnten diese Werte nicht mehr bestimmt werden

<sup>3)</sup> Die Holzfeuchte wurde stichprobenartig an 8 Prüfkörpern bestimmt. Bei der Ermittlung der Rohdichte nach EN 408 (u=12%) der restlichen 52 Prüfkörper wurde vereinfachend eine Holzfeuchte von 12% unterstellt.

<sup>4)</sup> Die Reihe BS stammt aus der Güteüberwachung (Bestimmung der Biegefestigkeit). Diese Werte konnten daher nicht bestimmt werden.

<sup>5)</sup> Zur unterschiedlichen Summe: War für die Klassifizierung in Ausschuss offensichtlich ein sonstiges Merkmal (DIN 4074 T1) ausschlaggebend wurde die Ästigkeit (DIN 4074 T1) zum Teil nicht ermittelt.

**Tabelle D1:** Übersicht über die Anzahl der gültigen Beobachtungen für die Untersuchungen an Brettlamellen

Prüfkörper aus Reihe/ Beobachtung	KD	KE	KF	KG	KH	KM	KN	KR	$\Sigma$
Ursprünglicher Umfang der Probe	53	54	57	55	55	60	89	62	485
Vorhandensein der Markröhre	53	52	57	53	53	60	88	62	478
Einzelast nach DIN 4074 T1	53	52	57	52	53	59	87	61	474
Sortierung V1 <sup>2)</sup>	53	52	57	52	53	59	87	61	474
Sortierung V2 <sup>2)</sup>	53	52	57	53	53	60	89	62	479
Sortierung V3	53	52	57	53	53	60	89	62	479
Bruttorohdichte des trockenen Schnittholzes	53	52	57	54	53	60	89	62	480
dynamischer-E-Modul des trockenen Schnittholzes	53	52	56	53	54	60	89	62	479
Holzfeuchte Biegeprobe nach EN 408	25	26	27	27	27	30	44	43	249
Biege-E-Modul nach EN 408	27	26	29	27	27	30	44	42	252
Dynamischer Biege-E-Modul des trockenen Schnittholzes	n.b. <sup>1)</sup>	n.b. <sup>1)</sup>	n.b. <sup>1)</sup>	n.b. <sup>1)</sup>	n.b. <sup>1)</sup>	30	n.b. <sup>1)</sup>	n.b. <sup>1)</sup>	30
Biegefestigkeit nach EN 408	27	26	29	27	27	30	44	42	252
Zug-E-Modul nach EN 408	26	26	28	27	27	30	44	20	228
Zugfestigkeit nach EN 408	26	26	28	27	27	30	44	20	228
Holzfeuchte Zugprobe nach EN 408	26	26	28	27	27	30	44	20	228
Bruttorohdichte des frischen Schnittholzes	53	54	57	55	55	60	89	62	485
dynamischer-E-Modul des frischen Schnittholzes	53	54	56	55	55	60	89	62	484
Rohdichte nach EN 408 (u=12%)	51	52	55	54	54	60	88	62	476
n.b.: dieser Wert wurde nicht bestimmt									
<sup>1)</sup> Die Ermittlung des dynamischen Biege-E-Moduls beschränkte sich bis auf die Reihe KM auf Brettlamellen.									
<sup>2)</sup> Zur unterschiedlichen Summe: War für die Klassifizierung in Ausschuss offensichtlich ein sonstiges Merkmal (DIN 4074 T1) ausschlaggebend wurde die Ästigkeit (DIN 4074 T1) nicht ermittelt									

**Tabelle D2:** Übersicht über die Anzahl der gültigen Beobachtungen für die Untersuchungen an Kanthölzern

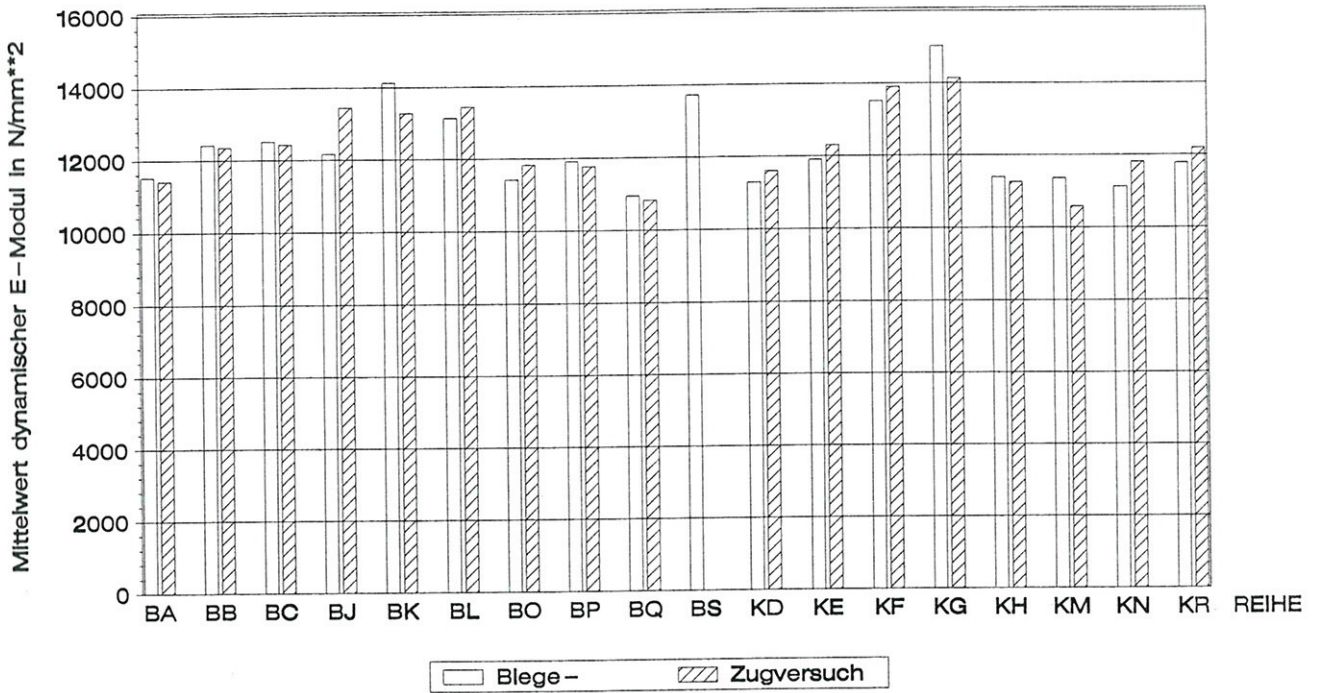


Bild E1: Mittelwerte des dynamischen E-Moduls nach Reihen und Versuchstyp getrennt

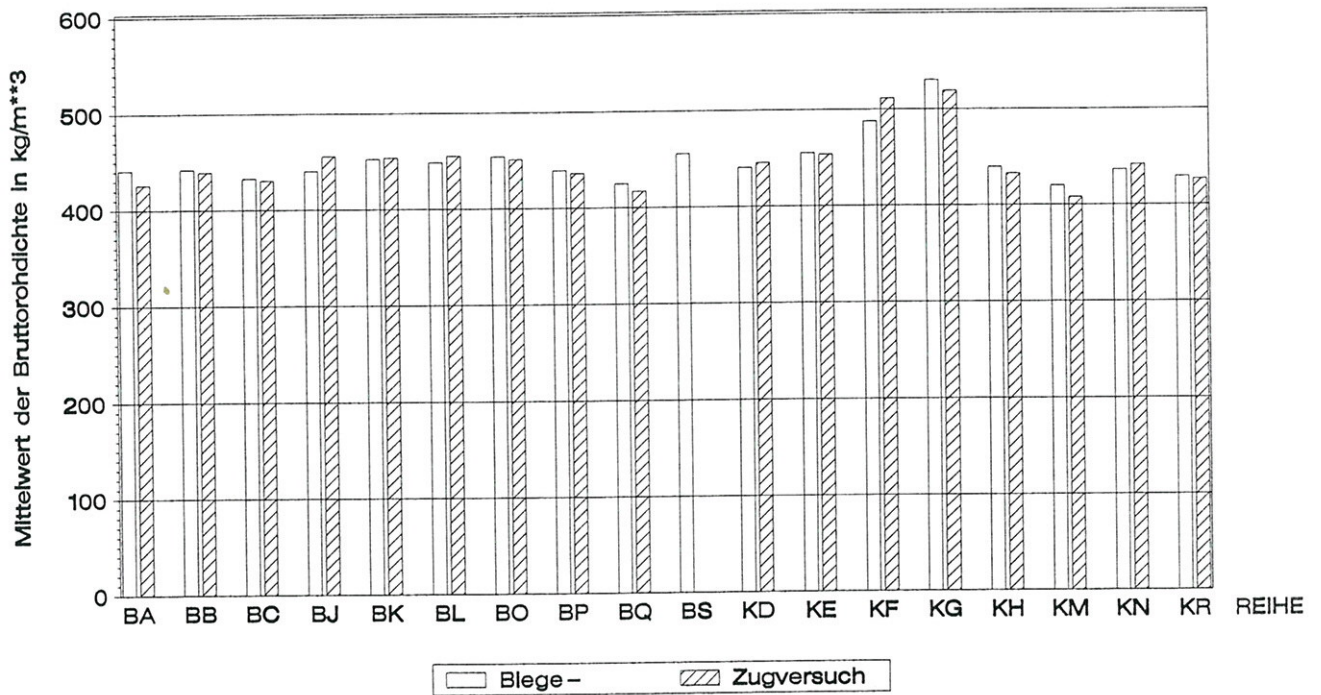


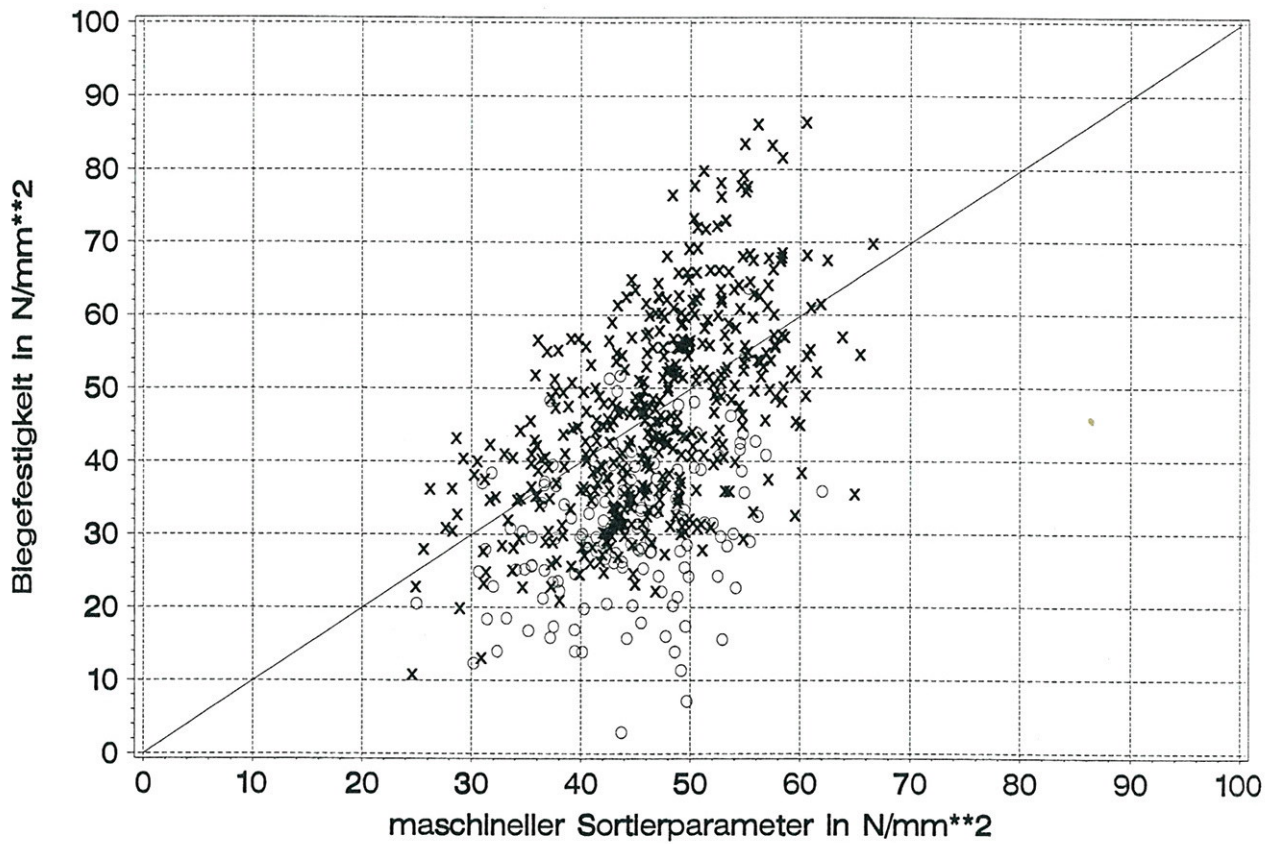
Bild E2: Mittelwerte der Bruttorohdichte nach Reihen und Versuchstyp getrennt



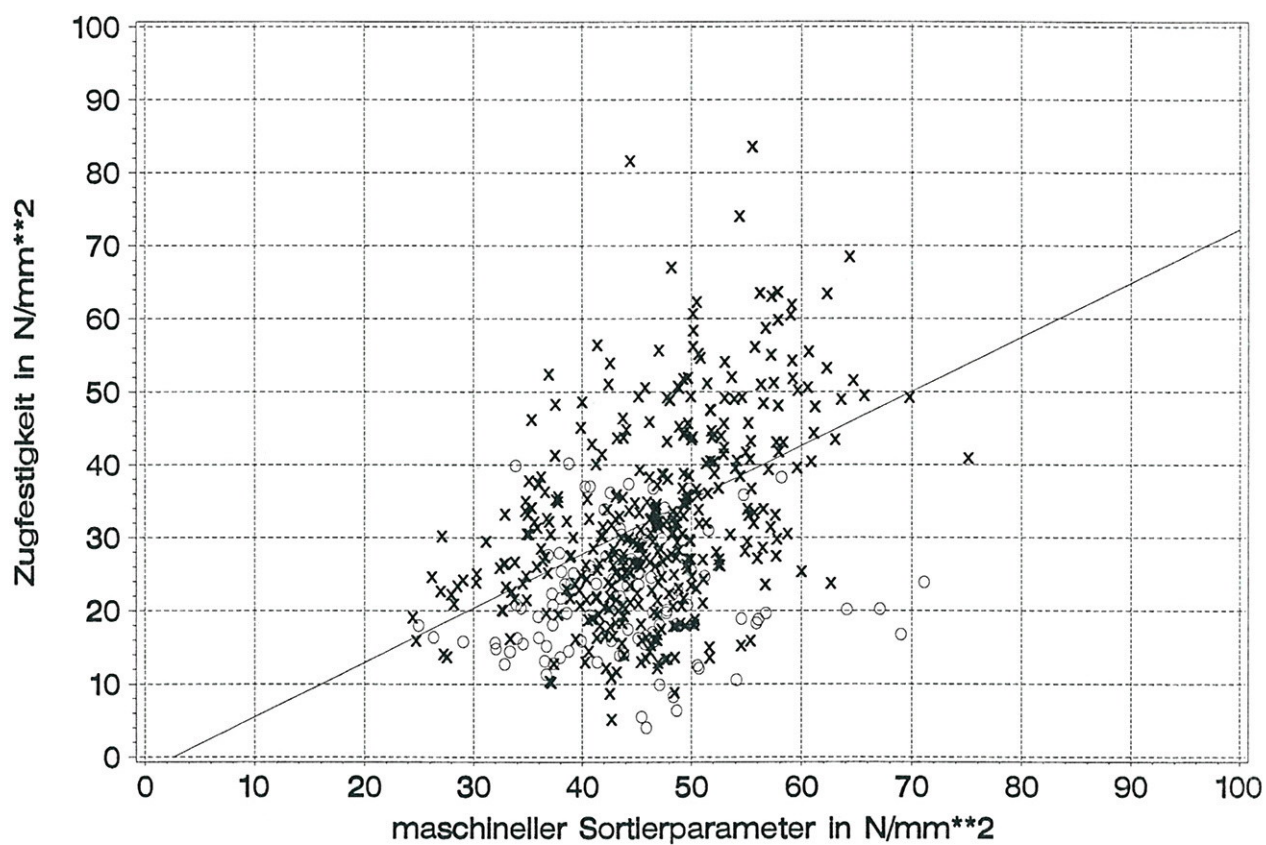


Modell-Nr.	MASOPA in [N/mm <sup>2</sup> ]	Konstanten bzw. Koeffizienten der Regressionsgleichung							r
		Konstante [-]	Breite [mm]	Dicke/Höhe [mm]	Bruttorohdichte (trockenes Holz) [kg/m <sup>3</sup> ]	Dyn. E-Modul (trockenes Holz) [N/mm <sup>2</sup> ]	Dyn. E-Modul (frisches Holz) [N/mm <sup>2</sup> ]		
1/BK	fm,p =	-13,1			+0,13200				0,464
2/BK	fm,p =	-24,3	+0,054000		+0,14100				0,525
3/BK	fm,p =	-12,5		-0,0520	+0,14200				0,561
4/BK	fm,p =	-14,2	+0,007930	-0,0477	+0,14300				0,562
5/BK	fm,p =	-3,19				+0,00390			0,680
6/BK	fm,p =	-7,44	+0,035200			+0,00387			0,698
7/BK	fm,p =	+1,18		-0,0407		+0,00387			0,724
8/BK	fm,p =	+2,78	-0,008920	-0,0456		+0,00387			0,724
9/BK	fm,p =	+11,9			-0,06120	+0,00488			0,692
10/BK	fm,p =	+4,14	+0,029900		-0,04450	+0,00459			0,704
11/BK	fm,p =	+10,3		-0,0379	-0,03820	+0,00448			0,728
12/BK	fm,p =	+13,4	-0,013200	-0,0449	-0,04140	+0,00454			0,729
13/BK	fm,p =	+0,318					+0,00412		0,648
14/BK	fm,p =	-5,54	+0,042100				+0,00417		0,678
15/BK	fm,p =	+4,11		-0,0467			+0,00422		0,713
16/BK	fm,p =	+4,98	-0,004740	-0,0492			+0,00422		0,713

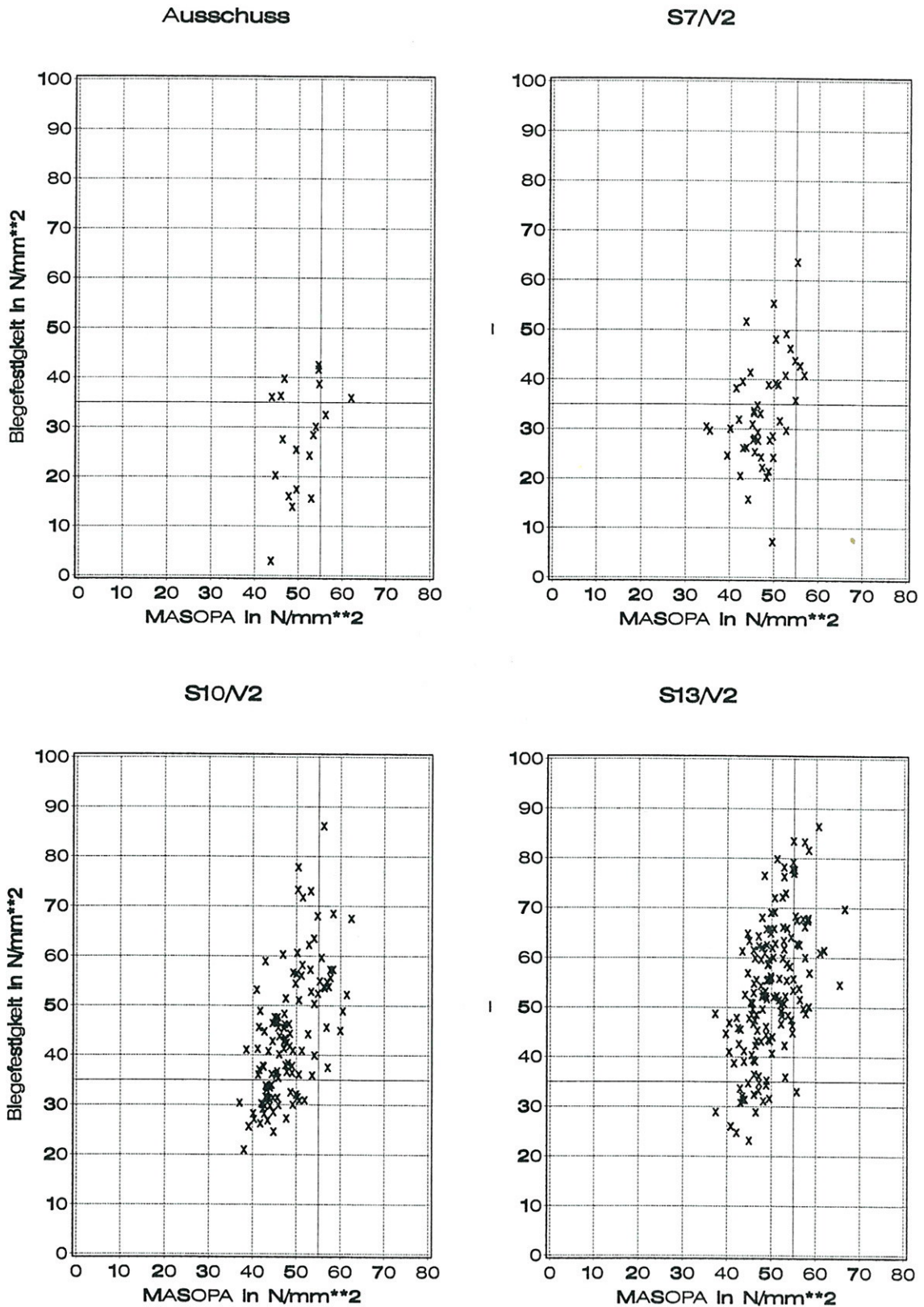
Tabelle F1: Konstanten und Koeffizienten der Regressionsgleichungen, Regressionsmodelle für Brettlamellen und Kanthölzer gemeinsam



**Bild F1:** Biegefestigkeit von Brettlamellen und Kanthölzern in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 4/BK, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade, O = Ausschuss und S7/V2



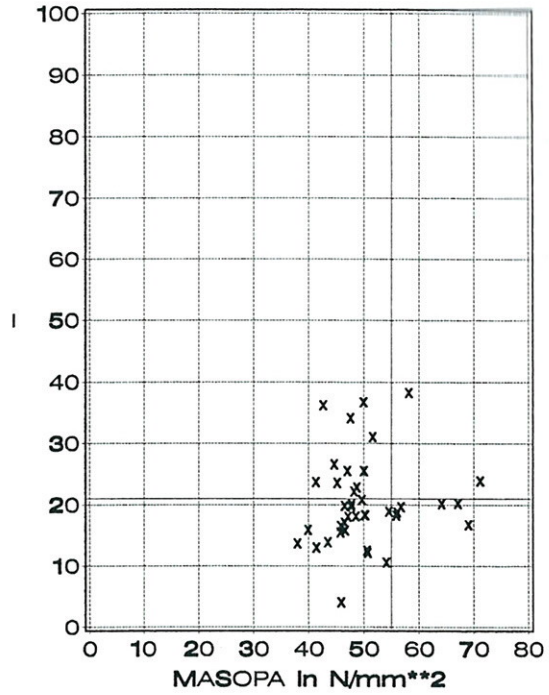
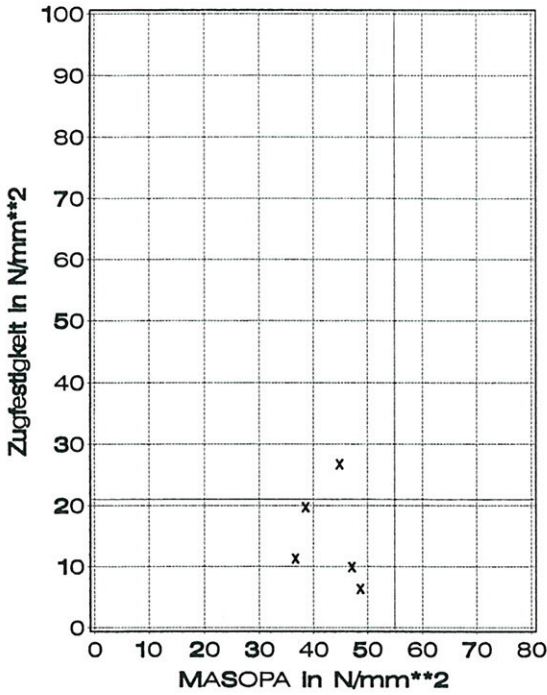
**Bild F2:** Zugfestigkeit von Brettlamellen und Kanthölzern in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 4/BK, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade, O = Ausschuss und S7/V2



**Bild F3:** Biegefestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 4/BK nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 55 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Biegefestigkeit von C35, 35N/mm<sup>2</sup>

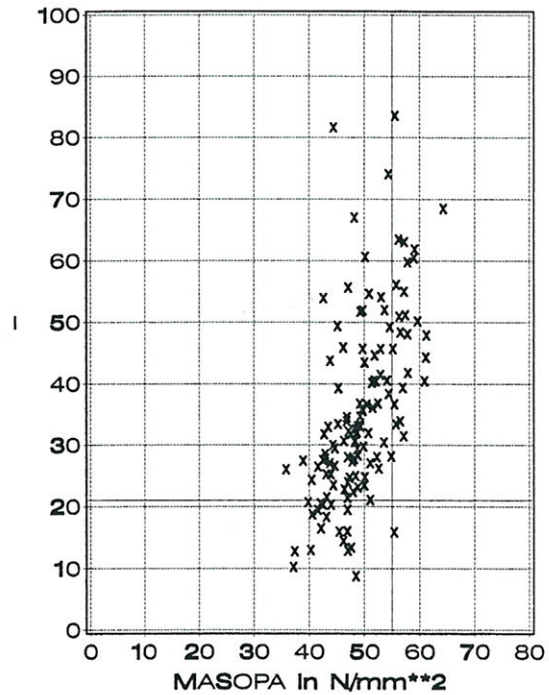
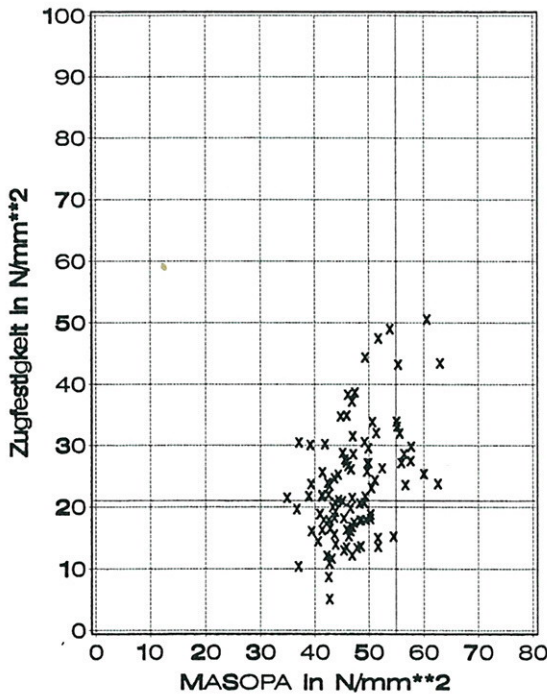
Ausschuss

S7N/2

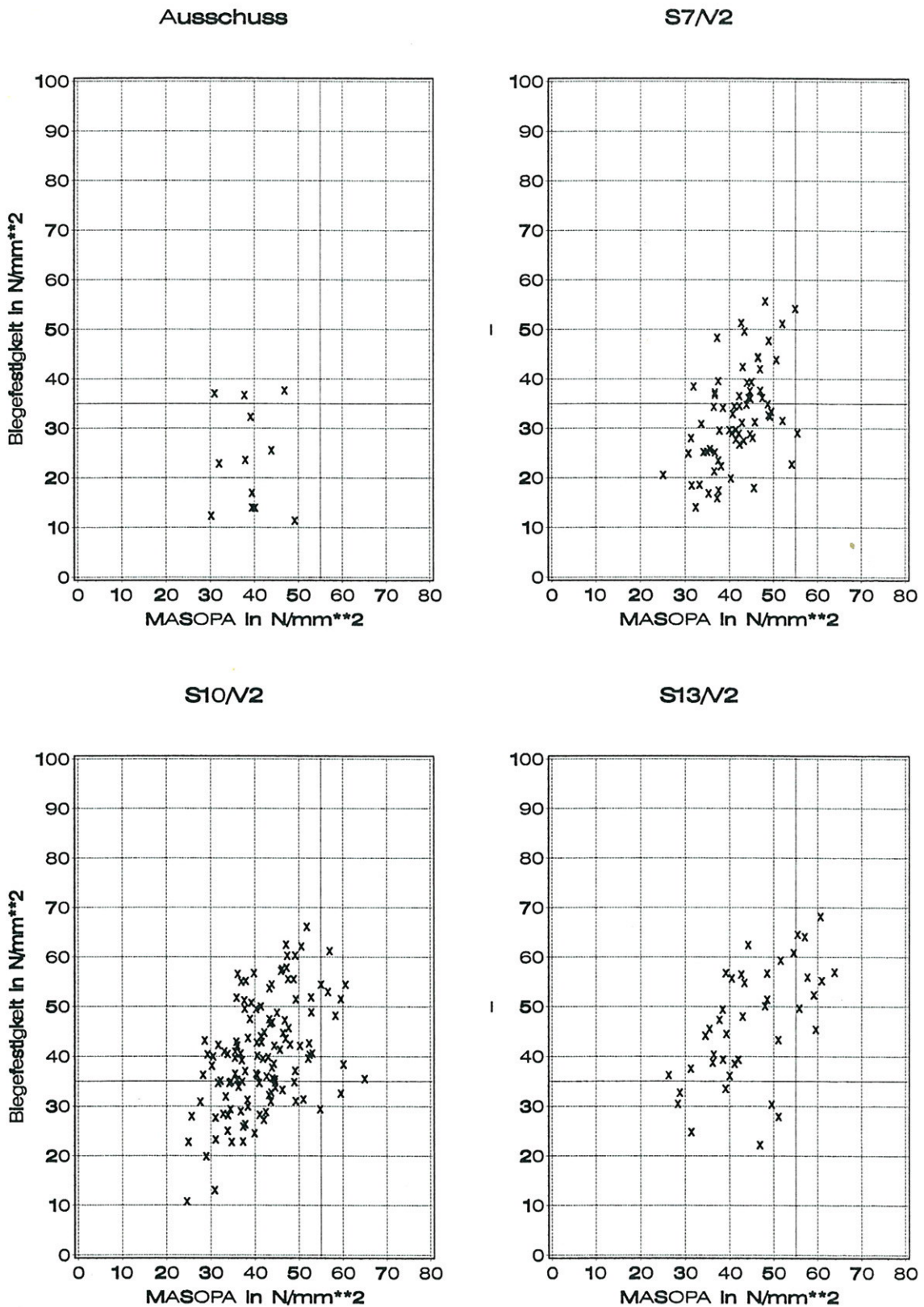


S10N/2

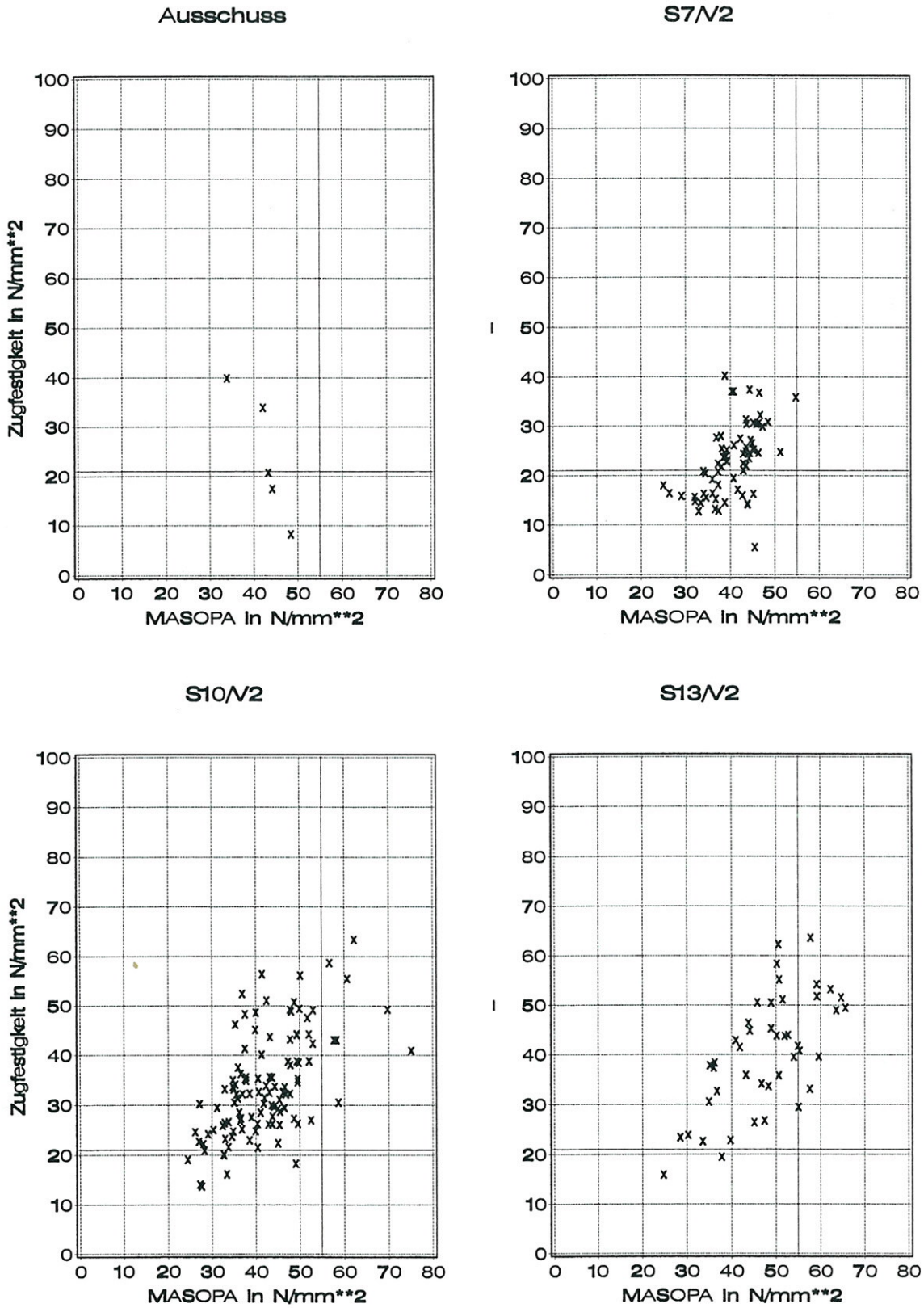
S13N/2



**Bild F4:** Zugfestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 4/BK nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 55 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Zugfestigkeit von C35, 21 N/mm<sup>2</sup>



**Bild F5:** Biegefestigkeit von Kanthölzern in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 4/BK nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 55 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Biegefestigkeit von C35, 35N/mm<sup>2</sup>



**Bild F6:** Zugfestigkeit von Kanthölzern in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 4/BK nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 55 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Zugfestigkeit von C35, 21 N/mm<sup>2</sup>

Modell 4/BK	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS
	Maße	100/48	220/48	175/36	100/20	175/36	220/48	100/20	175/36	220/20	175/48
	n mit $f_{m,p} > 55$	3	2	2	3	4	4	4	3	6	10
	n aus Anzahl	29	26	25	30	30	31	47	28	33	60
Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	57,2	56,2	83,9	47,4	64,4	66,8	56,1	55,9	56,8	61,1
	s	5,63	9,07	3,21	11,3	16,7	14,1	16,5	11,5	5,73	8,29
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	min. Wert	51,6	49,8	81,6	37,5	48,7	48,9	33,0	45,6	50,1	52,2
dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	13900	15300	17400	14200	16600	16400	13900	14600	13900	16500
	s	702	810	956	1480	1940	842	2430	378	914	1260
Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	490	492	551	477	516	501	507	471	485	514
	s	9,32	8,90	2,53	15,8	27,6	15,2	25,9	16,4	6,49	29,7
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabelle F2:** Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen und Kanthölzern, MASOPA nach Modell 4/BK, Anpassungsschritt



Modell 4/BK	Reihe	KD	KE	KF	KG	KH	KM	KN	KR	Kant- hölzer	Brettla- mellen	Alle Kollektive
	Maße	50/100	50/240	80/180	60/180	80/240	50/100	60/180	80/240	-	-	-
	n mit $f_{m,p} > 55$	-	-	5	11	-	-	1	-	17	41	58
	n aus Anzahl	27	26	29	27	27	30	44	42	252	339	591
	Mittelwert	-	-	56,8	50,4	-	-	48,2	-	52,2	60,0	57,7
	s	-	-	12,0	9,37	-	-	-	-	10,0	12,1	12,0
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37,9	35,2
	min. Wert	-	-	38,4	32,5	-	-	48,2	-	32,5	33,0	32,5
	Mittelwert	-	-	17800	16700	-	-	13400	-	16900	15400	15800
	s	-	-	1670	1170	-	-	-	-	1600	1750	1830
	Mittelwert	-	-	558	551	-	-	546	-	552	501	515
	s	-	-	21,0	25,4	-	-	-	-	23,1	26,9	34,6
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	457	458

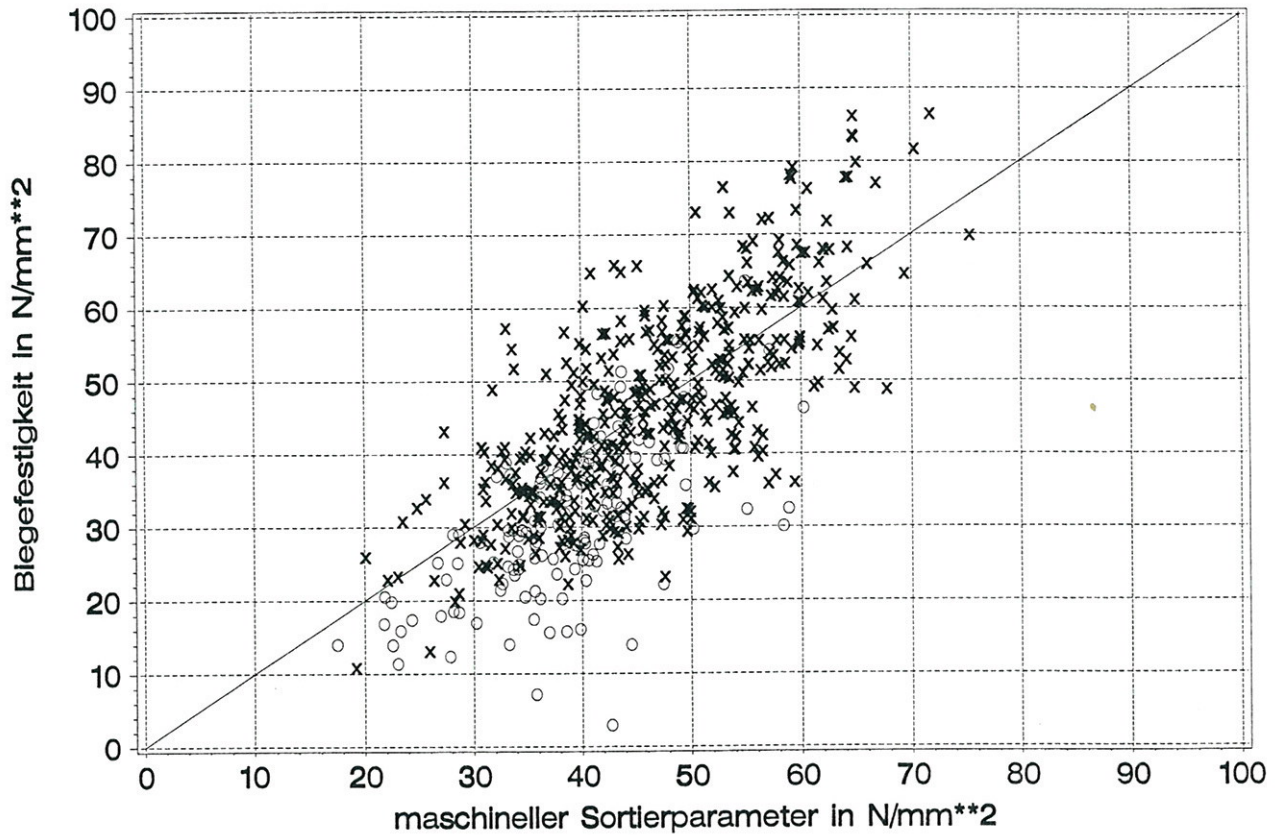
**Tabelle F2:** (Fortsetzung) Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen und Kanthölzern, MASOPA nach Modell 4/BK, Anpassungsschritt

Modell 4/BK	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS
	Maße	100/48	220/48	175/36	100/20	175/36	220/48	100/20	175/36	220/20	175/48
	n mit $f_{m,p} > 55$	1	3	3	10	5	6	3	5	2	-
	n aus Anzahl	28	27	25	30	30	30	42	28	31	-
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	50,6	41,5	43,6	49,1	47,1	47,1	22,7	40,3	34,3	-
	s	-	8,84	10,6	18,0	10,3	15,8	6,41	15,3	3,34	-
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	min. Wert	50,6	33,9	31,4	25,3	33,4	23,7	15,9	27,1	31,9	-
	Mittelwert	17000	15300	13600	16600	17200	16400	13800	13900	13900	-
	s	-	1760	2760	1590	1830	1470	1680	155	1430	-
Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	528	511	507	533	526	542	506	503	494	-
	s	-	2,41	29,0	27,4	27,4	13,7	10,3	14,0	8,23	-
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

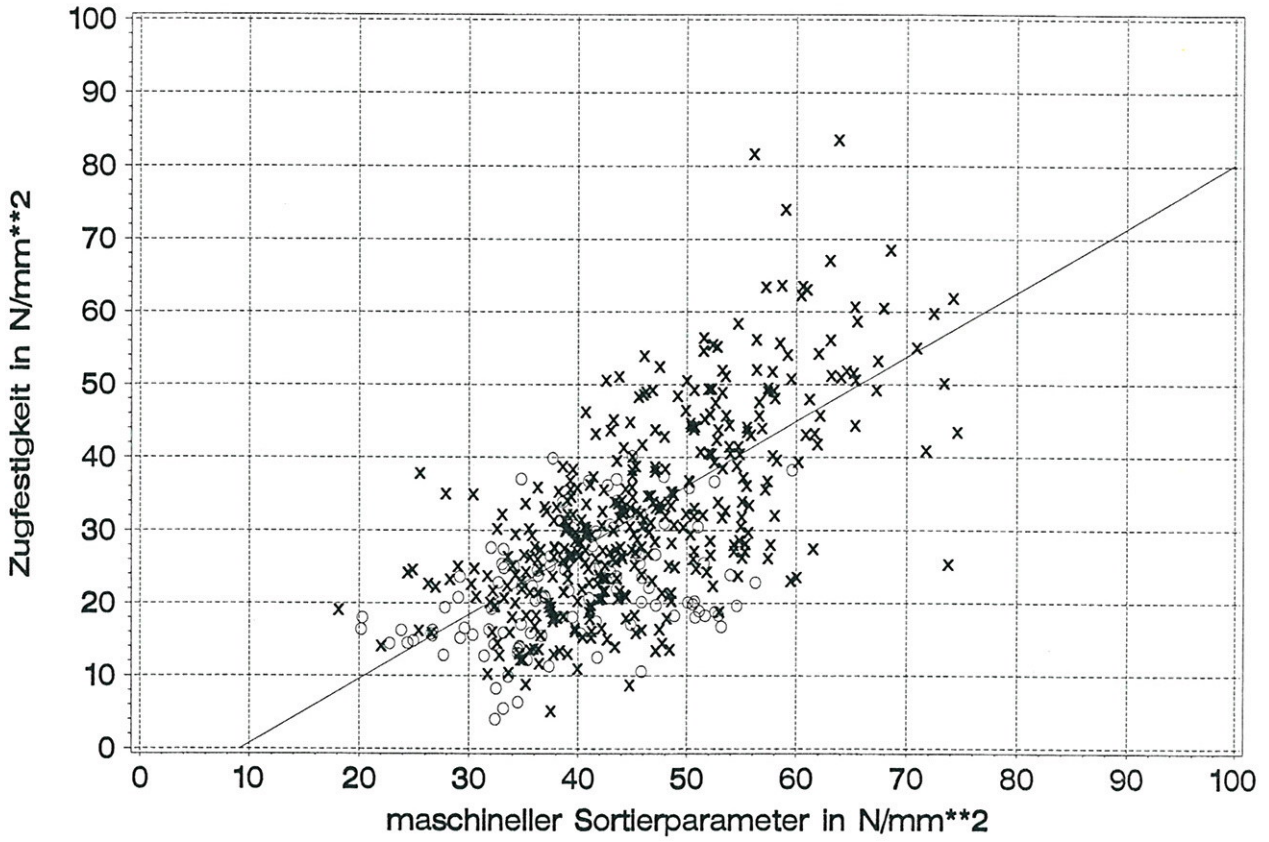
**Tabelle F3:** Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen und Kanthölzern, MASOPA nach Modell 4/BK, Überprüfungsschritt

Modell 4/BK	Reihe	KD	KE	KF	KG	KH	KM	KN	KR	Kant- hölzer	Brettla- mellen	Alle Kollektive
	Maße	50/100	50/240	80/180	60/180	80/240	50/100	60/180	80/240	-	-	-
	n mit $f_{m,p} > 55$	1	-	5	10	2	-	1	-	19	38	57
	n aus Anzahl	26	26	28	27	27	30	44	20	228	271	499
	Mittelwert	30,5	-	47,2	47,7	52,5	-	51,5	-	47,4	43,5	44,8
	s	-	-	10,3	10,8	1,01	-	-	-	10,1	14,7	13,4
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,8	23,7
	min. Wert	30,5	-	33,1	29,4	51,8	-	51,5	-	29,4	15,9	15,9
	Mittelwert	13200	-	18300	16200	19700	-	18700	-	17100	15600	16100
	s	-	-	2700	1440	571	-	-	-	2290	2050	2220
	Mittelwert	544	-	603	567	590	-	672	-	581	521	541
	s	-	-	58,8	31,1	19,5	-	-	-	41,4	24,5	41,8
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	481	472
	Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]											
	dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]											
	Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]											

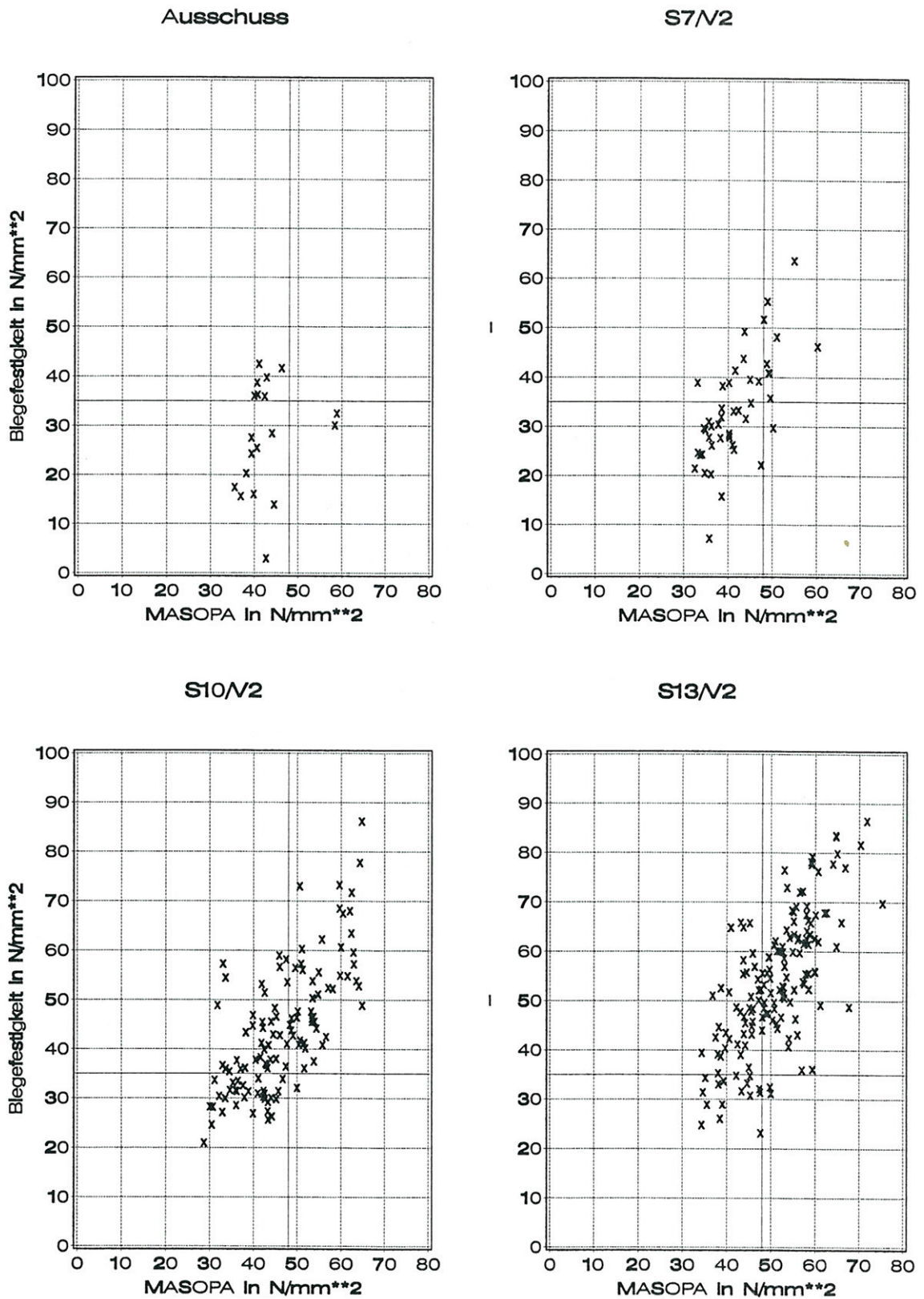
**Tabelle F3:** (Forts.) Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen und Kanthölzern, MASOPA nach Modell 4/BK, Überprüfungsschritt



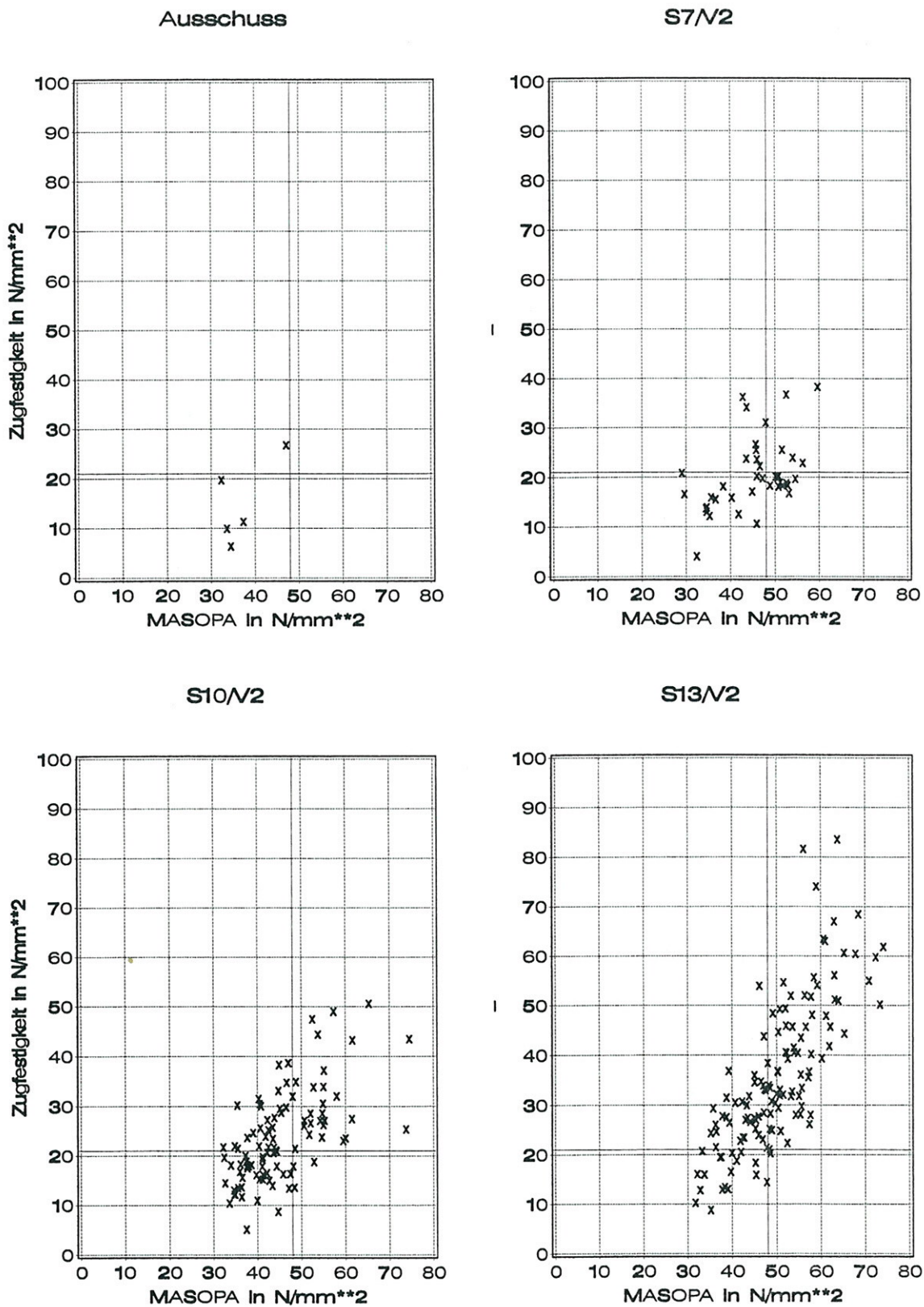
**Bild F7:** Biegefestigkeit von Brettlamellen und Kanthölzern in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 12/BK, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade, O = Ausschuss und S7/V2



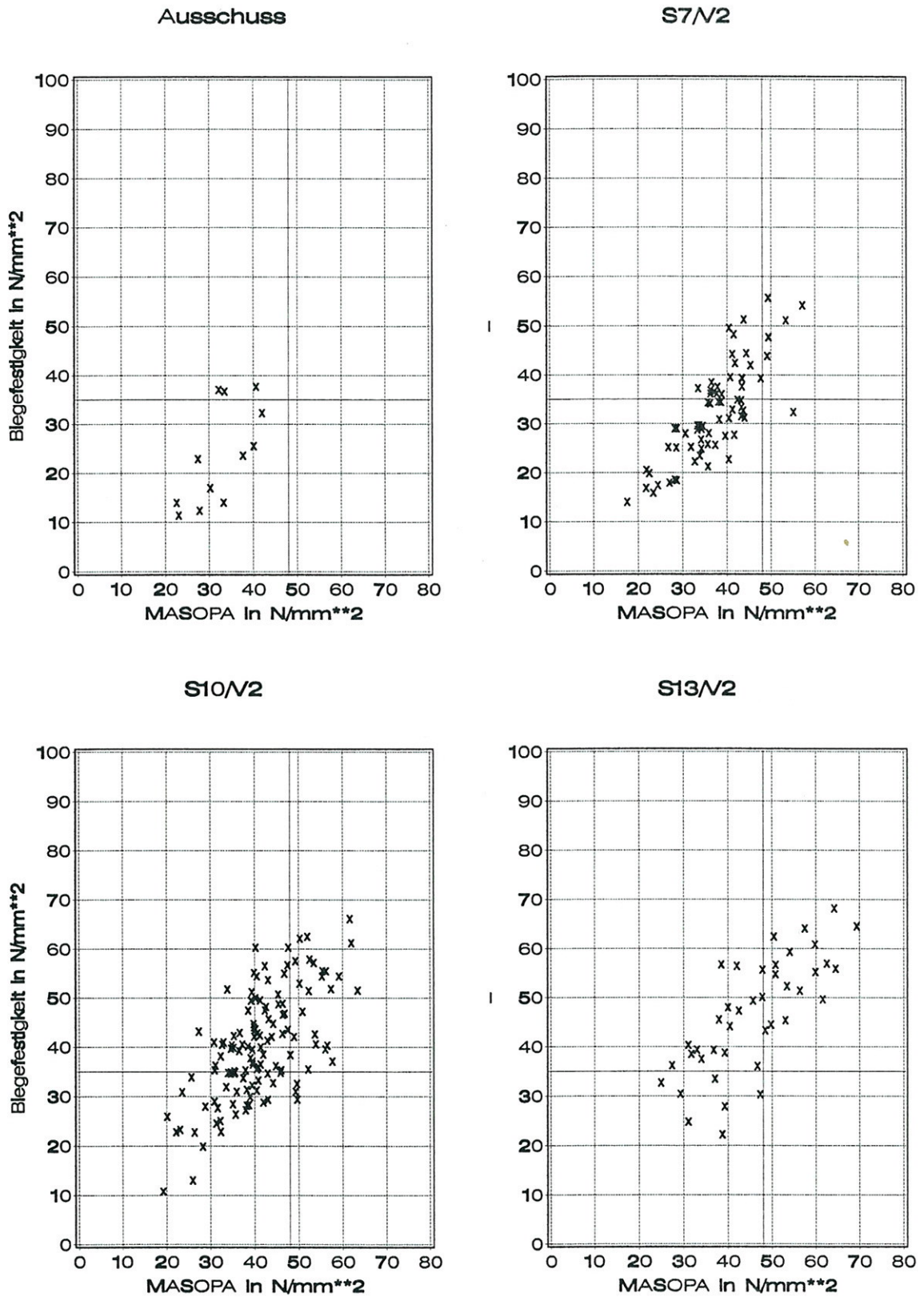
**Bild F8:** Zugfestigkeit von Brettlamellen und Kanthölzern in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 12/BK, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade, O = Ausschuss und S7/V2



**Bild F9:** Biegefestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 12/BK nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 48 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Biegefestigkeit von C35, 35N/mm<sup>2</sup>



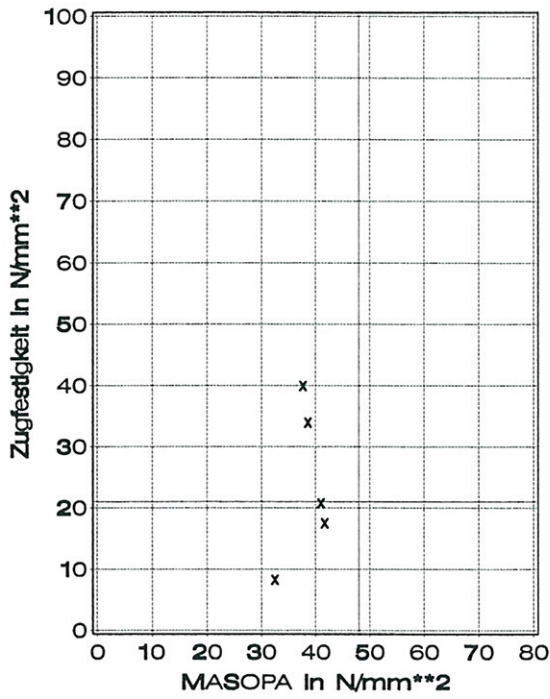
**Bild F10:** Zugfestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 12/BK nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 48 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Zugfestigkeit von C35, 21 N/mm<sup>2</sup>



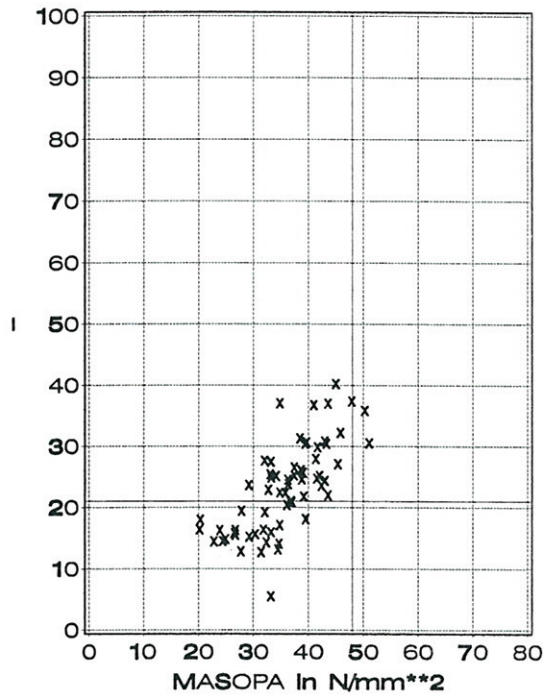
**Bild F11:** Biegefestigkeit von Kanthölzern in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 12/BK nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 48 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Biegefestigkeit von C35, 35N/mm<sup>2</sup>



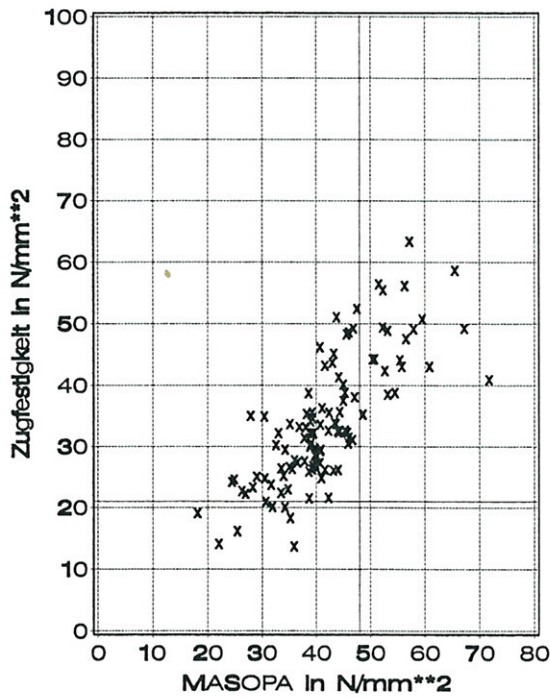
**Ausschuss**



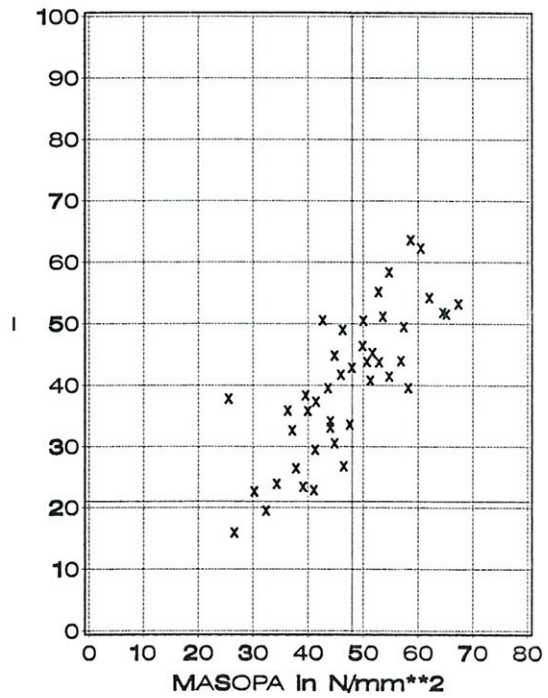
**S7/N2**



**S10/N2**



**S13/N2**



**Bild F12:** Zugfestigkeit von Kanthölzern in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 12/BK nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 48 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Zugfestigkeit von C35, 21 N/mm<sup>2</sup>

Modell 12/BK	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS
	Maße	100/48	220/48	175/36	100/20	175/36	220/48	100/20	175/36	220/20	175/48
	n mit $f_{m,p} > 48$	8	11	11	12	25	16	7	9	5	43
	n aus Anzahl	29	26	25	30	30	31	47	28	33	60
	Mittelwert	53,3	55,8	62,0	61,8	59,6	60,8	55,8	48,9	57,3	54,8
	s	6,06	12,7	13,3	13,7	13,7	12,2	10,6	10,4	6,31	10,8
	char. Wert	-	-	-	-	37,5	-	-	-	-	33,0
	min. Wert	44,2	35,9	46,2	37,5	36,0	42,3	40,9	32,1	49,6	31,1
	Mittelwert	13800	14400	14700	14300	14700	14900	14100	13900	14100	14700
	s	859	1270	1630	1430	1460	1470	1290	827	874	1490
	Mittelwert	470	456	498	463	450	463	485	446	465	457
	s	19,7	23,6	35,6	30,3	37,9	34,0	46,0	23,5	40,7	39,7
	char. Wert	-	-	-	-	387	-	-	-	-	391
	Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]										
	dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]										
	Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]										

**Tabelle F4:** Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen und Kanthölzern, MASOPA nach Modell 12/BK, Anpassungsschritt

Modell 12/BK	Reihe	KD	KE	KF	KG	KH	KM	KN	KR	Kanthölzer	Brettlamellen	Alle Kollektive
	Maße	50/100	50/240	80/180	60/180	80/240	50/100	60/180	80/240	-	-	-
	n mit $f_{m,p} > 48$	1	1	10	18	0	5	5	4	44	147	191
	n aus Anzahl	27	26	29	27	27	30	44	42	252	339	591
	Mittelwert	47,2	57,2	57,0	46,6	-	51,9	52,0	55,1	51,2	57,1	55,8
	s	-	-	8,56	10,5	-	10,5	9,44	7,63	10,0	11,9	11,8
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	31,3	38,4	36,1
	min. Wert	47,2	57,2	38,4	29,4	-	40,6	37,1	44,5	29,4	31,1	29,4
	Mittelwert	13600	15900	16800	16100	-	14700	15200	15500	15900	14500	14800
	s	-	-	1640	1280	-	1050	961	776	1420	1390	1510
	Mittelwert	455	474	534	531	-	474	483	472	511	462	473
	s	-	-	30,2	32,9	-	38,3	21,5	22,3	40,3	36,9	42,8
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	444	401	402

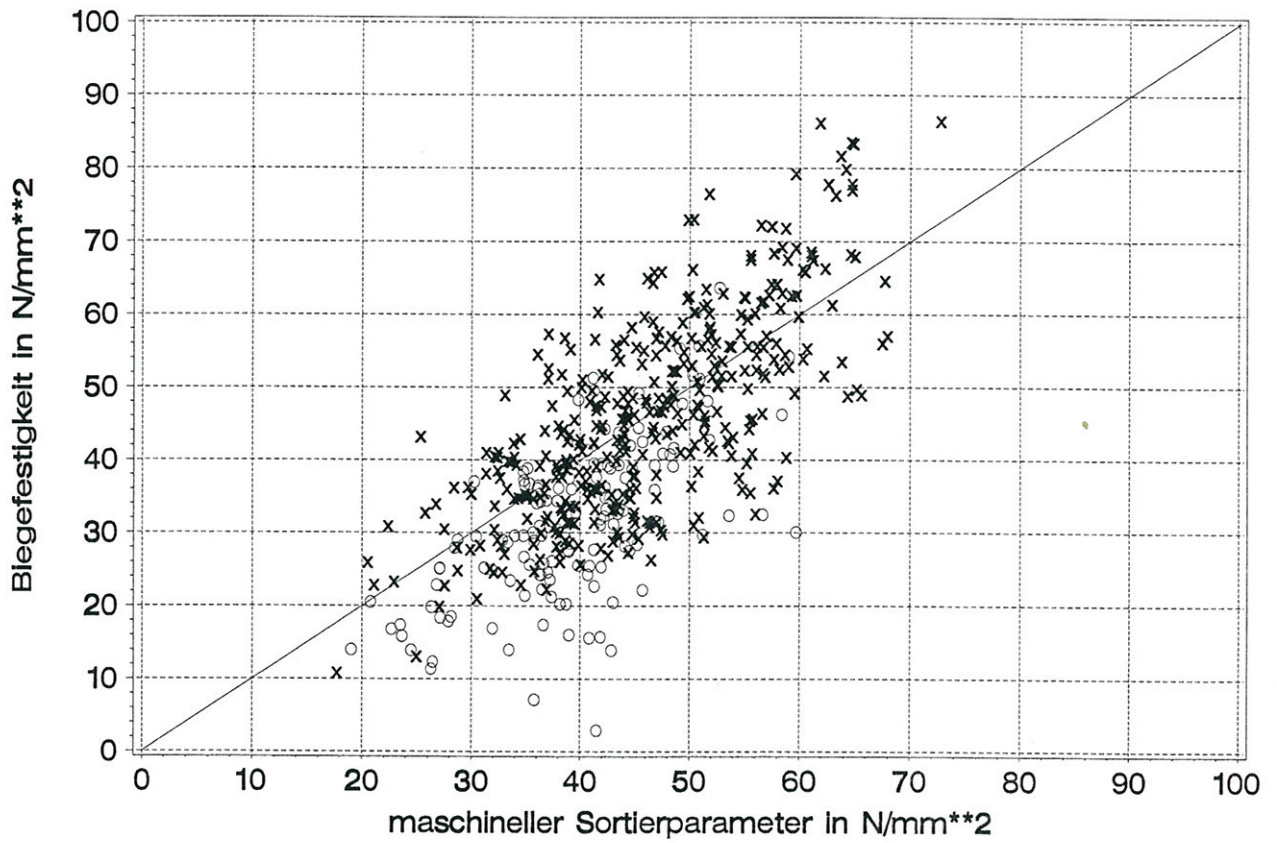
**Tabelle F4:** (Forts.) Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen und Kanthölzern, MASOPA nach Modell 12/BK, Anpassungsschritt

Modell 12/BK	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS
	Maße	100/48	220/48	175/36	100/20	175/36	220/48	100/20	175/36	220/20	175/48
	n mit $f_{m,p} > 48$	5	13	13	17	17	19	8	6	6	-
	n aus Anzahl	28	27	25	30	30	30	42	28	31	-
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	38,7	37,3	40,1	44,3	41,9	44,2	22,7	41,1	28,4	-
	s	11,3	7,71	10,6	19,7	14,4	12,6	5,84	14,7	5,17	-
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	min. Wert	23,0	24,7	26,6	20,3	24,3	21,0	13,6	27,1	22,3	-
dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	14700	14200	13900	15300	15000	14800	13400	14400	13700	-
	s	1610	1110	1360	2110	1870	1490	1100	1120	1110	-
Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	470	473	452	507	482	483	461	483	469	-
	s	35,4	26,5	28,5	42,9	37,4	43,9	35,5	32,9	26,8	-
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

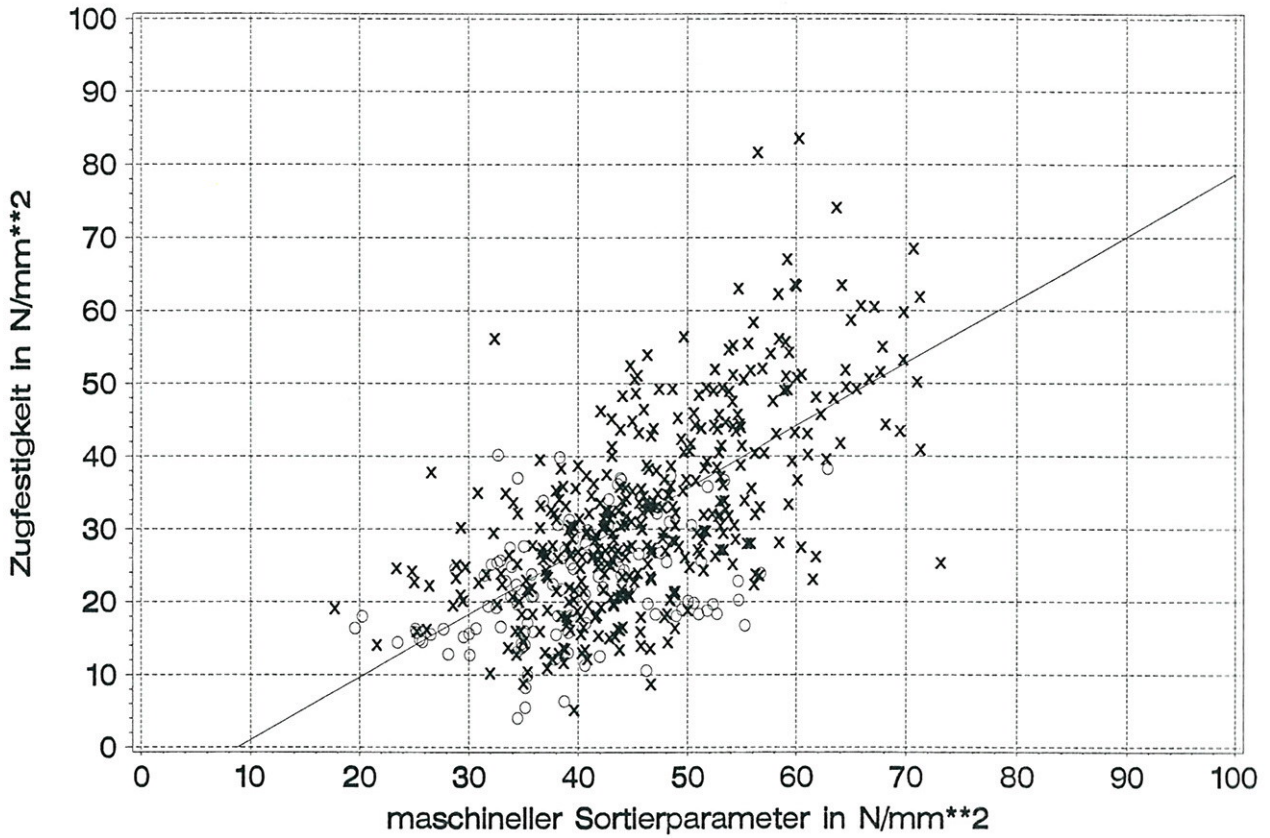
**Tabelle F5:** Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen und Kanthölzern, MASOPA nach Modell 12/BK, Überprüfungsschritt

Modell 12/BK	Reihe	KD	KE	KF	KG	KH	KM	KN	KR	Kanthölzer	Brettlamellen	Alle Kollektive
	Maße	50/100	50/240	80/180	60/180	80/240	50/100	60/180	80/240	-	-	-
	n mit $f_{m,p} > 48$	2	2	8	11	3	2	13	0	41	104	145
	n aus Anzahl	26	26	28	27	27	30	44	20	228	271	499
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	45,6	51,4	46,4	50,0	47,8	41,3	49,2	-	48,3	39,4	42,0
	s	4,61	7,10	7,45	8,70	8,13	3,55	7,13	-	7,38	14,1	13,2
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	35,4	21,1	22,5
	min. Wert	42,3	46,4	35,2	39,6	38,5	38,8	35,2	-	35,2	13,6	13,6
dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	14200	15100	17300	16400	18500	14200	15600	-	16200	14500	15000
	s	101	156	2370	921	2060	692	1330	-	1790	1620	1830
Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	476	475	560	551	567	498	516	-	533	478	494
	s	-	-	-	-	-	-	-	-	53,6	38,7	49,8
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	445	414	412

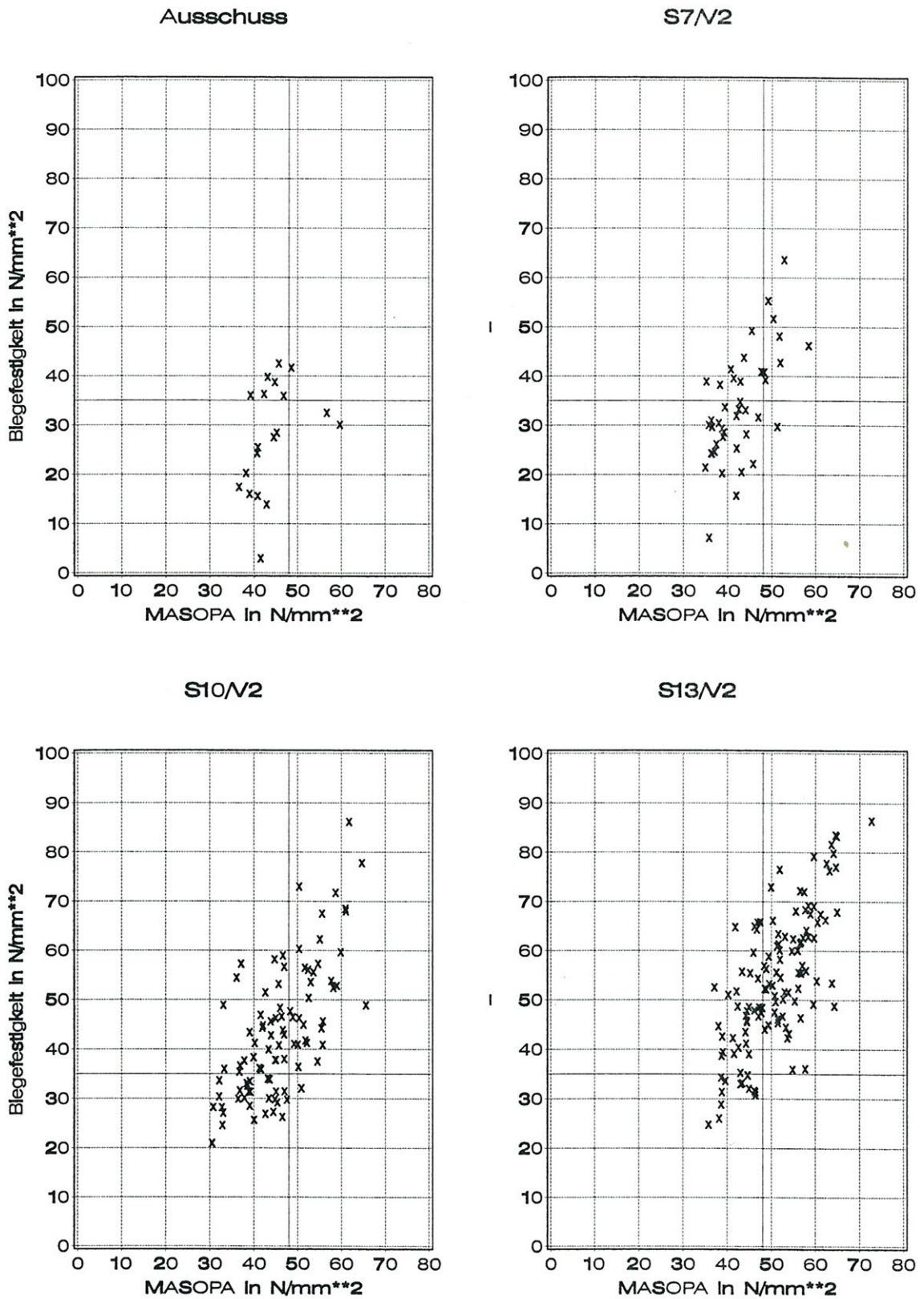
**Tabelle F5:** (Forts.) Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen und Kanthölzern, MASOPA nach Modell 12/BK, Überprüfungsschritt



**Bild F13:** Biegefestigkeit von Brettlamellen und Kanthölzern in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 16/BK, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade, O = Ausschuss und S7/V2

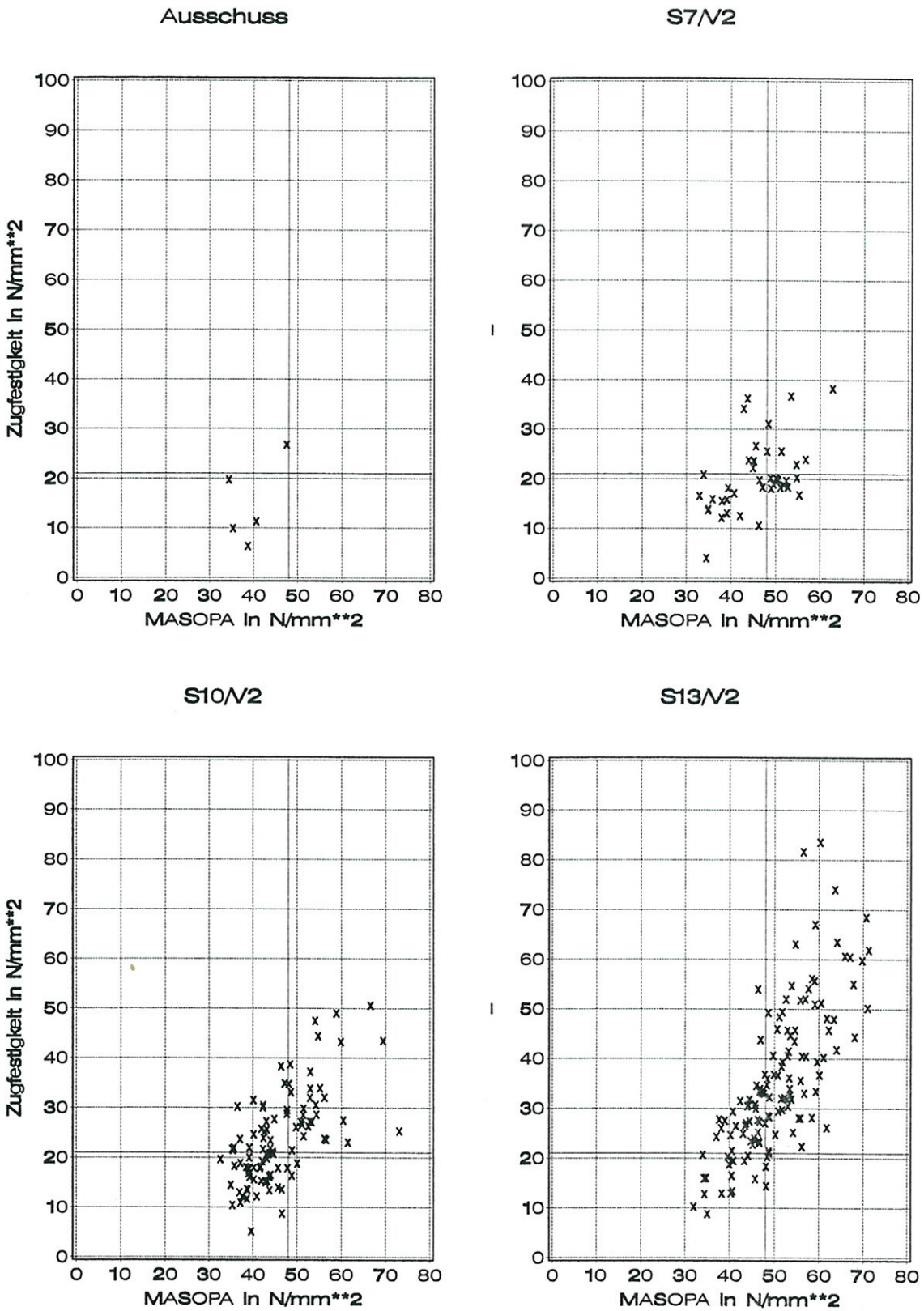


**Bild F14:** Zugfestigkeit von Brettlamellen und Kanthölzern in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 16/BK, X = S10V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade, O = Ausschuss und S7/V2

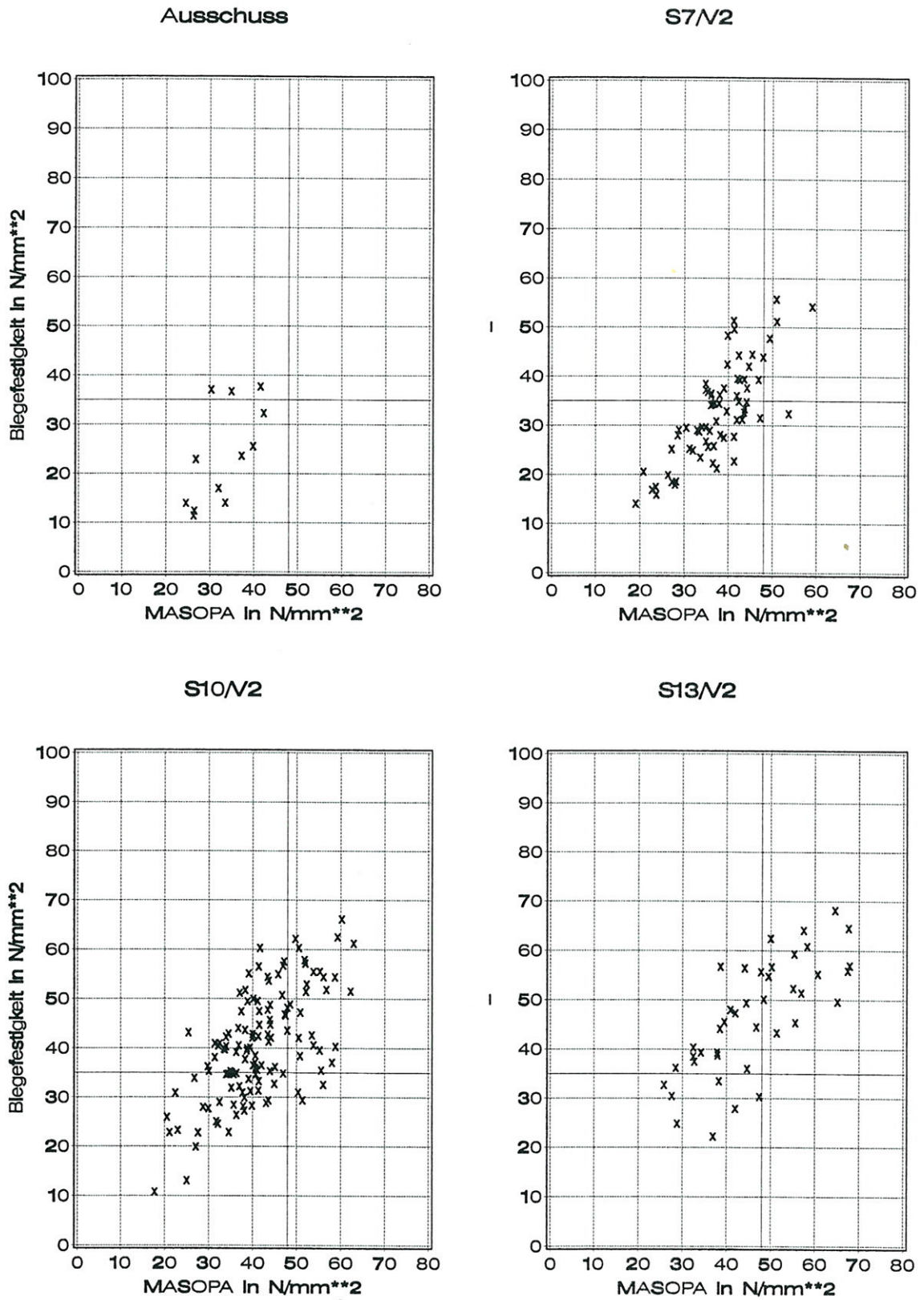


**Bild F15:** Biegefestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 16/BK nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 48 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Biegefestigkeit von C35, 35N/mm<sup>2</sup>

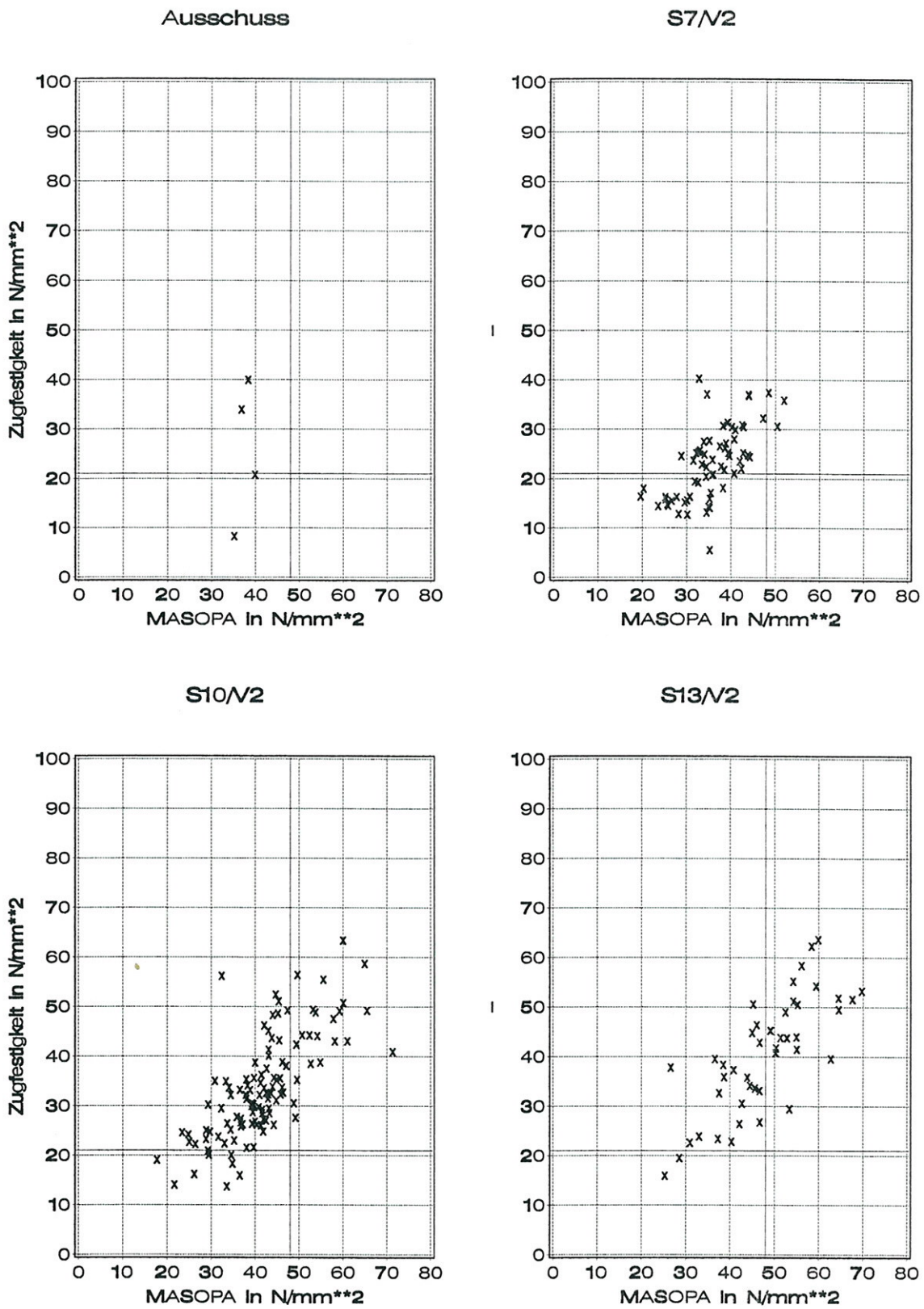




**Bild F16:** Zugfestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 16/BK nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 48 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Zugfestigkeit von C35, 21 N/mm<sup>2</sup>



**Bild F17:** Biegefestigkeit von Kanthölzern in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 16/BK nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 48 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Biegefestigkeit von C35, 35N/mm<sup>2</sup>



**Bild F18:** Zugfestigkeit von Kanthölzern in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 16/BK nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 48 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Zugfestigkeit von C35, 21 N/mm<sup>2</sup>

Modell 16/BK	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS
	Maße	100/48	220/48	175/36	100/20	175/36	220/48	100/20	175/36	220/20	175/48
	n mit $f_{m,p} > 48$	9	11	10	12	25	18	6	10	8	-
	n aus Anzahl	29	26	25	30	30	31	47	28	33	-
	Mittelwert	51,4	56,8	61,8	61,6	60,0	59,6	57,4	48,5	55,1	-
	s	8,00	12,3	14,0	14,0	13,4	12,0	10,7	9,86	5,73	-
	char. Wert	-	-	-	-	37,5	-	-	-	-	-
	min. Wert	36,4	35,9	46,2	37,5	36,0	42,3	40,9	32,0	49,6	-
	Mittelwert	13700	14300	14800	14200	14700	14700	14400	13700	13500	-
	s	943	1330	1680	1540	1510	1540	1110	909	1020	-
	Mittelwert	470	462	503	460	450	464	492	449	473	-
	s	18,4	20,2	32,9	37,4	37,9	29,7	46,6	23,1	33,0	-
	char. Wert	-	-	-	-	387	-	-	-	-	-
	Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]										
	dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]										
	Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]										

**Tabelle F6:** Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen und Kanthölzern, MASOPA nach Modell 16/BK, Anpassungsschritt

Modell 16/BK	Reihe	KD	KE	KF	KG	KH	KM	KN	KR	Kanthölzer	Brettlamellen	Alle Kollektive
	Maße	50/100	50/240	80/180	60/180	80/240	50/100	60/180	80/240	-	-	-
	n mit $f_{m,p} > 48$	2	1	10	19	0	5	4	4	45	109	154
	n aus Anzahl	27	26	29	27	27	30	44	42	252	279	531
Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	48,0	57,2	57,0	46,8	-	51,9	50,6	59,0	51,3	57,7	55,8
	s	1,16	-	8,56	10,2	-	10,5	10,3	2,99	9,90	12,3	11,9
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	31,4	39,0	36,3
	min. Wert	47,2	57,2	38,4	29,4	-	40,6	37,1	55,5	29,4	32,1	29,4
dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	13300	15900	16800	16000	-	14700	15500	15600	15800	14300	14800
	s	430	-	1640	1340	-	1050	840	706	1470	1400	1580
Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	472	474	534	528	-	474	491	485	512	465	479
	s	23,1	-	30,2	34,3	-	38,3	14,1	9,61	37,9	35,1	41,6
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	449	407	410

**Tabelle F6:** (Forts.) Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen und Kanthölzern, MASOPA nach Modell 16/BK, Anpassungsschritt

Modell 16/BK	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS
	Maße	100/48	220/48	175/36	100/20	175/36	220/48	100/20	175/36	220/20	175/48
	n mit $f_{m,p} > 48$	6	13	11	17	19	20	6	10	8	-
	n aus Anzahl	28	27	25	30	30	30	42	28	31	-
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	38,0	37,3	41,9	44,3	40,9	43,7	25,0	35,9	25,6	-
	s	10,2	7,71	10,8	19,7	14,6	12,4	4,50	13,1	6,75	-
	char. Wert	-	-	-	-	-	21,0	-	-	-	-
dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	min. Wert	23,0	24,7	26,6	20,3	14,4	21,0	18,8	21,4	16,3	-
	Mittelwert	14200	14200	14100	15300	14700	14700	13700	13500	13300	-
	s	1820	1110	1370	2110	1960	1540	1020	1350	1310	-
Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	461	473	458	507	478	481	464	473	452	-
	s	38,5	26,5	27,0	42,9	37,7	43,7	41,5	40,1	38,3	-
	char. Wert	-	-	-	-	-	409	-	-	-	-

**Tabelle F7:** Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen und Kanthölzern, MASOPA nach Modell 16/BK, Überprüfungsschritt

Modell 16/BK	Reihe	KD	KE	KF	KG	KH	KM	KN	KR	Kanthölzer	Brettlamellen	Alle Kollektive
	Maße	50/100	50/240	80/180	60/180	80/240	50/100	60/180	80/240	-	-	-
	n mit $f_{m,p} > 48$	3	1	8	12	4	2	13	0	43	110	153
	n aus Anzahl	26	26	28	27	27	30	44	20	228	271	499
	Mittelwert	40,6	56,4	46,4	47,7	42,8	41,3	49,7	-	47,0	39,0	41,3
	s	9,30	-	7,45	9,90	12,1	3,55	6,24	-	8,47	13,9	13,1
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	29,6	20,6	21,4
	min. Wert	30,5	56,4	35,2	29,4	27,6	38,8	41,3	-	27,6	14,4	14,4
	Mittelwert	13900	15200	17300	16000	16900	14200	15700	-	16000	14400	14800
	s	592	-	2390	1370	3600	692	1260	-	1940	1680	1900
	Mittelwert	499	455	560	556	532	498	526	-	536	476	493
	s	42,3	-	70,6	38,5	77,0	30,0	35,7	-	52,0	40,1	51,3
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	450	410	408
	Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]											
	dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]											
	Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]											

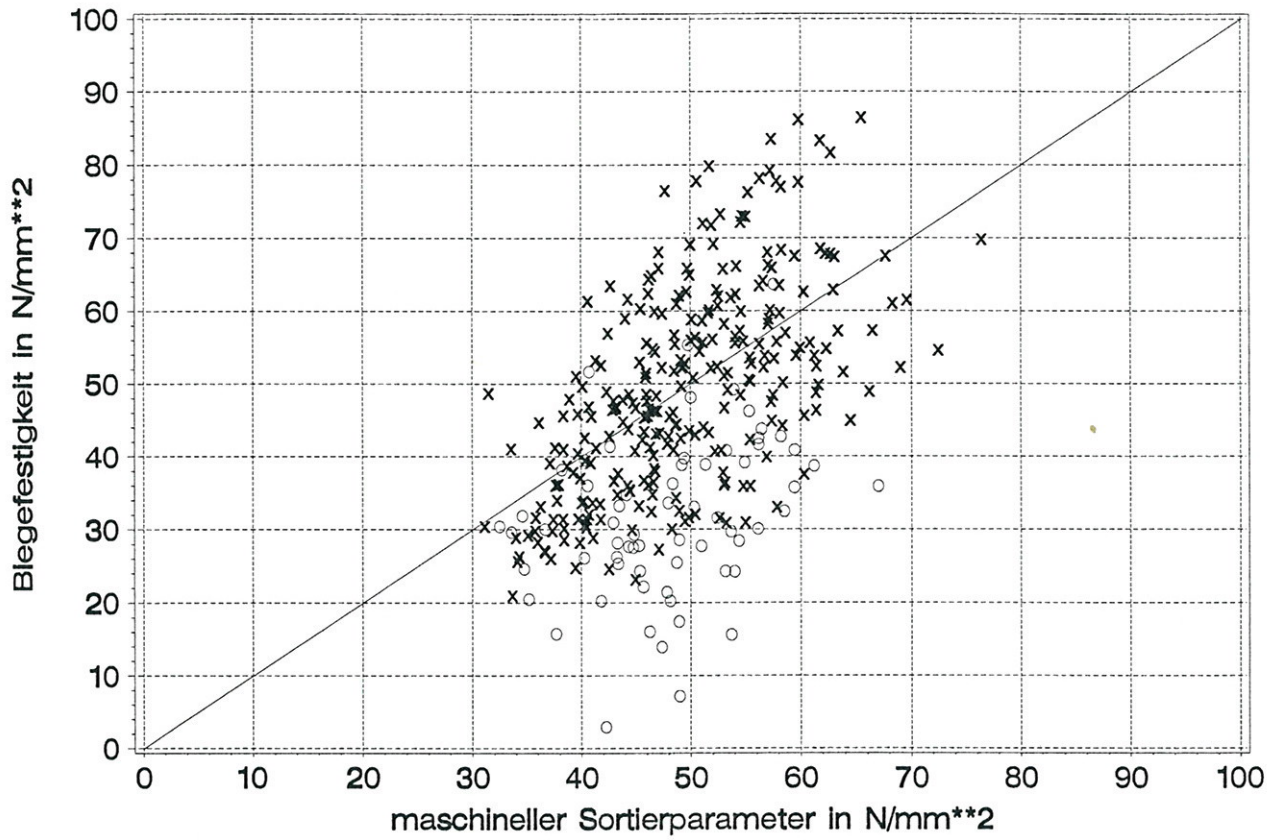
Tabelle F7: (Forts.) Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen und Kanthölzern, MASOPA nach Modell 16/BK, Überprüfungsschritt



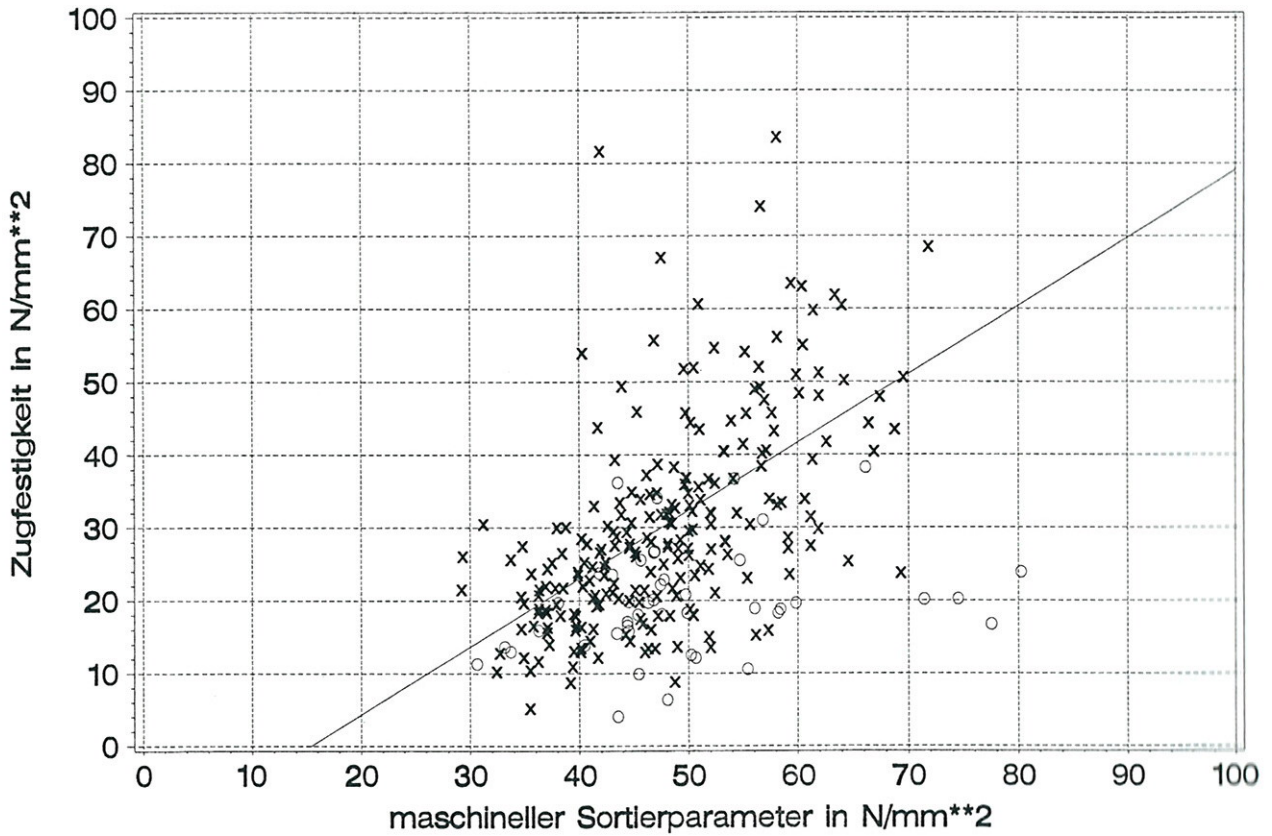


Modell-Nr.	MASOPA in [N/mm <sup>2</sup> ]	Konstanten bzw. Koeffizienten der Regressionsgleichung							r
		Konstante [-]	Breite [mm]	Dicke/Höhe [mm]	Bruttorohdichte (trockenes Holz) [kg/m <sup>3</sup> ]	Dyn. E-Modul (trockenes Holz) [N/mm <sup>2</sup> ]	Dyn. E-Modul (frisches Holz) [N/mm <sup>2</sup> ]		
1/B	fm,p =	-45,8			+0,21300				0,586
2/B	fm,p =	-43,8	-0,009780		+0,21300				0,587
3/B	fm,p =	-47,9		+0,0960	+0,21000				0,590
4/B	fm,p =	-44,8	-0,017100	+0,1160	+0,20800				0,592
5/B	fm,p =	-8,58				+0,00452			0,728
6/B	fm,p =	-4,04	-0,027600			+0,00454			0,733
7/B	fm,p =	-7,12		-0,0659		+0,00460			0,729
8/B	fm,p =	-3,58	-0,025400	-0,0369		+0,00458			0,733
9/B	fm,p =	-18,0			+0,03350	+0,00410			0,730
10/B	fm,p =	-12,3	-0,025600		+0,02830	+0,00418			0,734
11/B	fm,p =	-16,1		-0,0578	+0,03120	+0,00419			0,731
12/B	fm,p =	-11,7	-0,023800	-0,0316	+0,02740	+0,00423			0,735
13/B	fm,p =	-8,52					+0,00525		0,726
14/B	fm,p =	-4,04	-0,027600				+0,00528		0,732
15/B	fm,p =	-9,86		+0,0523			+0,00521		0,727
16/B	fm,p =	-5,59	-0,033000	+0,0954			+0,00520		0,735

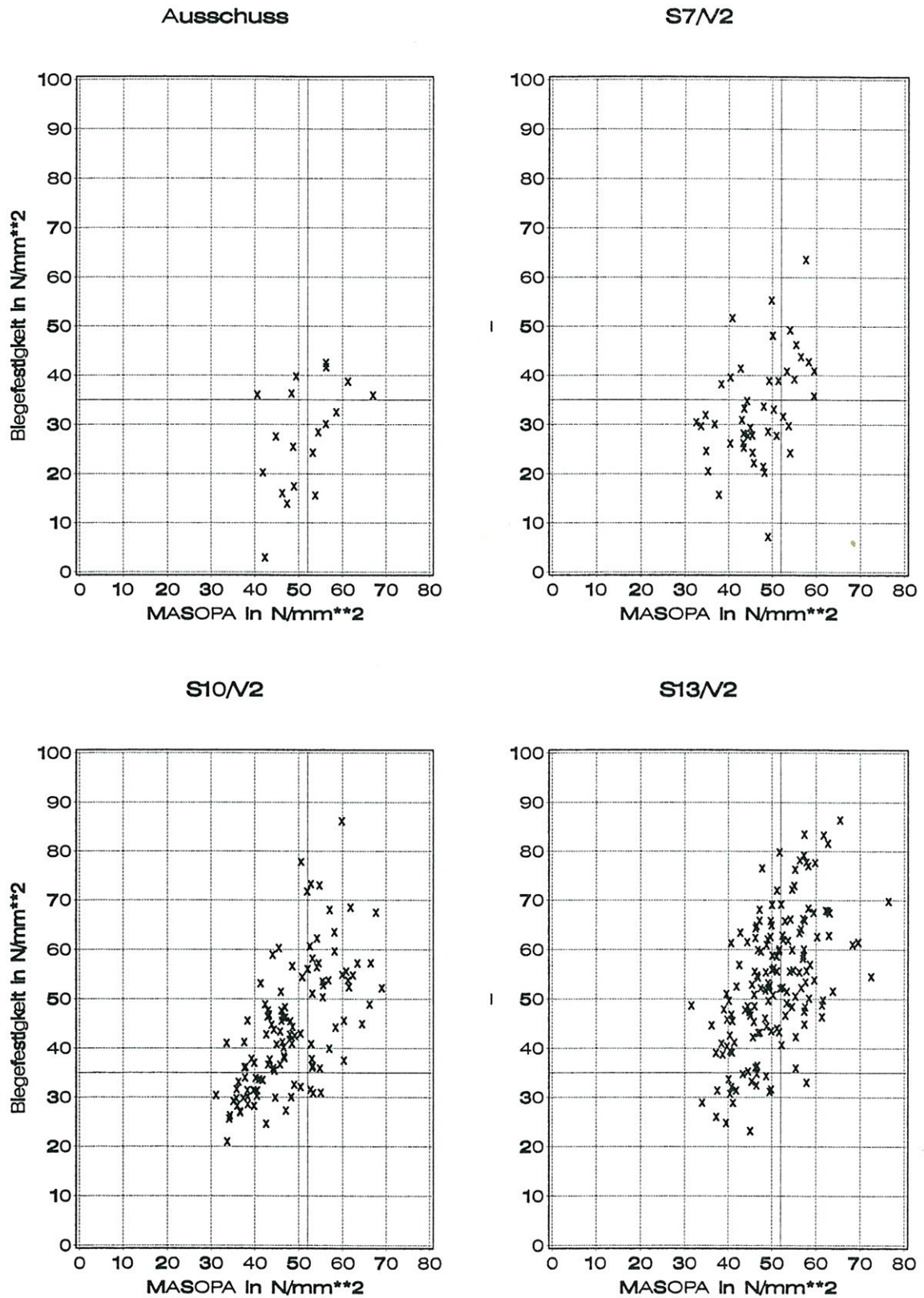
Tabelle G1: Konstanten und Koeffizienten der Regressionsgleichungen, Regressionsmodelle für Brettlamellen alleine



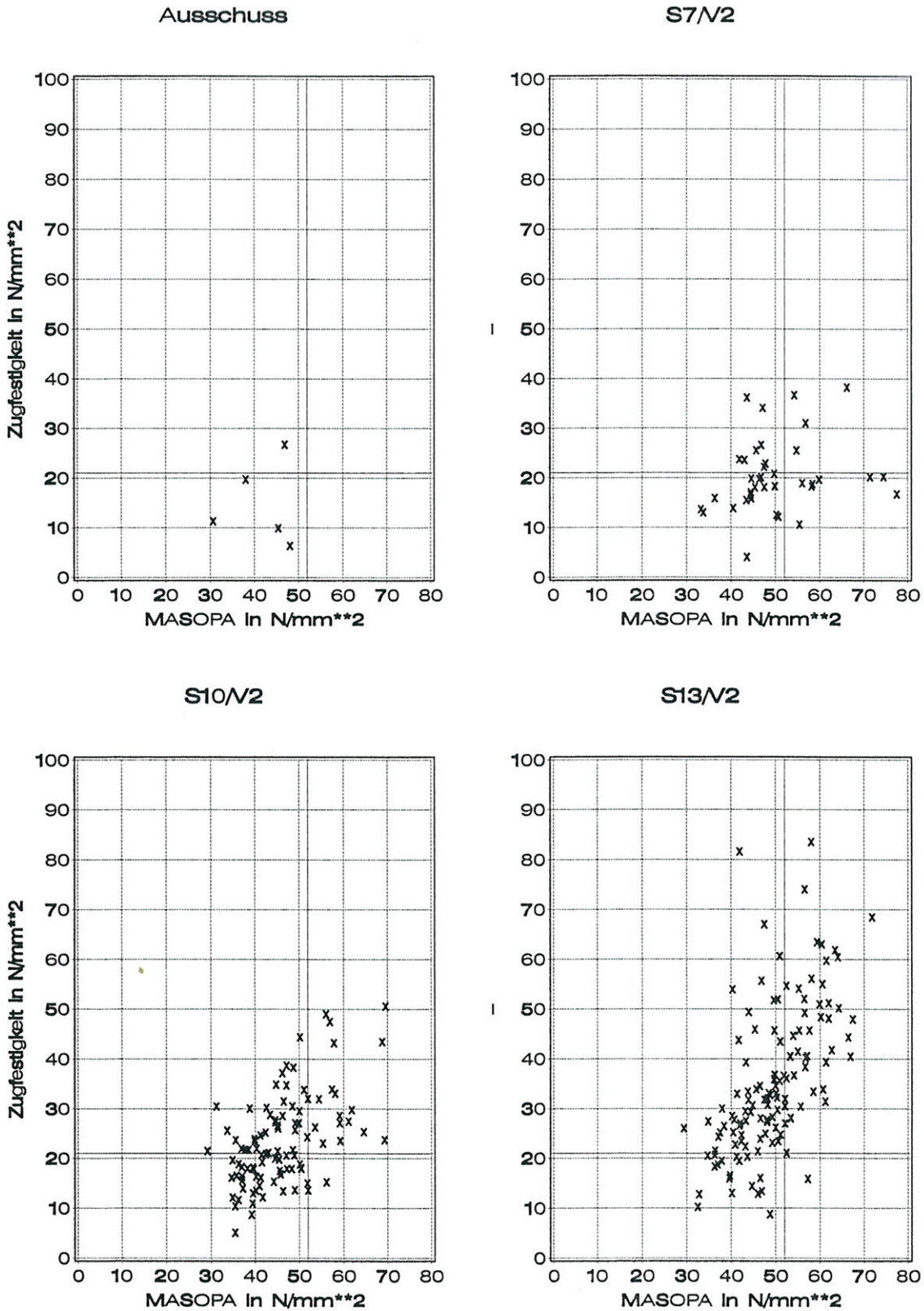
**Bild G1:** Biegefestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 4/B, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade, O = Ausschuss und S7/V2



**Bild G2:** Zugfestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 4/B, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade, O = Ausschuss und S7/V2



**Bild G3:** Biegefestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 4/B nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 52 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Biegefestigkeit von C35, 35N/mm<sup>2</sup>



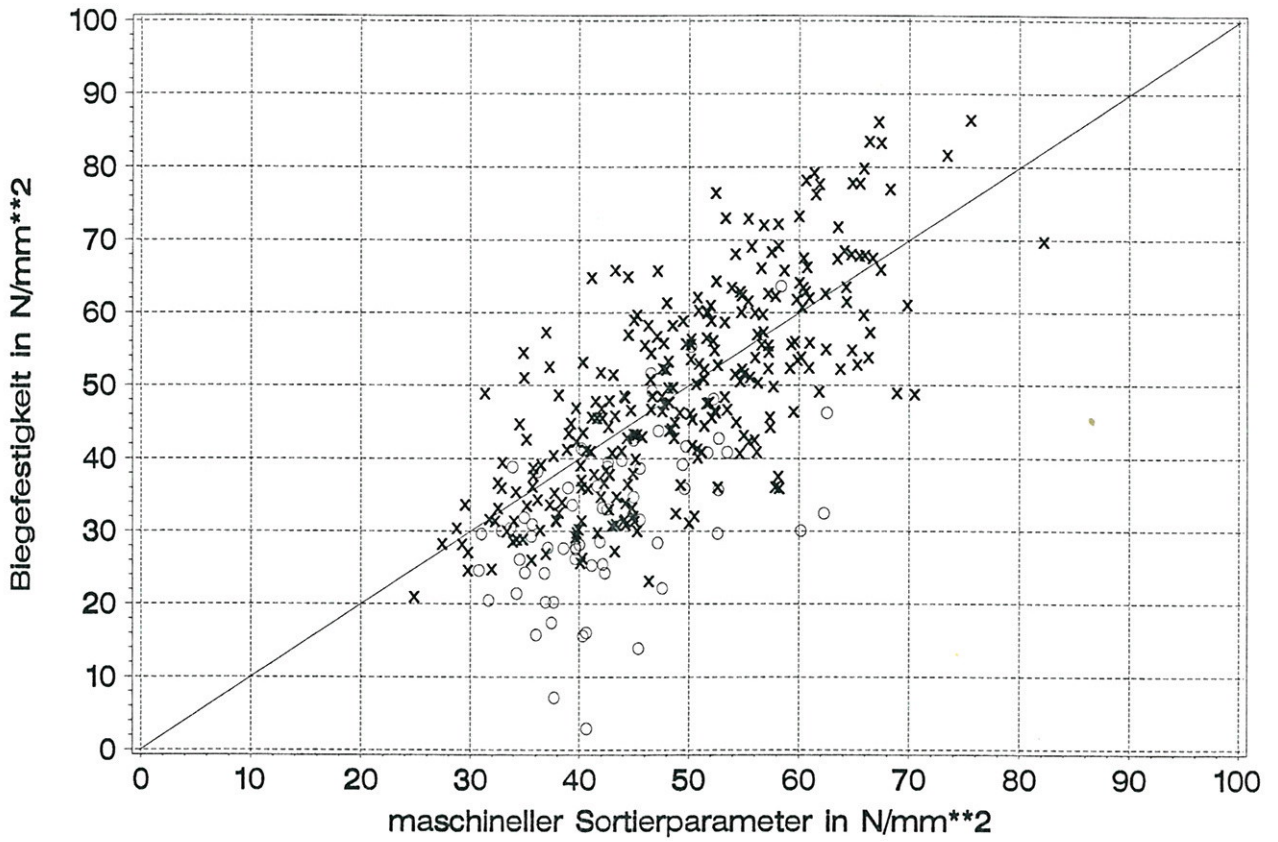
**Bild G4:** Zugfestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 4/B nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 52 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Zugfestigkeit von C35, 21 N/mm<sup>2</sup>

Modell 4/B	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS	Brett- lamellen
	Maße	100/48	220/48	175/36	100/20	175/36	220/48	100/20	175/36	220/20	175/48	-
	n mit $f_{m,p} > 52$	11	11	8	7	9	10	7	5	6	28	102
	n aus Anzahl	29	26	25	30	30	31	47	28	33	60	339
Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	51,5	55,8	64,9	57,5	64,4	61,8	53,2	53,2	56,8	55,9	57,3
	s	9,50	13,3	14,0	12,5	15,7	14,5	14,3	9,45	5,73	13,0	12,9
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,9	35,9
	min. Wert	36,4	35,9	51,5	37,5	46,6	42,3	33,0	44,9	50,1	30,8	30,8
dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	13200	14100	15100	13500	15900	15400	13400	14300	13900	15000	14500
	s	1290	1620	1880	2240	1560	1630	2290	1080	914	1950	1880
Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	464	463	529	483	487	483	500	467	485	478	482
	s	21,9	18,9	32,1	15,2	33,1	23,0	25,4	13,5	6,49	33,9	30,8
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	422	431

**Tabelle G2:** Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen, Maschinelles Sortierparameter nach Modell 4/B

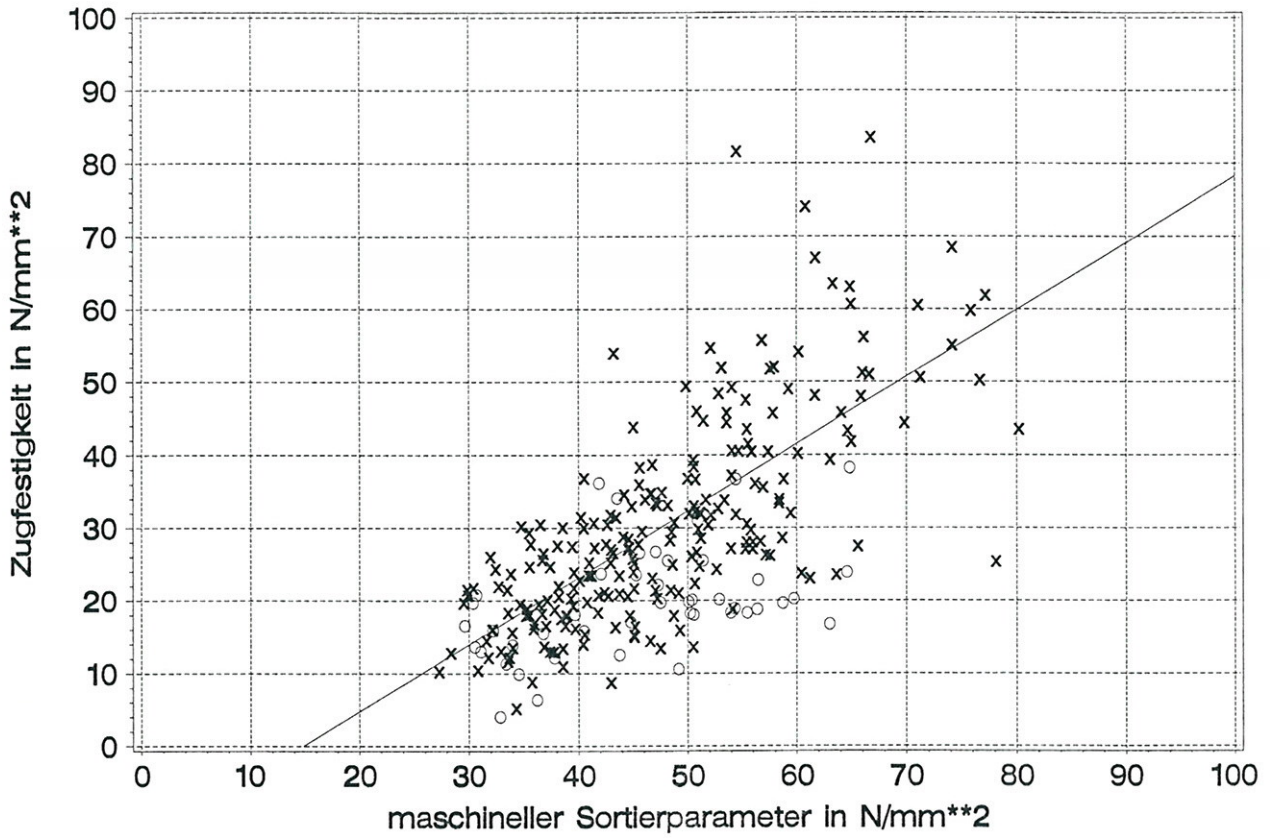
Modell 4/B	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS	Brett- lamellen
	Maße	100/48	220/48	175/36	100/20	175/36	220/48	100/20	175/36	220/20	175/48	-
	n mit $f_{m,p} > 52$	5	7	4	12	10	11	4	8	3	-	64
	n aus Anzahl	28	27	25	30	30	30	42	28	31	-	271
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert	38,3	41,0	43,0	47,2	45,2	45,9	20,8	38,5	32,2	-	41,6
	s	11,5	6,77	8,73	17,5	13,8	14,5	6,42	13,4	4,28	-	14,1
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,4
dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	min. Wert	23,0	31,9	31,4	25,3	28,0	21,0	15,2	27,0	28,1	-	15,2
	Mittelwert	14300	14500	13700	16100	15700	15400	13100	13700	14100	-	14900
	s	2280	1330	2270	1880	2050	1650	1950	1520	1060	-	1960
Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert	469	489	504	528	506	507	504	492	484	-	503
	s	36,0	26,9	24,8	29,1	29,2	41,5	8,92	20,0	17,7	-	32,4
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	450

**Tabelle G2:**(Fortsetzung) Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen, Maschineller Sortierparameter nach Modell 4/B,

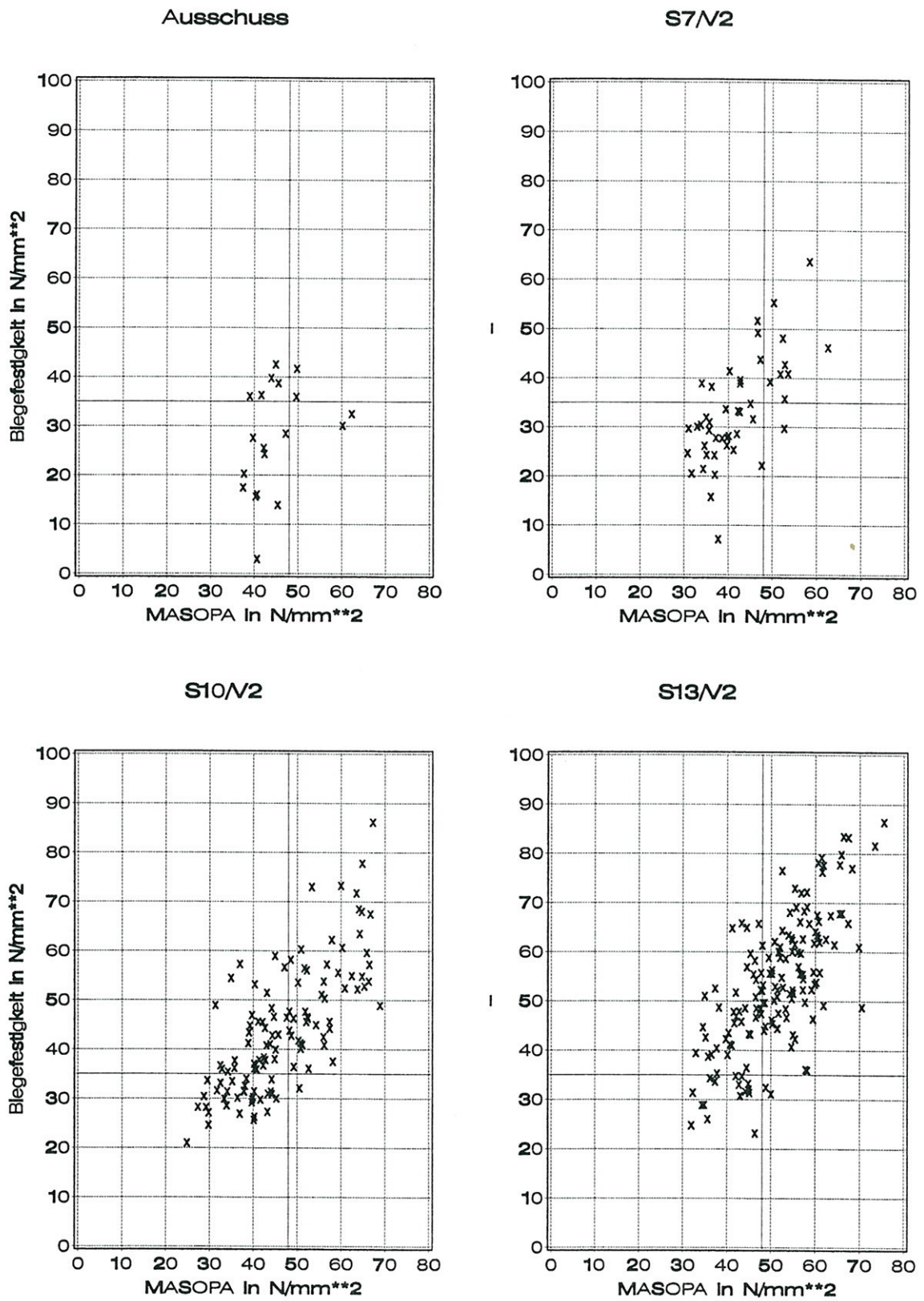


**Bild G5:** Biegefestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 12/B, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade, O = Ausschuss und S7/V2

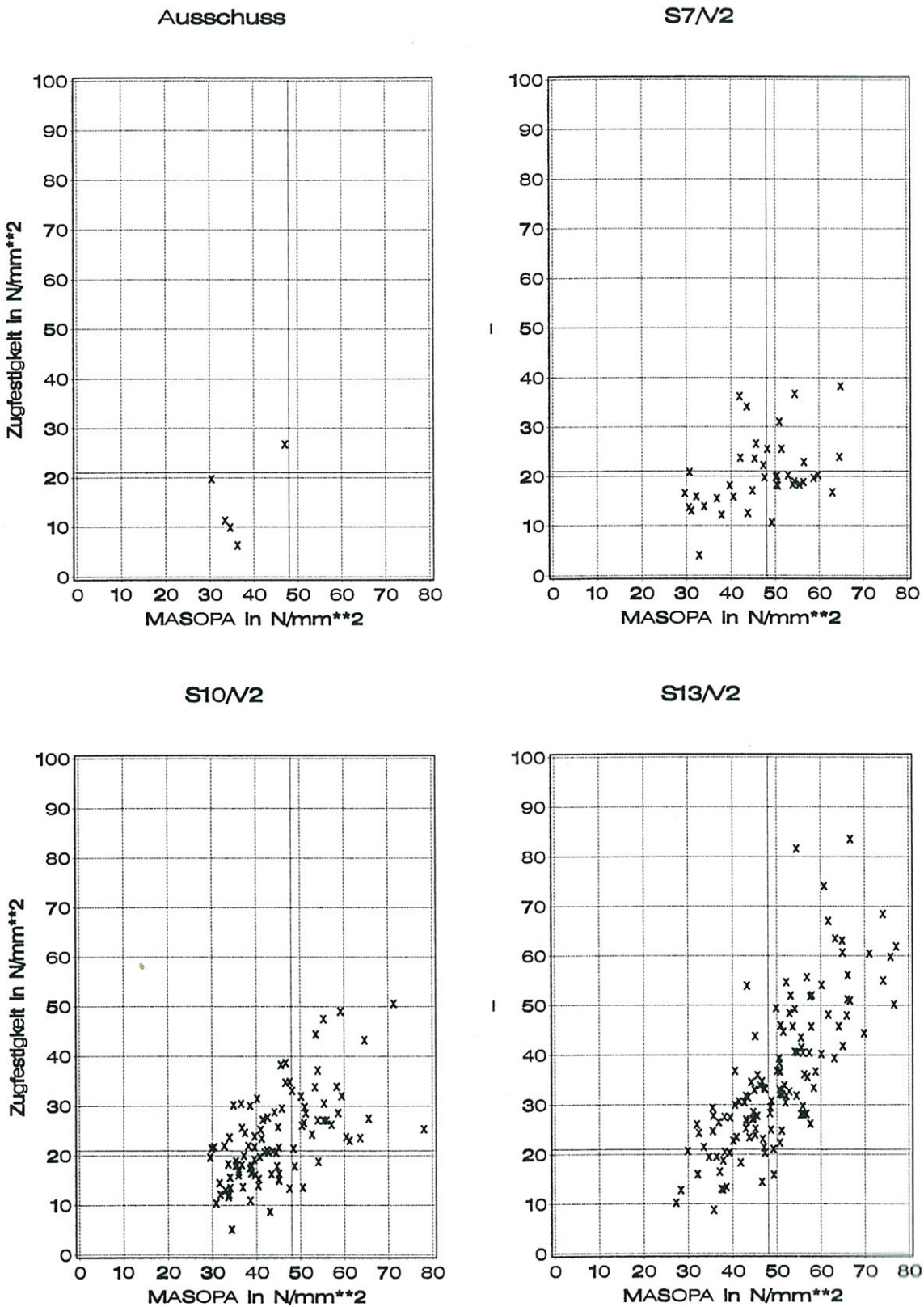




**Bild G6:** Zugfestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 12/B, X = S10/V2 und S13/V2 und deren Regressionsgerade, O = Ausschuss und S7/V2



**Bild G7:** Biegefestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 12/B nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 48 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Biegefestigkeit von C35, 35N/mm<sup>2</sup>



**Bild G8:** Zugfestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter nach Modell 12/B nach Sortierklassen getrennt, durchgezogene Linien: Sortierklassengrenze bei 48 N/mm<sup>2</sup> und charakteristische Zugfestigkeit von C35, 21 N/mm<sup>2</sup>

Modell 12/B	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS	Brett- lamellen
	Maße	100/48	220/48	175/36	100/20	175/36	220/48	100/20	175/36	220/20	175/48	-
	n mit $f_{m,p} > 48$	9	11	11	12	23	15	7	10	7	43	148
	n aus Anzahl	29	26	25	30	30	31	47	28	33	60	339
	Mittelwert	51,4	56,8	62,0	61,8	60,1	61,5	55,8	48,5	55,8	54,8	57,0
	s	8,00	12,3	13,3	13,7	14,0	12,3	10,6	9,86	5,89	10,8	12,0
	char. Wert	-	-	-	-	36,9	-	-	-	-	33,0	36,8
	min. Wert	36,4	35,9	46,2	37,5	36,0	42,3	40,1	32,1	49,6	31,1	31,1
	Mittelwert	13700	14400	14700	14300	14900	15100	14100	13700	13700	14700	14500
	s	943	1240	1630	1430	1400	1390	1290	909	924	1490	1400
	Mittelwert	470	459	498	463	454	470	485	449	471	457	464
	s	18,4	19,5	35,6	30,3	37,1	27,9	46,0	23,1	35,2	39,7	35,5
	char. Wert	-	-	-	-	393	-	-	-	-	392	405
	Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]											
	dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]											
	Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]											

**Tabelle G3:** Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen, Maschinelles Sortierparameter nach Modell 12/B

Modell 12/B	Reihe	BA	BB	BC	BJ	BK	BL	BO	BP	BQ	BS	Brett- lamellen
	Maße	100/48	220/48	175/36	100/20	175/36	220/48	100/20	175/36	220/20	175/48	-
	n mit $f_{m,p} > 48$	5	13	11	16	18	19	9	8	5	-	104
	n aus Anzahl	28	27	25	30	30	30	42	28	31	-	271
	Mittelwert	38,7	37,3	41,2	45,8	41,7	44,2	21,9	38,7	29,0	-	39,5
	s	11,3	7,71	11,3	19,4	14,0	12,6	5,92	13,2	5,50	-	14,1
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,1
	min. Wert	23,0	24,7	26,6	25,3	24,3	21,0	13,6	27,1	22,3	-	13,6
	Mittelwert	14700	14200	14100	15500	14900	14800	13200	13900	14100	-	14500
	s	1610	1110	1320	1990	1870	1490	1130	1280	899	-	1610
	Mittelwert	470	473	458	511	481	483	465	488	476	-	481
	s	35,4	26,5	26,8	39,8	36,4	43,9	35,1	30,0	22,4	-	37,5
	char. Wert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	419
	Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]											
	dynamischer E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]											
	Rohdichte nach EN408 [kg/m <sup>3</sup> ]											

**Tabelle G3:** (Fortsetzung) Statistische Kennwerte des Sortierergebnisses von Brettlamellen, Maschinelles Sortierparameter nach Modell 12/B

