

Holz im technischen Einsatz, Perspektiven der Sortierung und Qualitätssicherung

Peter Glos
Institut für Holzforschung
München

1. Einleitung

Holz ist ein fantastisches, ausgereiftes High-Tech-Produkt mit zum Teil unerreichten Eigenschaften. Ein Blick auf die innere Struktur des Holzes zeigt seinen optimierten Aufbau. Dieser erinnert in seiner dreidimensionalen Ausrichtung und mit seinen natürlichen Aussteifungen an modernste technische Konstruktionen.

Holz hat sich in Tausenden von Jahren hervorragend bewährt und es wird umweltfreundlich wie kein anderer Baustoff hergestellt - im Wald. Holz erfüllt alle umweltrelevanten Anforderungen an moderne Werkstoffe und ist somit ohne Zweifel ein Baustoff der Zukunft.

Aber als natürliches Produkt weist Holz, aufgrund unterschiedlicher Erbanlagen und Wuchsbedingungen, eine erhebliche Streuung der Eigenschaften auf, und diese Streuung wird durch die Verarbeitung zum Baustoff, den Einschnitt und das Trocknen, noch weiter verstärkt. Durch die in vielen Gegenden der Welt erkennbaren Versuche der Waldbesitzer, das Holz immer schneller wachsen zu lassen, wird diese natürliche Streuung tendenziell noch zunehmen.

Die Folge ist eine große Streuung der Festigkeitseigenschaften. **Bild 1**¹ zeigt dies am Beispiel der Zugfestigkeit von Brettlamellen. Diese weisen eine Streuung von bis zu 1:10 auf. Um das Holz wirtschaftlich nutzen zu können, muß es deshalb sortiert, im Falle der Festigkeitssortierung also in Klassen gleicher Festigkeit eingeteilt werden. Nur durch Sortierung kann eine gewünschte Qualität des Holzes garantiert werden. Die Holzsortierung stellt damit eine zentrale Aufgabe der Qualitätssicherung dar.

2. Entwicklung der Holzsortierung

Die traditionelle visuelle Sortierung nach der Ästigkeit ist in ihrer Wirkung begrenzt, weil sie den Einfluß der Struktur nicht berücksichtigt, d.h. zwischen leichtem und schwerem Holz nicht unterscheidet.

Schon lange ist bekannt, daß die Rohdichte einen gleich großen Einfluß auf die Festigkeit des Holzes ausübt wie die Ästigkeit (**Bild 2**).

Weil die Rohdichte **visuell** aber nicht erfaßt werden kann, ist klar, daß eine leistungsfähige Sortierung nur **maschinell** möglich ist, mit Geräten, die auch die Struktur des Holzes erfassen.

¹ Bilder Nr. 1-11 siehe ab Seite 6!

Vor etwa 35 Jahren wurde erkannt, daß dies am einfachsten über eine Bestimmung der Biegesteifigkeit des Holzes möglich ist. Eine alte Erfahrung wurde genutzt: Holz, das sich unter einer bestimmten Biegebelastung wenig durchbiegt, hat eine höhere Festigkeit als ein anderes Holz, das sich bei gleicher Beanspruchung stärker verformt. Auf diesem Grundsatz wurden Anfang der 60'er Jahre in Australien und USA die ersten Sortiermaschinen gebaut und auch praktisch eingesetzt.

Auf dem gleichen Grundprinzip, aber mit jeweils verbesserter Maschinen- und Meßtechnik, wurden in England und Skandinavien ab 1969 3 Sortiermaschinen entwickelt und zunächst in England, später auch in Skandinavien im wesentlichen zur Belieferung des englischen Marktes, eingesetzt (**Bild 3**).

Anfang der 80'er Jahre ermöglichte es die moderne Computertechnik, daß mehrere Meßwerte parallel erfaßt und preiswert zu einer Sortierentscheidung zusammengefaßt werden konnten. Auf dieser Grundlage wurden 2 weitere Sortiermaschinen entwickelt, der sog. Finnograder und der ISO-GreComat.

Um die Qualität dieser unterschiedlichen Verfahren abschätzen zu können und um zu prüfen, ob es noch bessere Sortierkriterien als die bisher angewandten gibt, wurde Anfang der 80'er Jahre eine systematische Untersuchung durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit verschiedener Sortierverfahren im wesentlichen durch 3 Größen bestimmt wird:

- den Korrelationskoeffizienten zwischen den Meßgrößen und der Festigkeit,
- die Meßgenauigkeit, mit der diese Meßgrößen bestimmt werden, und
- die Zuverlässigkeit, mit der extrem schlechte Stücke erkannt werden.

Die Untersuchung bestätigte, daß der E-Modul tatsächlich der beste Einzelparameter ist, nach dem sortiert werden kann, daß sich die Sortierung aber durch eine Kombination der Parameter E-Modul und Ästigkeit weiter verbessern läßt (**Bild 4**).

Diese Ergebnisse wurden bereits Anfang der 80'er Jahre veröffentlicht. Es dauerte dann allerdings noch einmal 10 Jahre, bis die Industrie diese Erkenntnis nutzte.

Die erste, auf diesem neuen Prinzip arbeitende Maschine, der EuroGreComat, kam 1993 auf den Markt. Der EuroGreComat erfaßt als Sortiermerkmale den Elastizitätsmodul, die Rohdichte und die Ästigkeit des Holzes (**Bild 5**). Der E-Modul wird nach dem bekannten und bewährten Biegeverfahren ermittelt. Dazu werden neben der Durchbiegung und der Rückstellkraft auch die Dicke und die Vorkrümmung des Holzes bestimmt. Rohdichte und Ästigkeit werden mit einem in die Sortiermaschine integrierten Durchstrahlungsverfahren bestimmt: Über die gesamte Länge des zu sortierenden Holzes wird ein Röntgenbild erzeugt und mit einem Bildverarbeitungssystem ausgewertet. Auf diese Weise können unabhängig von der Oberflächenbeschaffenheit des Holzes Äste und andere Schwachstellen zuverlässig erkannt werden.

Inzwischen wird über die Entwicklung einer weiteren Maschine berichtet, die ebenfalls nach den Parametern E-Modul, Ästigkeit und Rohdichte sortiert. Darüberhinaus wird in einem europäischen Forschungsprojekt versucht, Möglichkeiten zur Verbesserung bzw. Ergänzung der bestehenden Maschinen zu finden. Einen entscheidenden Anstoß zu dieser Entwicklung hat ohne Zweifel die natio-

nale und internationale europäische Normung ergeben, nach der die Qualität der Sortierung erstmals deutlich und in wirtschaftlich relevanter Weise honoriert wird.

Die **Bilder 6** und **7** zeigen, daß für maschinell hochwertig sortiertes Holz der Klassen MS13 und MS17 sowohl nach DIN 1052 A1 als auch nach dem Nationalen Anwendungsdokument zum Eurocode 5, 50 bis 70% höhere zulässige Spannungen bzw. charakteristische Festigkeitswerte und etwa 30% höhere E-Modul-Werte angesetzt werden können als für die herkömmliche Güteklasse S10.

3. Möglichkeiten der Holzsortierung

Was leistet die maschinelle Sortierung im Vergleich zur herkömmlichen visuellen Sortierung? Wie groß ist der wirtschaftliche Nutzen?

Dies soll am Beispiel eines Sortierversuchs mit der Euro-GreComat-Sortiermaschine dargestellt werden. Dazu wurden 36 mm dicke und 120-240 mm breite Brettlamellen, wie sie heute in Holzleimbaubetrieben verwendet werden, einmal herkömmlich visuell und einmal maschinell sortiert.

In den **Bildern 8** und **9** ist die Zugfestigkeit dieser Lamellen einmal in Abhängigkeit von der Ästigkeit, dem maßgebenden Sortierparameter bei der visuellen Sortierung, und einmal in Abhängigkeit vom maschinellen Sortierparameter dargestellt. Man erkennt, daß bei einer visuellen Sortierung nach der deutschen Norm DIN 4074 (unter Laborbedingungen!) 52% der Lamellen in die Standardklasse S10 und 36% in die höchstmögliche Klasse S13 eingestuft werden. Dabei ergeben sich charakteristische Zugfestigkeiten von ca. 14 und 18 N/mm². 12% des Holzes werden als Ausschuß eingestuft. Wenn das gleiche Holz maschinell sortiert wird, werden 46% statt 36% des Holzes in die Klassen MS13 und MS17 eingestuft, die charakteristische Zugfestigkeit liegt bei 22 und 30 N/mm² und der Anteil der Hölzer kleiner MS10 beträgt 7% statt 12%.

Daraus folgt: Die maschinelle Sortierung führt im **gesamten Bereich** der Holzqualität zu einer besseren Ausbeute, die sich über die höheren Bemessungswerte in den höheren Festigkeitsklassen unmittelbar wirtschaftlich nutzen läßt. Der Nutzen der maschinellen Sortierung liegt also darin, daß mehr Holz in höhere Festigkeitsklassen sortiert wird und Festigkeitsklassen erreicht werden, die bei einfacher Sortierung nicht zugänglich sind.

Dies soll an einem weiteren Bild verdeutlicht werden: **Bild 10** zeigt die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der verschiedenen Sortierverfahren am Beispiel des Zusammenhangs zwischen möglicher Holz Ausbeute und erreichbarer charakteristischer Zugfestigkeit. Man sieht, daß die maschinelle Sortierung der visuellen Sortierung grundsätzlich überlegen ist. Bezogen auf eine gewünschte Zugfestigkeit ergibt die maschinelle Sortierung immer eine deutlich höhere Ausbeute. Mit visueller Sortierung ist bei einer wirtschaftlich noch interessanten Ausbeute höchstens eine Zugfestigkeit von 15-18 N/mm², also die Festigkeitsklasse C30 zu erreichen. Mit einfacher maschineller Sortierung erreicht man eine Zugfestigkeit von 21-22 N/mm², also C35. Eine höhere Festigkeit, also z.B. die Einstufung in die Klasse C40, mit einer charakteristischen Zugfestigkeit von 25 N/mm² und mehr, ist nur mit einer hochwertigen Maschine zu erreichen.

Welchen praktischen Nutzen hat die heute mögliche Sortierqualität für die Bemessung von Vollholz und Brettschichtholz?

Nach heutigen Erkenntnissen könnte etwa die Hälfte des in Mitteleuropa verfügbaren Schnittholzes in die Klasse MS13 bzw. in die europäische Klasse C35 eingestuft werden. Im Vergleich zur bisher üblichen Standardklasse S10 bzw. C24 bedeutet bis zu 50% höhere charakteristische Festigkeitswerte. Damit könnten z.B. die Querschnitte von Fachwerkträgern wesentlich reduziert werden. Noch größere Bedeutung hat die maschinelle Sortierung für Brettschichtholz. Es ist bekannt, daß die Biegefestigkeit eines Brettschichtholzträgers von der Zugfestigkeit der Lamellen und der Festigkeit der Keilzinkenverbindungen abhängt (**Bild 11**).

Da mit visueller Sortierung derzeit nur eine Zugfestigkeit von etwa 15-18 N/mm² erreicht wird, kann damit höchstens BS-Holz der Klasse GL28 hergestellt werden. Für BS-Holz der Klassen GL36 oder GL38 werden Lamellen mit einer Zugfestigkeit von etwa 26-28 N/mm² benötigt, und dies ist nur mit einer hochwertigen maschinellen Sortierung unter Einbeziehung der Parameter E-Modul, Ästigkeit und Rohdichte zu bewerkstelligen. Natürlich wirkt sich die höhere Tragfähigkeit auf die Abmessungen eines biegebeanspruchten Brettschichtholzträgers weniger stark aus als bei vorwiegend zug- oder druckbeanspruchten Bauteilen. Immerhin sind aber auch hier Einsparungen von 5-10% möglich.

Wenn man bedenkt, daß Architekten zunehmend schlanke, filigrane Querschnitte mit zuverlässig garantierten Eigenschaften fordern, dann wird deutlich, daß die maschinelle Sortierung für die Akzeptanz von Holz gerade bei anspruchsvollen Architekten und anspruchsvollen, öffentlichkeitswirksamen Bauten eine nicht zu unterschätzende Bedeutung hat.

4. Zusammenfassung

Die Festigkeitssortierung von Holz hat durch die Entwicklung der maschinellen Sortierung in den letzten Jahren einen signifikanten Entwicklungssprung erlebt. Neben den Biegemaschinen, die in den Jahren 1969-1979 auf den Markt kamen und Maschinen der zweiten Generation, die auf der Messung der Ästigkeit, der Rohdichte und z.T. des Faserverlaufs beruhen, die sich aber am Markt nicht durchsetzen konnten, stehen jetzt Maschinen der dritten Generation zur Verfügung, die als Sortierparameter den E-Modul, die Ästigkeit und die Rohdichte bestimmen. Dies ist nach heutiger Kenntnis das bestmögliche Sortierprinzip. Holz kann damit bis zu 50% höher als mit der herkömmlichen visuellen Sortierung ausgenutzt werden.

Es ist zu wünschen, daß die nun zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zur Holzsortierung auch genutzt werden. Dies betrifft nicht nur die Sägewerke, Brettschichtholzhersteller und Holzbaufirmen, sondern auch die Architekten und Ingenieure, weil die Akzeptanz und die Wettbewerbsfähigkeit des Holzbaus insgesamt davon betroffen ist. Eine bessere Holzsortierung könnte ein wesentlicher Beitrag dazu sein, daß Holz auch wieder der natürliche Baustoff für wichtige Bauvorhaben im Zentrum unserer Städte wird, insbesondere auch für weitgespannte Industrie-, Sport- und Messebauten.

Im Interesse der Umwelt haben wir kurzfristig gelernt, den Müll sauberlich zu sortieren, wir sind Weltmeister in der Müllsortierung geworden. Wieviel mehr könnten wir der Umwelt nützen, wenn wir jetzt neben dem Müll auch das Holz mit der gleichen Hingabe sortierten.

5. Literatur

- Colling, F. (1995): Brettschichtholz unter Biegebeanspruchung. In: Informationsdienst Holz. STEP 3. Holzbauwerke nach Eurocode 5. Grundlagen, S.5/1-5/18.
- Glos, P. (1983): Die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Schnittholzsortierung im Mittel- und Kleinbetrieb.
- SAH - Bulletin 1983/1. Zürich: Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung, 13-35.
- Glos, P., Heimeshoff, B. (1982): Möglichkeiten und Grenzen der Festigkeitssortierung von Brettlamellen für den Holzleimbau. In: Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis. Karlsruhe: Bruderverlag 41-47.
- Glos, P., Diebold, R. (1994): Maschinelle Sortierung: Nach DIN 4074 zugelassen. mikado 7-8/94: 79-83.

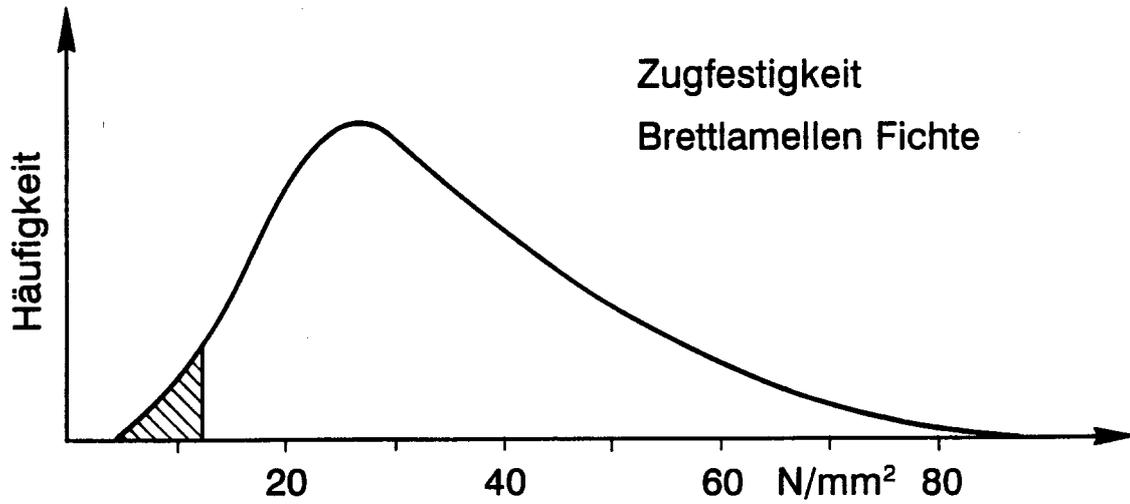


Bild 1: Häufigkeitsverteilung der Zugfestigkeit von Fichten - Brettlamellen

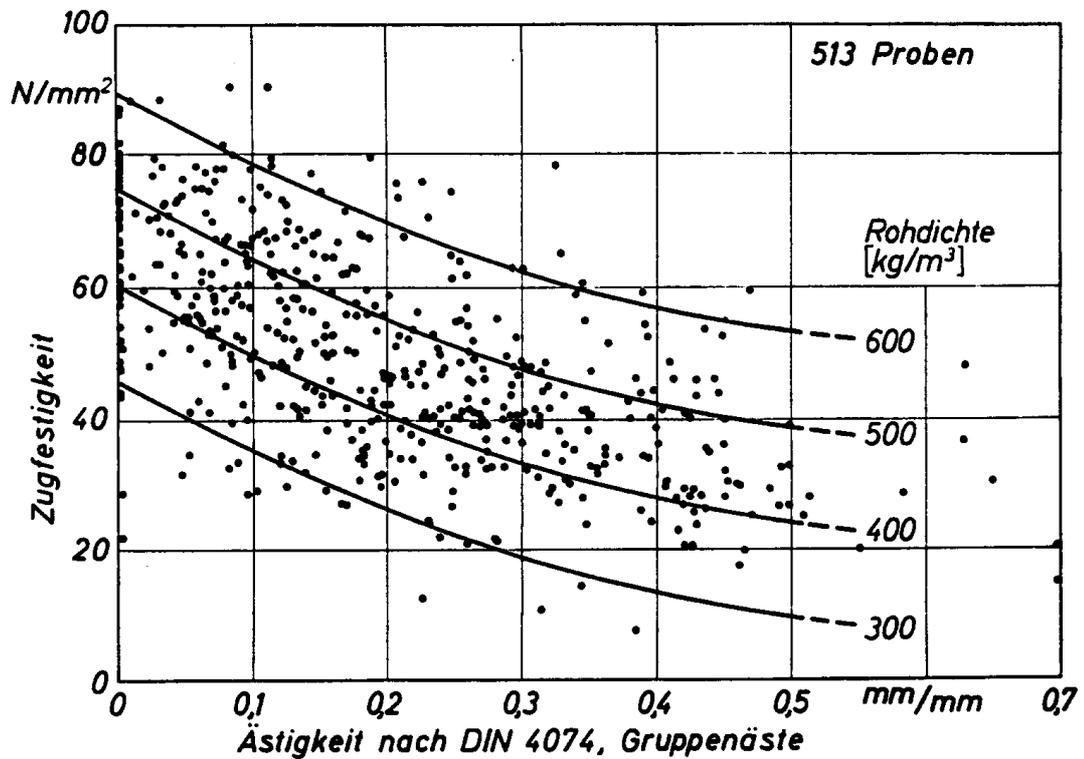


Bild 2: Einfluß von Rohdichte und Ästigkeit auf die Zugfestigkeit von Fichten - Brettlamellen

Erste Installation	Name	Sortierparameter
1969	Computermatic	E _B
1974	Raute-Timgrader	E _B
1979	Cook Bolinders	E _B
1980	Finnograder	A+R+F
1981	Iso-GreComat	A+R
1993	Eurogrecomat	E _B +A+R

Bild 3: In Europa eingesetzte Sortiermaschinen
E_B Biege-E-Modul, A.. Ästigkeit, R.. Rohdichte, F.. Faserabweichung

Sortierparameter	Korrelation mit		
	Biege-	Zug-	Druck-
		festigkeit	
Ästigkeit	0,5	0,6	0,4
Faserneigung	0,2	0,2	0,1
Rohdichte	0,5	0,5	0,6
Jahrringbreite	0,4	0,5	0,5
Ästigkeit + Jahrringbreite	0,5	0,6	0,5
Ästigkeit + Rohdichte	0,7-0,8	0,7-0,8	0,7-0,8
E-Modul	0,7-0,8	0,7-0,8	0,7-0,8
E-Modul + Rohdichte	0,7-0,8	0,7-0,8	0,7-0,8
E-Modul + Ästigkeit	>0,8	>0,8	>0,8

Bild 4: Korrelationskoeffizienten zwischen möglichen Sortierkriterien und Festigkeitseigenschaften, ermittelt an Brettern und Bohlen aus europäischem Nadelholz

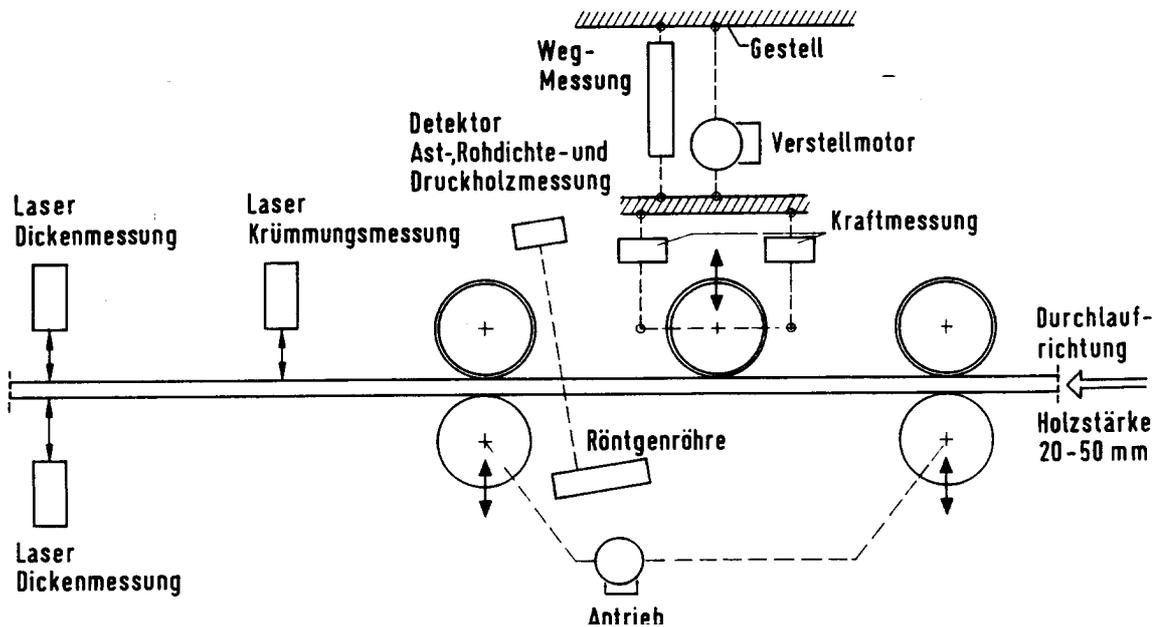


Bild 5: Prinzipskizze der EuroGreComat - Sortiermaschine

DIN 1052-1/A1 September 1995 - Auszug - Vollholz

		Sortierklasse nach DIN 4074			
		S 10	MS 10	S 13	MS 13
zulässige Spannungen in MN/m ²					
Biegung	zul. σ_B	10	13	15	17
Zug	zul. $\sigma_{z\parallel}$	7	9	10	12
Druck	zul. $\sigma_{D\parallel}$	8,5	11	11	12
Rechenwerte für E-Moduln in MN/m ²					
E-Modul	E_{\parallel}	10000	10500	11500	12500
bei u < 15%:		11000	11550	12650	13750

Bild 6: DIN 1052 A1. Zulässige Spannungen und E-Modul-Rechenwerte für Vollholz- Auszug -

DIN-NAD 02.95 - Auszug -
Vollholz

		Sortierklasse nach DIN 4074			
		S 10 MS 10	S 13	MS 13	MS 17
char. Festigkeits- und Steifigkeitswerte in N/mm ²					
Biegung	$f_{m,k}$	24	30	35	40
Zug	$f_{t,0,k}$	14	18	21	24
Druck	$f_{c,0,k}$	21	23	25	26
E-Modul	$E_{0,mean}$	11000	12000	13000	14000
charakteristische Rohdichtewerte in kg/m ³					
Rohdichte	$\rho_{g,k}$	380	380	400	420

Bild 7: NAD zum Eurocode 5. Vollholz - Sortierklassen und zugehörige charakteristische Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte - Auszug -

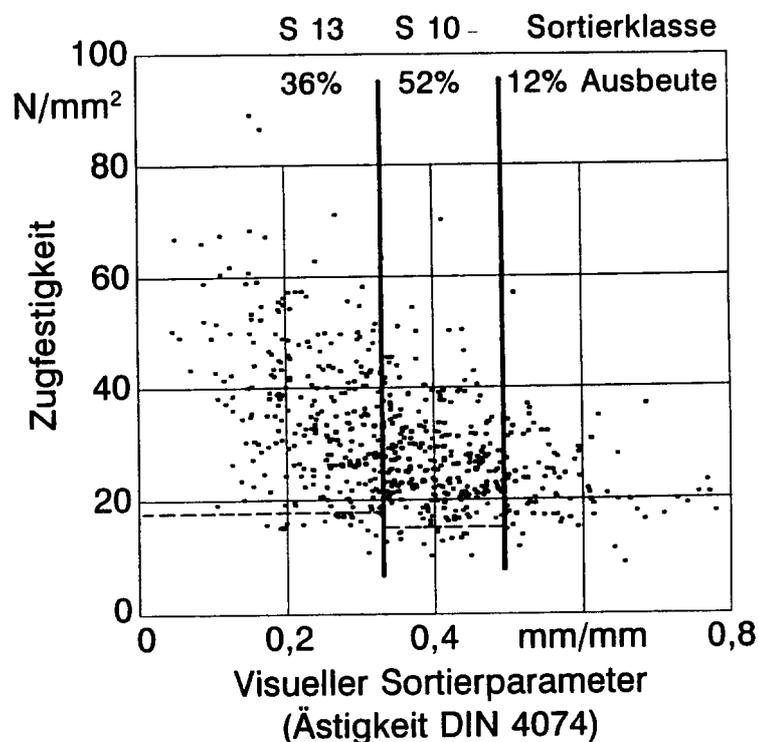


Bild 8: Ausbeute und charakteristische Zugfestigkeit bei visueller Sortierung von Fichten-Brettlamellen

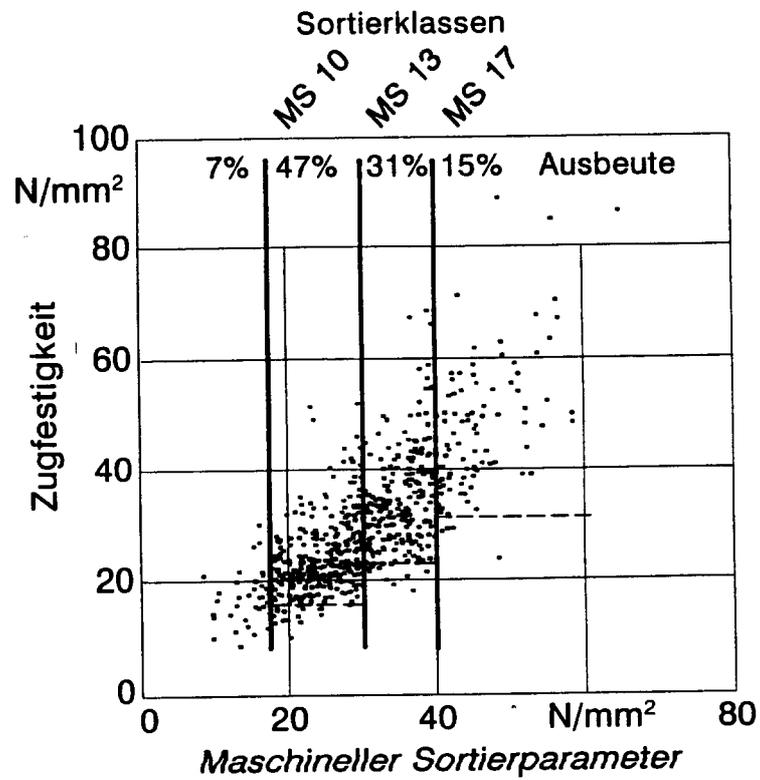


Bild 9: Ausbeute und charakteristische Zugfestigkeit bei maschineller Sortierung von Fichten - Brettlamellen

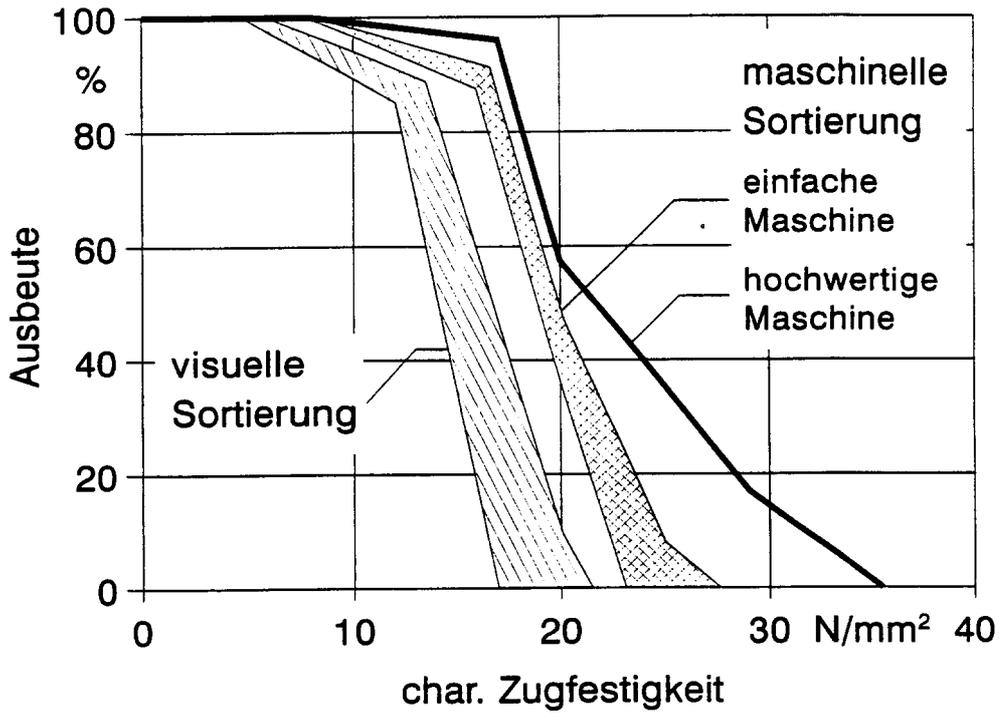
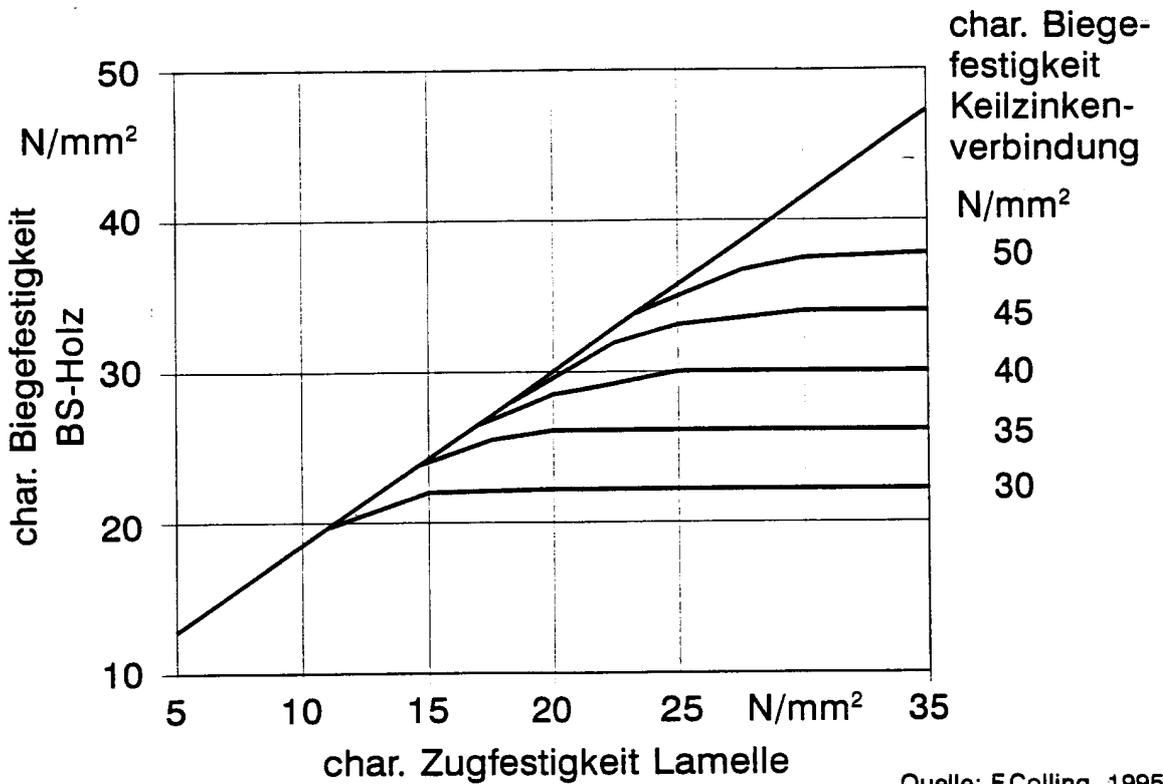


Bild 10: Zusammenhang zwischen Holz Ausbeute und charakteristischer Zugfestigkeit von Fichten - Brett lamellen in Abhängigkeit vom Sortierverfahren



Quelle: F.Colling, 1995

Bild 11: Abhängigkeit der Biegefestigkeit eines Brettschichtholzträgers von der Keilzinkenbiegefestigkeit und der Zugfestigkeit der Brett lamellen