

**Vergleichende Betrachtungen europäischer
Bauproduktennormen mit nationalen Bestimmungen**

**Vergleich von zwei Verfahren zur Ermittlung der
Sortierklassengrenzwerte für Sortiermaschinen**

von

Hans Joachim Blaß und Rainer Görlacher

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

1997

1 Einleitung

In DIN 4074 „Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit“ sind in Teil 3 die Anforderungen und Prüfung für Maschinen zur Sortierung von Nadelschnittholz festgelegt. Zur Zeit wird von CEN/TC124 eine europäische Norm für die maschinelle Holzsortierung überarbeitet (EN 519). In der ad hoc Gruppe 2 zum Arbeitsausschuß WG2 wurde ein Verfahren zur Ermittlung von Sortierklassengrenzwerten und für die Ermittlung der Reproduzierbarkeit des Sortierergebnisses für die Europäische Norm EN 519 vorgeschlagen, das vom Verfahren nach DIN 4074 abweicht.

Zunächst wird die Vorgehensweise nach TC124/WG2 dargestellt und erläutert. Vorliegende Versuchsdaten wurden entsprechend der Vorgehensweise nach TC124/WG2 ausgewertet und die Ergebnisse beurteilt.

2 Beschreibung der Verfahren

2.1 Allgemeines

Die Ermittlung von Sortierklassengrenzen ist eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz von Holzsortiermaschinen in der Praxis. Ziel ist die zuverlässige Einhaltung der geforderten charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte der jeweiligen Sortierklasse. Weiterhin soll die Maschine in der Lage sein das Sortierergebnis zu reproduzieren, d.h. bei mehreren Durchläufen der gleichen Stichprobe dasselbe Sortierergebnis erzielen.

Das von F. Rouger in der Arbeitsgruppe WG2/AH2 vorgeschlagene Verfahren dient zur Ermittlung und Überprüfung von Sortierklassengrenzen sowie zur Kontrolle der Reproduzierbarkeit des Sortierergebnisses. Gleichzeitig wird der Versuch unternommen, eine Aussage über die Qualität der Sortierung zu machen. Dabei wird jeder Probe, die eine Diskrepanz zwischen maschineller („Decision Class“) und durch Versuche ermittelter Einstufung („Label Class“) aufweist, ein bestimmter Kostenfaktor zugewiesen. Durch Addition der Einzelkosten kann ein Maß für die Qualität der Sortierung der gesamten Stichprobe bestimmt werden.

2.2 Das Verfahren „Optimal Ranking“

„Optimal Ranking“ nennt Rouger sein Verfahren zur Erstellung einer Stichprobe, die den Anforderungen bezüglich charakteristischer Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte einer vorher bestimmten Festigkeitsklasse genügt. Eine gegebene Ausgangsstichprobe läßt sich somit, sofern alle Parameter durch Versuche ermittelt sind, in beliebige Festigkeitsklassen einordnen.

Die durch „Optimal Ranking“ realisierte Zuordnung jeder Probe in eine bestimmte Festigkeitsklasse setzt Rouger als tatsächliche Einstufung („Label Class“) der jeweiligen Probe für den weiteren Verlauf des Verfahrens voraus.

2.2.1 Theoretischer Hintergrund

Die relative Häufigkeit f_k der Proben einer Stichprobe, deren x -Werte einen geforderten Wert x_k gerade erreichen oder unterschreiten errechnet sich folgendermaßen:

$$f_k = \frac{i}{N} \quad (1)$$

wobei i : Anzahl der Stichprobenwerte mit $x \leq x_k$
 N : Stichprobenumfang

Eine gegebene Stichprobe vom Umfang N sei nach steigendem Wert x geordnet. Die relative Häufigkeit f_k der Proben, deren x -Werte kleiner oder gleich eines bestimmten Zielwertes x_k sind beträgt mehr als 5%. Um eine relative Häufigkeit f'_k von genau 5% zu erreichen wird eine neue Stichprobe gebildet, indem der ursprünglichen Stichprobe eine bestimmte Anzahl n („Cutting Level“) derjenigen Proben entnommen wird, die die niedrigsten x -Werte aufweisen. Zur Bestimmung von n dient folgender Ansatz:

$$f'_k = \frac{i - n}{N - n} = 0,05 \quad (2)$$

daraus folgt:

$$n = \frac{1}{1 - 0,05} (i - 0,05N) \quad (3)$$

oder, unter Verwendung von Gleichung (1):

$$n = \frac{N}{1 - 0,05} (f_k - 0,05) \quad (4)$$

2.2.2 Durchführung von „Optimal Ranking“

Von jeder Probe einer Stichprobe vom Umfang N seien Elastizitätsmodul, Festigkeit und Rohdichte bekannt. Um diejenigen Proben zu bestimmen, die eine bestimmte Sortierklasse repräsentieren, wird der in Abb. 1 gegebene Algorithmus angewendet.

Hierbei wird die Stichprobe nacheinander nach steigenden Werten von Rohdichte, Festigkeit und Elastizitätsmodul geordnet und der jeweilige „Cutting Level“ n_1 , n_2 und n_3 bestimmt (s.u.). Der Größtwert $n = \max(n_1, n_2, n_3)$ bestimmt die Anzahl der Proben, die aus der nach der maßgebenden Variablen geordneten Ausgangsstichprobe entnommen werden. Diese neue Stichprobe wird wiederum nach o.g. Parametern geordnet und wiederum nach steigenden Werten geordnet. Das Verfahren wird so lange durchlaufen, bis $\max(n_1, n_2, n_3) = 0$ ist, und somit eine Stichprobe entsteht, die den charakteristischen Werten der Rohdichte und Festigkeit sowie dem mittleren Elastizitätsmodul der gewählten Festigkeitsklasse genügt.

Die Bestimmung von n_1 („Cutting Level“ der nach der Rohdichte sortierten Stichprobe) und n_2 („Cutting Level“ der nach der Festigkeit sortierten Stichprobe) erfolgt nach Gleichung (4). Da es sich beim Elastizitätsmodul, im Gegensatz zu Rohdichte und Festigkeit nicht um einen charakteristischen Wert (5%-Fraktile) sondern um den Mittelwert der betrachteten Proben handelt, kann zur Ermittlung von n_3 („Cutting Level“ der nach dem Elastizitätsmodul sortierten Stichprobe) Gleichung (4) nicht angewendet werden. Statt dessen wird n_3 iterativ mit Hilfe des in Abb. 2 gegebenen Algorithmus bestimmt.

Der Mittelwert $\mu(X)$ einer nach steigendem Wert der Variablen X ($X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_j \leq \dots \leq X_N$) sortierten Stichprobe wird mit folgender Gleichung ermittelt:

$$\mu(X) = \frac{\sum_{i=j+1}^N X_i}{N-j} \quad (5)$$

wobei j : Anzahl der Proben mit niedrigstem Elastizitätsmodul

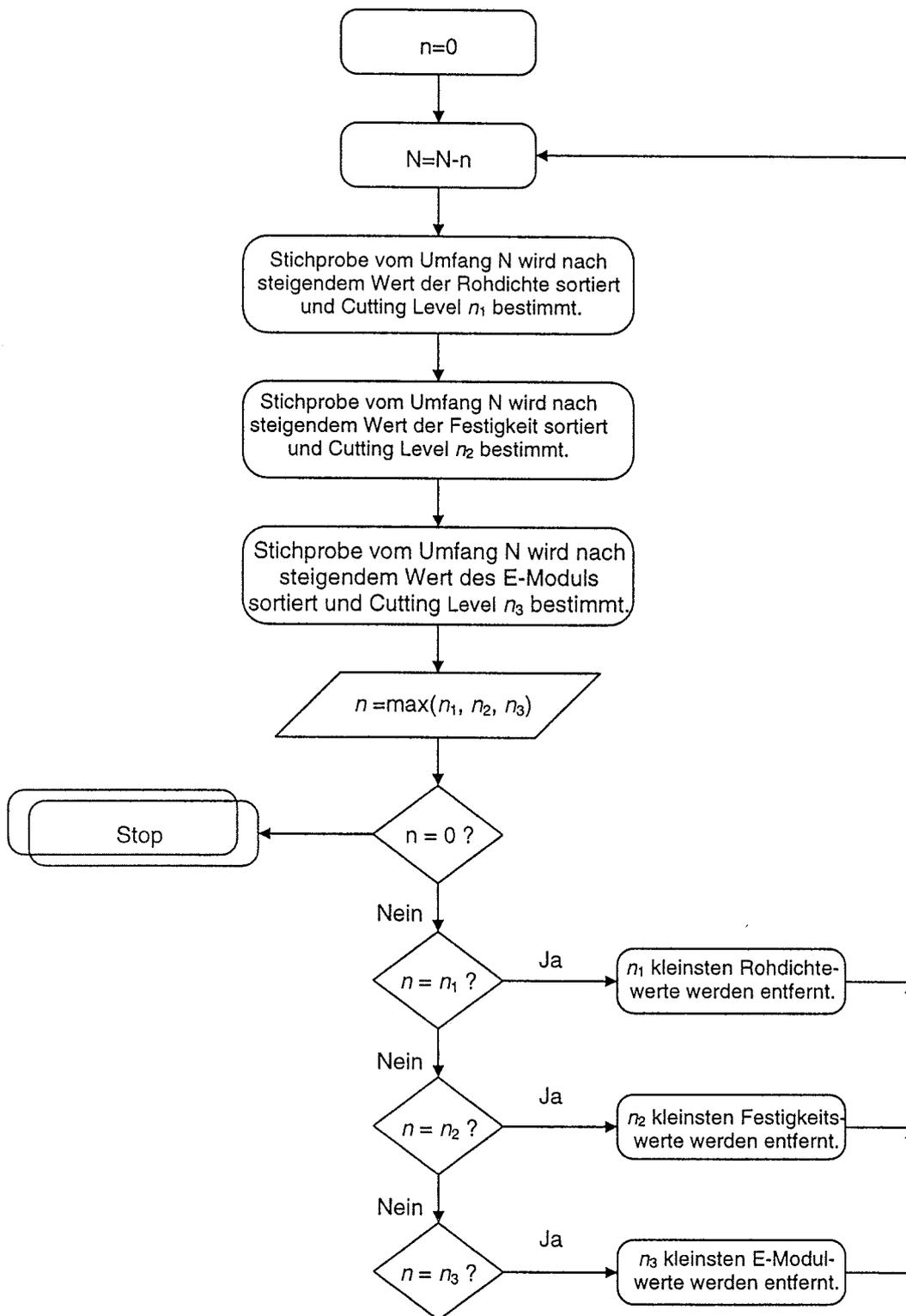


Abb. 1: Algorithmus für die Durchführung von „Optimal Ranking“

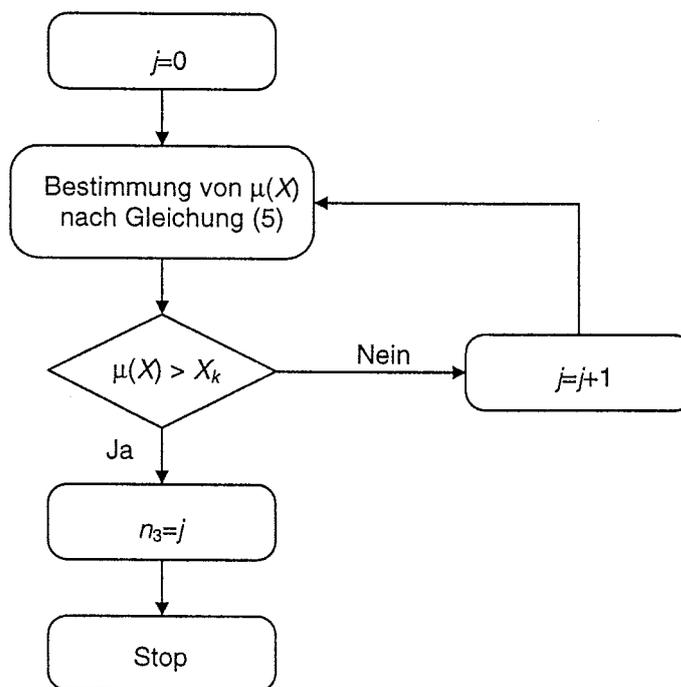


Abb. 2: Algorithmus zur Bestimmung des „Cutting Levels“ n_3

Um eine Aufteilung der Ausgangsstichproben in mehrere Festigkeitsklassen zu ermöglichen, muß das Verfahren für jede Festigkeitsklasse, mit der höchsten beginnend, komplett durchlaufen werden.

Für den weiteren Verlauf der Untersuchung muß für die Proben, die keiner Festigkeitsklasse zugeordnet sind („Ausschuß“) die charakteristische Festigkeit und der mittlere Elastizitätsmodul ermittelt werden. Dies ist notwendig, um die Qualität des Ausschusses im Vergleich zur niedrigsten verwendeten Sortierklasse beurteilen zu können.

2.3 Die „Elementary Cost Matrix“

Die tatsächliche Festigkeit des natürlichen Werkstoffes Holz läßt sich nur durch die Zerstörung einer Probe bestimmen. Mit zerstörungsfreien maschinellen Sortierverfahren werden geeignete Sortierparameter bestimmt, die eine Vorhersage der Festigkeit ermöglichen. Das Ziel einer jeden Holzsortierung muß es sein, geringe Differenzen zwischen erwarteter und tatsächlicher Festigkeit zu erreichen.

Um die Qualität einer Sortierung zu bewerten, stellt Rouger die sogenannte „Elementary Cost Matrix“ auf. Diese Matrix beinhaltet sämtliche möglichen Kombinationen von tatsächlicher („Label Class“) zu erwarteten Festigkeitsklasse („Decision Class“) einer Probe und belegt sie mit Kostenfaktoren („Costs“) für Überbewertung („Upgrading“) und Unterbewertung („Downgrading“).

Die Grundlage für die Ermittlung der Kostenfaktoren bilden die Festigkeitsklassen nach EN 338.

2.3.1 Überbewertung („Upgrading“)

Wird beispielsweise eine Probe durch maschinelle Sortierung der Festigkeitsklasse C40 zugeordnet, während die Versuche zeigen, daß die Festigkeits-eigenschaften dieser Probe lediglich den Anforderungen nach C24 genügen, bedeutet dies eine Überbewertung der Probe. Daraus ergibt sich eine erhöhte Versagenswahrscheinlichkeit, was bestimmte Kosten zur Folge haben kann.

Vorgehen zur Bestimmung des Kostenfaktors

- Unter Annahme einer LogNormalverteilung und einem Variationskoeffizienten von $c_v = 30\%$ läßt sich der Mittelwert $\mu(f_{m,decision})$ der erwarteten Festigkeitsklasse („Decision Class“) mit Hilfe der charakteristischen Festigkeit $f_{m,k,decision}$ folgendermaßen ermitteln: (vgl. [7])

$$\mu(f_{m,decision}) = e^{\left[\ln(f_{m,k,Decision}) + \left(\frac{1}{2} c_v^2 + 1,65 c_v \right) \right]} \quad (6)$$

- Unter Voraussetzung eines Sicherheitsindex von $\beta_{target} = 3,0$ läßt sich die erwartete Festigkeit $S_{decision}$ der Probe ermitteln:

$$S_{Decision} = \mu(f_{m,decision}) - 3,0 \mu(f_{m,decision}) c_v \quad (7)$$

- Wird diese Festigkeit mit der tatsächlichen Festigkeit („Label“) der Probe verglichen, errechnet sich die tatsächliche Sicherheit β_{real} folgendermaßen:

$$\beta_{real} = \frac{\mu(f_{m,label}) - S_{decision}}{\mu(f_{m,label}) c_v} \quad (8)$$

wobei $\mu(f_{m,label})$ analog $\mu(f_{m,decision})$ mit Gleichung (6) ermittelt werden kann

- Die Kosten errechnen sich aus der Differenz von β_{target} und β_{real}

$$Cost(Upgrading) = \beta_{target} - \beta_{real} \quad (9)$$

Beispiel:

$$\text{Label: C24 } f_{m,k}=24 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \\ \mu(f_{m,\text{label}}) = e^{\left[\ln 24 + \left(\frac{1}{2} \cdot 0,3^2 + 1,65 \cdot 0,3\right)\right]} = 41,18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Decision: C40 } f_{m,k}=40 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \\ \mu(f_{m,\text{decision}}) = e^{\left[\ln 40 + \left(\frac{1}{2} \cdot 0,3^2 + 1,65 \cdot 0,3\right)\right]} = 68,64 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{\text{decision}} = 68,64 - 3,0 \cdot 68,64 \cdot 0,3 = 6,86 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\beta_{\text{real}} = \frac{41,18 - 6,86}{41,18 \cdot 0,3} = 2,778$$

$$\text{Cost} = 3,0 - 2,778 = 0,222$$

2.3.2 Unterbewertung („Downgrading“)

Wird eine Probe durch maschinelle Sortierung der Festigkeitsklasse C24 zugeordnet, die Versuche zeigen jedoch, daß deren Festigkeitseigenschaften wesentlich höher liegen und somit auch den Anforderungen von C40 genügt hätten, bedeutet dies eine Unterbewertung dieser Probe.

Vorgehen zur Bestimmung des Kostenfaktors

Rouger geht bei Ermittlung des Kostenfaktors davon aus, daß bei der Dimensionierung von Bauholz für tragende Zwecke in der Regel die Durchbiegung maßgebend wird. Eine Unterbewertung hat somit eine höhere Materialmenge als tatsächlich benötigt zur Folge. Dieser Materialverlust wird durch das Verhältnis der Elastizitätsmoduln in folgender Gleichung erfaßt:

$$\text{Cost}(\text{Downgrading}) = \sqrt[3]{\frac{E_{\text{label}}}{E_{\text{decision}}}} - 1 \quad (10)$$

wobei E_{label} und E_{decision} die Elastizitätsmoduln der tatsächlichen und erwarteten Festigkeitsklassen sind.

Die Herleitung dieser Gleichung beruht auf der allgemeinen Gleichung für Durchbiegungen:

$$\delta = \frac{\alpha P L^3}{E b h^3} \quad (11)$$

dies ergibt, aufgelöst nach h :

$$h = \sqrt[3]{\frac{\alpha PL^3}{Eb\delta}} = K \sqrt[3]{\frac{1}{E}} \quad (12)$$

Beispiel:

$$\text{Decision: C24} \quad E_{\text{decision}} = 11000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Label: C40} \quad E_{\text{label}} = 14000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Cost} = \sqrt[3]{\frac{14000}{11000}} - 1 = 0,084$$

2.3.3 Aufstellung der „Elementary Cost Matrix“

Unter Anwendung der Gleichungen (9) und (10) kann die elementare Kostenmatrix für sämtliche Festigkeitsklassen nach EN 338 erstellt werden.

In diesem Fall wurde die Sortierklasse unter C14 („Reject“) mit folgenden Werten klassifiziert:

$$f_{m,k,\text{reject}} = 11 \text{ N/mm}^2 \quad E_{\text{reject}} = 7000 \text{ N/mm}^2$$

		Decision									
		C40	C35	C30	C27	C24	C22	C18	C16	C14	Reject
L a b e i	C40	0,000	0,025	0,053	0,053	0,084	0,119	0,159	0,205	0,260	0,260
	C35	0,048	0,000	0,027	0,027	0,057	0,091	0,130	0,176	0,229	0,229
	C30	0,111	0,056	0,000	0,000	0,029	0,063	0,101	0,145	0,197	0,197
	C27	0,160	0,099	0,037	0,000	0,029	0,063	0,101	0,145	0,197	0,197
	C24	0,222	0,153	0,083	0,042	0,000	0,032	0,069	0,112	0,163	0,163
	C22	0,273	0,197	0,121	0,076	0,030	0,000	0,036	0,077	0,126	0,126
	C18	0,407	0,315	0,222	0,167	0,111	0,074	0,000	0,040	0,087	0,087
	C16	0,500	0,396	0,292	0,229	0,167	0,125	0,042	0,000	0,046	0,046
	C14	0,619	0,500	0,381	0,310	0,238	0,190	0,095	0,048	0,000	0,000
	Reject	0,879	0,727	0,576	0,485	0,394	0,333	0,212	0,152	0,091	0,000

Tabelle 1: Kostenfaktoren für Festigkeitsklassen nach EN338

Durch den sicherheitsrelevanten Aspekt ergeben sich für Überbewertung („Upgrading“) deutlich höhere Kostenfaktoren als für Unterbewertung („Downgrading“), was lediglich Materialverlust zur Folge hat.

2.4 Die „Crossed-Validation Tests“

Das Ziel der „Crossed-Validation Tests“ nach Rouger ist die Bestimmung und Überprüfung von Sortierklassengrenzwerten einer bestimmten Sortiermaschine sowie die Überprüfung der Reproduzierbarkeit des Sortierergebnisses. Im Gegensatz zum Verfahren nach DIN 4074, Teil 3, wobei verschiedene Stichproben für die Bestimmung und Überprüfung der Einstellungen verwendet werden, bedient sich das „Crossed-Validation Test“ Verfahren nur einer einzigen Gesamtstichprobe, deren Proben sich selbst überprüfen.

2.4.1 Durchführung der „Crossed-Validation Tests“

- Die Gesamtstichprobe wird in 10 gleich große Untergruppen aufgeteilt. Jede Probe muß genau einer Untergruppe angehören, wobei die Zuteilung zufällig erfolgt.
- Es werden 10 Simulationen durchgeführt, wobei jeweils 9 Untergruppen zur Festlegung der Klassengrenzen und eine Untergruppe für deren Überprüfung eingesetzt werden. (s. Tab. 2)

Simulation n	Gruppe zur Festlegung der Klassengrenze Untergruppen n	Testgruppe Untergruppe n
1	2-10	1
2	1, 3-10	2
3	1-2, 4-10	3
4	1-3, 5-10	4
5	1-4, 6-10	5
6	1-5, 7-10	6
7	1-6, 8-10	7
8	1-7, 9-10	8
9	1-8, 10	9
10	1-9	10

Tabelle 2: Aufteilung der Untergruppe bei den einzelnen Simulationen

- Jede Simulation führt zu verschiedenen Sortierklassengrenzen. Diese Sortierklassengrenzen werden zur Feststellung der scheinbaren Festigkeitsklasse („Decision Class“) jeder Probe der Testgruppen genutzt. Auf diese Weise wird jede Probe der Gesamtstichprobe in einer Testgruppe so eingesetzt, daß die Gesamtstichprobe eine einzige Testgruppe ist.
- Mit Hilfe der „Optimal Ranking“ Methode (vgl. Kap. 2.2) wird jeder Probe der Gesamtstichprobe ihre tatsächliche Festigkeitsklasse („Label Class“) zugeordnet.
- Die Anzahl der Proben wird für jede „Decision/Label“-Kombination bestimmt und in der sog. „Size Matrix“ vermerkt.
- Die Berechnung der „Global Cost Matrix“, die eine Aussage über die Qualität der Sortierung liefern soll, erfolgt folgendermaßen:

$$GCM_{i,j} = C_{i,j} S_{i,j} \quad (13)$$

wobei C : „Elementary Cost Matrix“

S : „Size Matrix“

GCM : „Global Cost Matrix“

Zur Beurteilung der Maschine werden die Werte in der Global Cost Matrix mit vorgegebenen Grenzwerten verglichen.

- Die endgültige Festlegung der Sortierklassengrenzwerte kann mit der Originalstichprobe durchgeführt werden, da die Stabilität des Sortiervorganges überprüft ist.

Sinngemäß kann das Verfahren auch für die Überprüfung der Reproduzierbarkeit angewendet werden: Eine Stichprobe durchläuft fünfmal die Maschine. Es werden fünf „Global Cost Matrices“ erstellt, wobei z.B. die Ergebnisse des ersten Durchlaufes als die tatsächliche Festigkeitsklasse angenommen werden. Die Abweichungen der folgenden Durchläufe von den Ergebnissen des ersten Durchlaufes dienen als Bewertung der Reproduzierbarkeit.

2.5 Unterschiede zur Vorgehensweise nach DIN 4074

Zur Festlegung der Klassengrenzen und zum Nachweis der Zuverlässigkeit des Sortierverfahrens sind nach DIN 4074 voneinander unabhängige Versuche notwendig. Dies bedeutet, daß zunächst je nach Anwendungsbereich Versuche zur Festlegung der Klassengrenzen durchzuführen sind. Im Gegensatz zum

Verfahren nach „Rouger“ dürfen diese Ergebnisse nicht zur Überprüfung des Sortierergebnisses verwendet werden, sondern es sind zusätzliche Proben (mindestens 100 je Sortierklasse) zu entnehmen, mit denen die Zuverlässigkeit des Sortierverfahrens nachzuweisen ist.

Neben der Einhaltung der geforderten Festigkeitswerte in den einzelnen Sortierklassen, die natürlich bei beiden Verfahren gewährleistet sein muß, ist auch die Arbeitsweise der Sortiermaschinen zu bewerten. Während in DIN 4074 allgemein von einer „zufriedenstellend Arbeitsweise der Sortiermaschine“ gesprochen wird, gibt das Verfahren nach Rouger die Möglichkeit, diese Arbeitsweise objektiv durch Einhaltung bestimmter Grenzwerte in der Cost Matrix zu beurteilen. Welche Grenzwerte hierfür relevant sind, muß noch festgelegt werden.

Zum Nachweis der Reproduzierbarkeit von Messungen ist in DIN 4074 festgelegt, daß bei einer fünfmaligen Wiederholung des Sortiervorganges unter sonst gleichen Bedingungen die Meßwerte nicht mehr als 5% voneinander abweichen. Es werden also Grenzen für die einzelnen Messungen festgelegt, während bei einer Vorgehensweise nach „Rouger“ das gesamte Sortierergebnis (Unterschiedliche Einteilung in Sortierklassen bei mehrmaliger Sortierung) bewertet wird.

3 Numerische Auswertung

Die numerische Auswertung und Überprüfung des Vorschlages von Rouger erfolgt für die Sortierklassen MS17, MS13 und MS10, denen im nationalen Anwendungsdokument (NAD) zum Eurocode 5 folgende charakteristische Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte zugeordnet sind:

	MS17	MS13	MS10
$f_{m,k}$ [N/mm ²]	40	35	24
$E_{0,mean}$ [N/mm ²]	14000	13000	11000
ρ_k [kg/m ³]	420	400	380

Tabelle 3: Anforderungen an Holz verschiedener Sortierklassen

Versuchsmaterial

b [mm]	h [mm]	N
36	100	50
36	150	50
60	150	83
60	200	102
50	100	85
50	200	83
58	200	42
45	97	84
		579

Tabelle 4: Anzahl und Abmessungen der Probekörper

„Optimal Ranking“

Die Ergebnisse des Verfahrens „Optimal Ranking“, also die tatsächliche Einstufung der Proben nach Rouger, sind in Tabelle 5, 6 und 7 für die jeweiligen Sortierklassen dargestellt. Der maßgebende „Cutting Level“ der einzelnen Durchläufe ist fettgedruckt hervorgehoben, die Anzahl der verbleibenden Stichproben je Sortierklasse sind grau unterlegt. Tabelle 8 enthält die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte der ermittelten Sortierklassen.

Durchlauf	Anzahl N	Cutting Level n_1 (Rohdichte)	Cutting Level n_2 (Festigkeit)	Cutting Level n_3 (E-Modul)
1	579	171	229	95
2	350	46	0	0
3	304	0	0	0

Tabelle 5: „Optimal Ranking“ für Sortierklasse MS17

Durchlauf	Anzahl N	Cutting Level n_1	Cutting Level n_2	Cutting Level n_3
1	275	118	163	161
2	112	57	0	37
3	55	0	0	8
4	47	0	0	0

Tabelle 6: „Optimal Ranking“ für Sortierklasse MS13

Durchlauf	Anzahl N	Cutting Level n_1	Cutting Level n_2	Cutting Level n_3
1	228	39	15	27
2	189	0	15	18
3	171	1	4	0
4	167	0	0	0

Tabelle 7: „Optimal Ranking“ für Sortierklasse MS10

	N	$f_{m,k}$ [N/mm ²]	$E_{0,mean}$ [N/mm ²]	ρ_k [kg/m ³]
MS17	304 (52,5%)	40,0	15090	419
MS13	47 (8,1%)	35,0	13010	400
MS10	167 (28,8%)	23,9	11040	379
< MS10	61 (10,5%)	18,0	9240	344
Gesamt	579 (100%)	24,0	13140	371

Tabelle 8: Ergebnis der Festigkeitssortierung durch „Optimal Ranking“

„Crossed-Validation Tests“

Tabelle 9 enthält die Ergebnisse von 10 Simulationen die im Rahmen der „Crossed-Validation Tests“ (durchgeführt wurden. Sortierklassengrenzen S , Stich-probenanzahl N sowie charakteristische Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte werden für die jeweiligen Sortierklassen und Simulationen dargestellt. Es muß darauf hingewiesen werden, daß die Erstellung der 10 Untergruppen zufällig erfolgte, das Ergebnis folglich nur einen möglichen Fall darstellt.

Tabelle 10 stellt das Ergebnis der „Crossed-Validation Tests“ dar, nachdem jede Probe der einzelnen Testgruppen, gemäß den jeweilig ermittelten Sortierklassengrenzen, einer Sortierklasse zugeordnet wurde.

	MS17					MS13					MS10				
	S	N	$f_{m,k}$	$E_{0,mean}$	ρ_k	S	N	$f_{m,k}$	$E_{0,mean}$	ρ_k	S	N	$f_{m,k}$	$E_{0,mean}$	ρ_k
1	53	79	42,6	17330	450	47	77	38,0	15190	428	36	228	26,4	12900	384
2	53	79	42,0	17420	450	47	82	38,0	15120	424	35	251	25,4	12770	382
3	53	74	41,7	17350	454	47	77	37,9	15150	439	36	233	25,9	12800	384
4	53	75	41,8	17390	449	47	80	37,0	15120	428	36	234	26,7	12900	384
5	53	74	41,7	17690	455	47	77	37,9	15250	429	35	258	25,6	12770	383
6	53	75	41,8	17390	449	47	80	36,0	15060	430	35	253	25,0	12720	380
7	53	75	43,3	17520	457	47	80	37,0	15130	430	36	231	27,4	12860	383
8	53	73	41,6	17510	449	47	82	37,1	15080	428	36	235	25,8	12850	384
9	53	76	42,3	17430	449	47	85	37,2	14920	424	36	229	25,9	12910	382
10	53	77	41,9	17410	456	47	81	37,0	15050	428	35	258	25,0	12740	384

Tabelle 9: Ergebnisse der Simulationen

	MS17	MS13	MS10	<MS10
N	85(14,6%)	91(15,7%)	266(45,9%)	137(23,7%)
$f_{m,k}$ [N/mm ²]	42,1	35,3	25,9	19,8
$E_{0,mean}$ [N/mm ²]	17410	15090	12770	9910
ρ_k [kg/m ³]	457	428	382	348

Tabelle 10: Ergebnisse der Sortierung durch die „Crossed-Validation Tests“

Matrizen

Die „Elementary Cost Matrix“ (Tabelle 11) wurde mit Hilfe der Elastizitätsmoduln und der charakteristischen Festigkeiten der Sortierklassen MS10, MS13 und MS17 aufgestellt, die Werte zur Klassifizierung der Sortierklasse unter MS10 („Ausschuß“) wurde aus den Ergebnissen der „Optimal Ranking“ Methode (Tabelle 8) übernommen.

		Decision			
		MS17	MS13	MS10	< MS10
L	MS17	0	0,02501	0,08371	0,14856
	MS13	0,04762	0	0,05726	0,12053
	MS10	0,22222	0,15278	0	0,05984
	< MS10	0,40741	0,31481	0,11111	0

Tabelle 11: „Elementary Cost Matrix“

Die „Size Matrix“ (Tabelle 12) gibt an, wieviele der Proben durch die Festigkeitssortierung (Decision) gegenüber der tatsächlichen Festigkeitsklasse (optimal Ranking) überbewertet, unterbewertet bzw. richtig bewertet wurden. Werte oberhalb der Diagonalen bedeuten eine Unterbewertung durch die Sortierung, was unwirtschaftlich ist, während die Werte unterhalb der Diagonalen eine Überbewertung darstellen, und somit sicherheitsrelevant sind.

		Decision				Σ
		MS17	MS13	MS10	< MS10	
L a b e I	MS17	85	80	134	5	304
	MS13	0	7	38	2	47
	MS10	0	4	84	79	167
	< MS10	0	0	10	51	61
	Σ	85	91	266	137	579

Tabelle 12: „Size Matrix“

Multipliziert man die „Size Matrix“ mit der „Elementary Cost Matrix“ erhält man die „Global Cost Matrix“ (Tabelle 13). In dieser Tabelle sind auch die Summen Σ der einzelnen Reihen und Spalten angegeben. Da die Werte in dieser Tabelle noch abhängig sind vom Umfang der Ausgangsstichprobe (N=579) können diese Werte noch nicht für eine Beurteilung herangezogen werden.

		Decision				Σ
		MS17	MS13	MS10	< MS10	
L a b e I	MS17	0,000	2,001	11,217	0,743	13,960
	MS13	0,000	0,000	2,176	0,241	2,417
	MS10	0,000	0,611	0,000	4,727	5,338
	< MS10	0,000	0,000	1,111	0,000	1,111
	Σ	0,000	2,612	14,504	5,711	22,827

Tabelle 13: „Global Cost Matrix“

Bezieht man die Werte der „Global Cost Matrix“ auf die Anzahl der Proben in der jeweiligen Festigkeitsklasse in % (Decision) erhält man Tabelle 14

		Decision			
		MS17	MS13	MS10	< MS10
L	MS17	0,000	2,199	4,217	0,542
a	MS13	0,000	0,000	0,818	0,176
b	MS10	0,000	0,671	0,000	3,450
el	< MS10	0,000	0,000	0,418	0,000

Tabelle 14: „Global Cost Matrix“ (relativ)

Eine Bewertung der Reproduzierbarkeit der Sortierergebnisse einer Maschine kann in ähnlicher Weise erfolgen. Eine numerische Auswertung kann an dieser Stelle nicht durchgeführt werden, da bislang keine Versuchsdaten vorliegen.

4 Bewertung

Mit der „Global Cost Matrix“ liegt eine Möglichkeit vor, Sortiermaschinen zu bewerten bzw. miteinander zu vergleichen. Zur Bewertung der Zuverlässigkeit des Verfahrens kann ein Grenzwert in einer Zelle festgelegt werden, der nicht überschritten werden darf. So könnte z.B. gefordert werden, daß in den Zellen unterhalb der Diagonalen ein Grenzwert von 1,0 nicht überschritten werden darf. Gleichzeitig ist selbstverständlich nachzuweisen, daß die Ergebnisse der Sortierung der Überprüfungsgruppen, die durch die Einführung des „Crossed-Validation Test“ aus allen Versuchswerten besteht, die Anforderungen an die Sortierklassen erfüllt.

Die Zellen oberhalb der Diagonalen geben an, wie wirtschaftlich eine Sortiermaschine arbeitet. Diese Werte sind jedoch nicht sicherheitsrelevant und es ist somit nicht notwendig, hierfür Anforderungen zu definieren. Diese Werte können insbesondere zum Vergleich von verschiedenen Sortiermaschinen herangezogen werden.

Im obigen Beispiel hat die Sortiermaschine die Anforderungen erfüllt: Tabelle 10 zeigt, daß die Überprüfungsstichprobe die Anforderungen an die Festigkeitsklassen erfüllt und Tabelle 14 weist in den Zellen unterhalb der Diagonalen Werte auf, die deutlich unter 1,0 liegen. Über der Diagonalen liegen Werte über 1,0, so daß eventuell eine wirtschaftlichere Arbeitsweise der Maschine anstrebenswert wäre. Bisher kann jedoch noch kein Vergleich mit anderen Sortiermaschinen gegeben werden, da keine entsprechenden Auswertungen vorliegen.

Falls dieses Verfahren Eingang in eine europäische Norm finden sollte, muß noch durch Auswertung von Sortiererergebnissen von unterschiedlichen Sortiermaschinen sichergestellt werden, welcher Grenzwert für die Akzeptanz einer Sortiermaschine festgelegt werden muß.

5 Zusammenfassung

Anhand von Versuchsdaten wurde ein neues Verfahren für die Ermittlung von Sortierklassengrenzen und zur Überprüfung der Eignung und Qualität einer Sortiermaschine angewendet. Dieses Verfahren unterscheidet sich vom dem Verfahren nach DIN 4074 zunächst dadurch, daß anstelle einer separaten Stichprobe zur Überprüfung der Einstellwerte der Maschine, eine Vorgehensweise angewandt wird (Crossed-validation), die eine Gesamtstichprobe so in Einzelstichproben aufteilt, daß jede Probe unabhängig sowohl für die Ermittlung der Einstellwerte als auch zur Überprüfung der Sortiererergebnisse verwendet werden kann. Dadurch wird die Anzahl der notwendigen Prüfungen reduziert.

Weiterhin gelingt es mit diesem Verfahren in einem weiteren Schritt (Erstellung einer sog. „Cost-Matrix“), das Sortiererergebnis hinsichtlich seiner Zuverlässigkeit und seiner Wirtschaftlichkeit zu beurteilen. Hierüber werden in DIN 4074 keine Angaben gemacht. Das Verfahren läßt sich auch für die Überprüfung der Reproduzierbarkeit des Sortiererergebnisses anwenden.

Durch Auswertung von Versuchsdaten konnte gezeigt werden, daß das Verfahren praktikabel anwendbar ist. Grenzwerte, die für die Akzeptanz einer Sortiermaschine festzulegen sind, müssen noch gefunden werden.

Literatur

Rouger, F.: Technical note about verification of settings and repeatability tests. Prepared for the CEN/TC124, WG2/AH2. Paper AH60, unveröffentlicht.

Rouger, F.: A new statistical method for the establishment of the machine settings. Paper prepared for the CIBW-18 meeting in Vancouver, Canada, August 1997

Duppel, C.: Vergleich von zwei Verfahren zur Ermittlung von Sortierklassengrenzwerten für Sortiermaschinen. Vertiefearbeit am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe, 1997 (unveröffentlicht)