

Der Einfluß verschiedener Holzarten auf die Eigenschaften dreischichtiger Spanplatten und deren Deckschichten*

A. Grigoriou

Aristotelion Universität, Land- und Forstwirtschaftliche Fakultät, Laboratorium für Forstliche Technologie, Thessaloniki, Griechenland

An dreischichtigen Holzspanplatten wurde sowohl der Einfluß der Deckschicht-Holzart als auch der Einfluß des Deckschicht-Mittelschicht-Anteils auf die Qualität der Deckschichten untersucht. Dazu wurden sieben Holzarten für die Deckschicht und zwei Deckschicht-Mittelschicht-Verhältnisse gewählt. Es zeigte sich, daß die Qualität der Deckschicht vorwiegend durch die Holzart, welche für die Deckschicht verwendet wird, bestimmt wird. Den größten Einfluß hat die Deckschicht-Holzart auf die Deckschicht-Rohdichte, die Abhebefestigkeit und die Oberflächenrauheit. Die Deckschicht-Mittelschicht-Verhältnisse bewirken eine unterschiedliche Rohdichteverteilung über den Spanplattenquerschnitt, welche ihrerseits die Deckschicht-Rohdichte und die Dickenzunahme der Deckschichten nach Lagerung im Feuchtklima beeinflusst.

Influence of Different Wood Species on the Properties of Threelayer Particleboard and their Surface Layers

This study was carried out to investigate the effect of the wood species of the face layer and the weight ratio of the face-core-layer on the properties of the face layer. For this purpose, seven different wood species were selected for the face layers and two different weight ratios for the face-core-layers. It was found that the wood species used for the face layer largely determines the properties of the face layer. The wood species of the face layer greatly influences the face-layer-density, its internal bond and the surface roughness. The weight ratios of the face-core-layers cause a varying density distribution over the cross section of the board, a fact which on the other hand affects the face-layer-density and the increase in thickness of the face layers after exposure to moist climate.

1 Einleitung und Zielsetzung

Die bisherige Entwicklung auf dem Spanplattengebiet – vorwiegend in den westeuropäischen Ländern – hat gezeigt, daß dieser Industriezweig nach wie vor in der Möbelindustrie seine Hauptabnehmer hat (FESYP-Jahresbericht 1975/76). In der Bundesrepublik wurden 1976 von der Gesamtmenge der oberflächenveredelten Spanplatten 79,35% mit melaminharz-impregnierten Papieren beschichtet (FESYP-Jahresbericht 1976/77).

Wie aus der Literatur bekannt ist (Deppe u. Ernst 1967; Scherfke u. Kehr 1968; Enzenberger 1969; Plath 1971; Deppe

u. Ernst 1973; Reiter 1975 u. a.), sind an die Spanplatte als Träger für Beschichtungen bestimmte Anforderungen zu stellen, denn die Qualität der Beschichtung von Spanplatten, hängt in starkem Maße von der Beschaffenheit ihrer Oberflächen ab. Durch die Beschichtung mit Dünnfolien, die gegenwärtig besondere Beachtung finden, steigen die Anforderungen an die Oberflächenqualität von Spanplatten weiter an.

Zusammenfassend lassen sich die Anforderungen, die heute in der Literatur und Praxis für Qualitätsspanplatten verlangt werden, wie folgt darstellen:

Am wichtigsten ist eine geschlossene und ruhige Oberfläche und eine ausreichend hohe Deckschichtrohichte. Darüber hinaus ist ein hoher Festharzgehalt der Deckschicht ebenso erforderlich wie eine hohe Abhebefestigkeit. Zusätzlich sind die Drucksteifigkeit der Mittelschicht und der pH-Wert der Oberflächenschicht für beschichtungsfähige Platten von Bedeutung.

Zur Erfüllung dieser Anforderungen hat sich in den letzten Jahren der Trend zur Verfeinerung der Spanplattendeckschichten für den Möbelbau weitgehend durchgesetzt. Eine wesentliche wirtschaftliche Zielsetzung liegt in der Einsparung von Beschichtungsmaterial sowohl bei der Flüssigbeschichtung als auch bei der Beschichtung mit melaminharz-impregnierten Papieren (Deppe u. Ernst 1973).

Die Deckschichten der Spanplatten, die beschichtet werden sollen, bestehen heute aus feinen Partikeln in der Form von Feinstspänen oder Staub.

Was die Holzarten betrifft, werden heute für die Deckschicht vorwiegend Nadelhölzer, d.h. Fichte, Tanne und Kiefer, gelegentlich aber auch Laubhölzer, wie z.B. Rotbuche, verwendet (Anonymus 1977). Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß auch andere Holzarten besonders günstige Eigenschaften für die Deckschicht von Spanplatten aufweisen. Es erschien also interessant zu klären, inwieweit Holzarten mit verschiedenen physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften Deckschichten unterschiedlicher Qualität ergeben. Für die vorliegende Arbeit wurden drei Nadelhölzer (Strobe, Tanne, Schwarzkiefer) und vier Laubhölzer (Pappel, Eiche, Rotbuche und Hainbuche) ausgewählt (Tabelle 1), wobei es auf möglichst große Unterschiede der einzelnen Hölzer in bestimmten Eigenschaften ankam, vor allem hinsichtlich der Rohdichte und der Holzstruktur sowie des Harzanteils bei Nadel- und des Gerbstoffgehaltes bei Laubhölzern.

Unter dem Aspekt, daß die Herstellung der Deckschichtspäne teurer als die der Mittelschichtspäne ist und um festzustellen, wie der unterschiedliche Deckschicht- bzw. Mittelschichtgewichtsanteil die Spanplatteneigenschaften beeinflusst, wurden zwei Deckschicht-Mittelschicht-Verhältnisse ausgewählt:

* Kurzfassung der Dissertation des Verfassers an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München, 1978. Die vorliegende Arbeit entstand am Institut für Holzforschung der Ludwig-Maximilians-Universität München auf Anregung des Leiters des Institutes Prof. Dr. H. Schulz

Herrn Prof. Dr. H. Schulz und Herrn Diplom-Holzwirt F. K. Träger möchte ich für die wissenschaftliche Betreuung herzlich danken

Tabelle 1. Rohdichte der verwendeten Holzarten

Holzart	Mittelwert \bar{x} g/cm ³	Variationskoeffizient V %	Zahl der Proben N
Für die Deckschicht			
Strobe (Pinus strobus L.)	0,34	4,75	85
Tanne (Abies alba M.)	0,43	10,58	89
Schwarzkiefer (Pinus nigra A.)	0,52	11,10	89
Pappel (Populus robusta S.)	0,42	6,54	84
Eiche (Quercus robur L.)	0,69	3,70	57
Rotbuche (Fagus sylvatica L.)	0,70	3,98	81
Hainbuche (Carpinus betulus L.)	0,78	6,50	73
Für die Mittelschicht			
Rotbuche (Fagus sylvatica L.)	0,66	5,05	118

1. Deckschichtgewichtsanteil 35%, Mittelschichtgewichtsanteil 65% und
 2. Deckschichtgewichtsanteil 50%, Mittelschichtgewichtsanteil 50%.
- Für die Mittelschicht wurde Rotbuche verwendet.

2 Ausgangsmaterial und Spänaufbereitung

Pro Holzart wurde ein Baum gefällt und anschließend zur Charakterisierung der verwendeten Holzarten ihre Rohdichte bestimmt. Wie aus Tabelle 1 zu entnehmen ist, stimmen die Rohdichten der verwendeten Holzarten gut mit den aus der Literatur bekannten Werten überein (Trendelenburg 1939; Vorreiter 1949; Kollmann 1955).

Der Feuchtigkeitsgehalt der verwendeten Holzarten schwankte zwar sehr, lag aber für alle Holzarten über dem Grenzwert von 60%, was für die Herstellung von Qualitätsspanplatten als optimal angesehen wird (Scheibert 1958; Popielarz 1965). Vor der Zerspannung wurden die Stämme der ausgewählten Bäume in Rollen von 1 m Länge abgelängt und anschließend manuell weiß geschält.

Die Zerspannung des Holzes für die Mittelschicht wurde auf einem Laborflachscheibenzerspanner bei einem Schneidmesserüberstand von 0,55 mm durchgeführt. Das durch die Zerspannung erzeugte Spänematerial wurde danach in einer Laborhammermühle zerkleinert und anschließend in einem Trockner auf eine Feuchtigkeit von 4...6% getrocknet.

Für die Deckschichtspänaufbereitung erfolgte die Zerspannung des Holzes auf dem Laborscheibenzerspanner mit einem Schneidmesserüberstand von 0,20 mm. Bei der Zerspannung der Holzarten Strobe und Pappel legten sich Faserbündel um die Messerschneide, was die weitere Zerspannung der Holzviertel dieser Holzarten sehr erschwerte. Die Feuchtigkeit des Holzes scheint keine Rolle zu spielen, denn bei einer Feuchtigkeit von 30% und 120% trat bei diesen Holzarten die gleiche Erscheinung auf. Die weitere Zerspannung der zwei Holzarten wurde nur durch ein häufigeres Schleifen der Messer ermöglicht. Daß Pappelholz beim Schneiden oder Sägen zur Verfilzung neigt, ist aus mehreren Untersuchungen bekannt und wird auf das vorhandene Zugholz zurückgeführt (Klauditz u. Stolley 1955; Mayer-Wegelin 1957; Stegmann, Durst u. Kratz 1965; Bonnemann 1975).

Die Herstellung des Deckschichtspänematerials wurde nach der Zerspannung durch eine Zerkleinerung auf der Laborhammermühle fortgesetzt. Anschließend wurden die Späne auf 4...6% Feuchtigkeit getrocknet. Die weitere Aufbereitung der Deckschichtspäne erfolgte auf einer Laborschlagkreuzmühle.

Bild 1 zeigt das Schema von der Verarbeitung des Stammes bis zur Herstellung der Mittelschicht- und Deckschichtspäne.

3 Das verwendete Spänematerial

Da die Spanplatteneigenschaften unter anderem von den Eigenschaften des verwendeten Spänematerials beeinflusst werden (Klauditz 1952; Turner 1954; Post 1958; Brumbaugh 1960; Klauditz, Buro 1960; Kollmann u. Teichgräber 1962; Kehr u. Scherfke 1966; Kusian 1968; May u. Mehlhorn 1969;

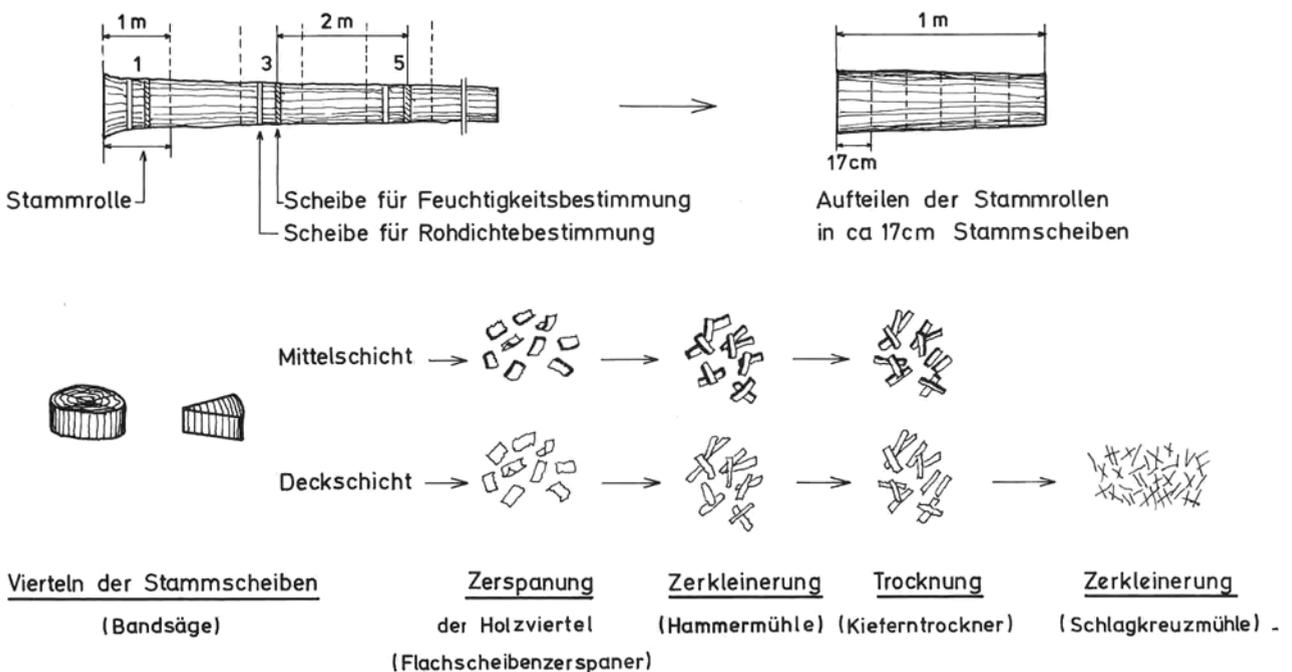


Bild 1. Schema der Aufteilung des Stammes und der Spänaufbereitung
Fig. 1. Scheme for disassembling the log and for the preparation of the flakes

Tabelle 4. Schüttgewichte und Kompressibilität der Deckschicht- bzw. Mittelschichtspäne (Mittelwerte aus drei Versuchen je Holzart) und Rohdichte der entsprechenden Holzarten

Holzart	Schüttgewicht g/cm ³	Kompressibilität mm ² /N	Rohdichte g/cm ³
Deckschicht			
Strobe	0,094	0,461	0,34
Tanne	0,106	0,477	0,43
Schwarzkiefer	0,128	0,451	0,52
Pappel	0,093	0,482	0,42
Eiche	0,180	0,362	0,69
Rotbuche	0,150	0,430	0,70
Hainbuche	0,155	0,427	0,78
Mittelschicht			
Rotbuche	0,108	0,476	0,66

Mittelschicht-Späne aus Rotbuche dünner als die gewählte Messereinstellung ausfallen.

Abgesehen von der Schwarzkiefer, deren Späne eine etwas größere Dicke aufweisen, unterscheidet sich die Dicke der Deckschicht-Späne der übrigen Holzarten nicht voneinander (Tabelle 3), obwohl dies infolge der unterschiedlichen Holzstruktur der untersuchten Holzarten zu erwarten gewesen wäre.

3.3 Schüttgewicht und Kompressibilität der Späne

Das Schüttgewicht der Späne (Quotient aus Masse und Volumen von vereinzelt herabgefallenen Spänen) wurde durch eine einfache Gewichts- und Volumenmessung ermittelt.

Aus Tabelle 4 ist ersichtlich, daß nicht nur die Rohdichte der Holzart das Schüttgewicht der Deckschicht-Späne bestimmen kann. Es gibt auch andere Faktoren, wie z. B. die Form der Späne, die Beschaffenheit ihrer Oberfläche und ihre Fraktionszusammensetzung, die den Einflußfaktor Rohdichte überlagern können.

Die Kompressibilität als Kennzahl eines Spangemisches drückt die Verformbarkeit des Spangemisches bei gewähltem Preßdruck aus. Die Versuche erfolgten in einer Prüfmaschine, in der das Spangemisch mit einem Druck 1,5 N/mm² bei einer Verdichtungsgeschwindigkeit von 10 mm/min zusammengedrückt wurde.

Wie aus Tabelle 4 zu entnehmen ist, zeigen die Deckschicht-Späne aus Eiche, Hainbuche und Rotbuche eine niedrigere Kompressibilität als die aus Schwarzkiefer, Tanne, Pappel und Strobe, was auf Grund ihrer höheren Schüttgewichte zu erwarten war.

4 Spanplattenherstellung

Es wurden dreischichtige Spanplatten mit einem Plattenformat 700 mm × 400 mm × 20 mm und einer Rohdichte von 0,70 g/cm³ hergestellt. Aus den gewählten zwei Variantengruppen, die sich aus den sieben Holzarten für die Deckschicht und den zwei Deckschicht-Mittelschicht-Verhältnissen, d. h. aus 9 Herstellungsvarianten zusammensetzen, ergaben sich folglich (7 × 2) 14 Spanplattenarten. Von diesen wurden je drei Spanplatten, also insgesamt 42 Spanplatten hergestellt.

Die Beleimung der Mittelschicht-Späne erfolgte in einem Labormischer, der nach dem Sprüh-Umwälz-Verfahren arbeitet. Harnstoff-Formaldehydharz als Bindemittel wurde

mit 8% Festharzanteil, bezogen auf atro Späne, eingesetzt; die Feuchtigkeit der beleimten Späne lag bei 13...14%. Es wurde sowohl bei der Beleimung der Deckschicht- als auch der Mittelschichtspäne kein Hydrophobierungsmittel verwendet, um die spezifischen Eigenschaften der verwendeten Holzarten nicht zu verwischen.

Die Beleimung der Deckschichtspäne erfolgte mit einem Schnellmischer, der in Beleimungsversuchen von Tröger u. Grigoriou (1976) erprobt wurde. Der Leim wurde dem Mischer in Form eines etwa 2 mm dicken Strahls mit 2 atü Druck zugeführt. Als Bindemittel wurde Harnstoff-Formaldehydharz verwendet. Der Festharzanteil, bezogen auf atro Spanmenge betrug 12%. Nach der Beleimung stellte sich eine Feuchtigkeit von 17...18% ein.

Während der Beleimung wiesen die Deckschichtspäne aus Tanne, Pappel und Strobe eine verminderte kreis- und trombenförmige Bewegung auf. Im Gegensatz dazu wurde das Spänematerial aus Hainbuche, Eiche und Rotbuche zügig trombenförmig bewegt, und es ließ sich eine bessere Späneumwälzung beobachten. Diese besseren Mischungsverhältnisse waren hauptsächlich auf den geringeren Füllungsgrad des Mixers der schweren Holzarten – auf Grund ihres hohen Schüttgewichts – gegenüber den leichteren zurückzuführen.

Die Spanplatten wurden auf einer Laborpresse nach folgenden Bedingungen hergestellt: Preßtemperatur 155 °C, Preßzeit 8 min, Preßdruck 3,0 N/mm².

Das Schleifen erfolgte auf einer Zwei-Zylinder-Schleifmaschine mit Körnung 100. Von jeder Spanplattenseite wurde in zwei Schleifvorgängen eine Schicht von 0,7 mm abgenommen.

5 Untersuchung der Eigenschaften

Um zwischen gesicherten und nicht gesicherten Mittelwertsunterschieden der Eigenschaften zwischen den Spanplattenarten unterscheiden zu können, wurde in der vorliegenden Arbeit der t-Test mit einer statistischen Sicherheit von 99% angewendet (Graf u. Henning 1955; Sachs 1974).

5.1 Rohdichtedifferenzierung des Querschnitts

In der Literatur sind umfangreiche Untersuchungen über den Einfluß der Deckschicht- und Mittelschicht-Rohdichte auf die Spanplatteneigenschaften vorhanden (Keylwerth 1958; Neusser 1963; Kehr u. Schilling 1965; Kehr u. Scherfke 1966; u. a.).

Um festzustellen, wie sich bei den verschiedenen Spanplattenarten die Rohdichtedifferenzierung zwischen Deck- und Mittelschicht ausbildet, wurde in der vorliegenden Arbeit die Rohdichte der Deckschicht und Mittelschicht von normalklimatisierten Spanplattenproben bestimmt.

Zur Bestimmung der Rohdichte der Deckschicht wurden Spanplattenproben in der Größe von 2,5 cm × 2,5 cm schichtweise parallel zur Oberfläche mit einer Genauigkeit von 0,02 mm bis zum Sichtbarwerden der ersten Mittelschicht-Späne abgefräst. Aus den Volumen- und Gewichtsunterschieden vor und nach dem Abfräsen wurde dann die Rohdichte der Deckschicht berechnet. Zur Bestimmung der Rohdichte der Mittelschicht wurden an 2,5 cm × 2,5 cm großen Spanplattenproben die beiden Deckschichten mit einer Präzisionskreissäge abgesägt. Die Rohdichte der auf diese Weise entstandenen Mittelschichtproben erfolgte nach der Gewichts- und Volumenbestimmung.

Wie aus Tabelle 5 zu entnehmen ist, weisen die Deckschichten der Nadelhölzer bei gleichem Deckschicht-Anteil

Tabelle 5. Rohdichten der einzelnen Spanplattenschichten

DS/MS-Anteil		Deckschichtholzart						
		Strobe	Tanne	Schwarzkiefer	Pappel	Eiche	Rotbuche	Hainbuche
Rohdichte der Deckschicht g/cm ³								
DS ₃₅	\bar{x}	0,991	0,932	0,982	0,916	0,927	0,907	0,895
	V	2,89	3,57	3,41	3,31	2,33	1,87	1,24
	N	18	16	18	18	18	18	16
DS ₅₀	\bar{x}	0,915	0,889	0,917	0,870	0,869	0,860	0,860
	V	2,94	3,15	2,33	2,60	2,08	2,14	1,35
	N	17	18	18	18	18	15	18
Rohdichte der Mittelschicht g/cm ³								
MS ₆₅	\bar{x}	0,581	0,590	0,595	0,593	0,600	0,607	0,601
	V	2,14	3,10	2,90	2,97	2,34	3,21	2,58
	N	18	18	18	18	17	18	18
MS ₅₀	\bar{x}	0,561	0,575	0,577	0,575	0,575	0,591	0,589
	V	3,33	3,71	2,29	1,76	1,76	2,81	2,54
	N	18	17	18	18	18	18	18

DS: Deckschicht
 MS: Mittelschicht
 DS_{35, 50}: Deckschicht mit 35% bzw. 50% Anteil
 MS_{65, 50}: Mittelschicht mit 65% bzw. 50% Anteil

Tabelle 6. Die mechanischen Eigenschaften der Spanplattenarten

DS/MS-Anteil		Deckschichtholzart						
		Strobe	Tanne	Schwarzkiefer	Pappel	Eiche	Rotbuche	Hainbuche
Querzugfestigkeit N/mm ²								
DS ₃₅ /MS ₆₅	\bar{x}	0,51	0,51	0,54	0,50	0,52	0,61	0,59
	V	16,92	20,61	9,39	9,46	9,44	8,52	8,90
	N	17	18	18	18	17	17	16
DS ₅₀ /MS ₅₀	\bar{x}	0,48	0,47	0,52	0,50	0,49	0,58	0,57
	V	14,37	15,83	9,29	8,20	9,75	8,56	7,42
	N	18	17	17	18	18	18	18
Biegefestigkeit N/mm ²								
DS ₃₅ /MS ₆₅	\bar{x}	25,99	28,68	28,95	27,13	27,54	25,48	28,08
	V	8,42	10,21	6,12	6,75	5,77	6,06	7,12
	N	15	15	15	15	15	15	15
DS ₅₀ /MS ₅₀	\bar{x}	26,67	30,79	29,14	28,14	28,65	26,42	29,49
	V	4,11	6,44	7,31	8,90	7,71	6,15	4,21
	N	15	15	15	15	15	15	15
Abhebefestigkeit N/mm ²								
DS ₃₅ /MS ₆₅	\bar{x}	1,10	1,45	1,37	1,23	1,65	1,57	1,58
	V	8,42	11,95	10,57	11,00	10,36	6,52	10,36
	N	50	57	54	58	56	56	48
DS ₅₀ /MS ₅₀	\bar{x}	1,08	1,38	1,34	1,27	1,65	1,53	1,57
	V	9,07	10,43	8,16	14,33	8,13	10,46	10,52
	N	54	56	53	56	48	53	51

DS₃₅/MS₆₅: Spanplatte mit 35% Deckschicht- und 65% Mittelschichtanteil
 DS₅₀/MS₅₀: Spanplatte mit 50% Deckschicht- und 50% Mittelschichtanteil

deutlich höhere Rohdichten auf als die Deckschichten aller Laubhölzer. Diese Unterschiede sind alle statistisch gesichert. Was die beiden Deckschicht-Anteile 35% und 50% angeht, haben Spanplatten mit einem Deckschicht-Anteil von 35% eine höhere Deckschicht-Rohdichte als die mit 50%. Diese gesicherten Unterschiede sind vermutlich auf den niedrigeren Gegendruck, den die Mittelschicht mit 50% Anteil gegen die Deckschicht ausübt, zurückzuführen.

Spanplatten mit einem Mittelschicht-Anteil von 65% haben gegenüber denen mit 50% eine höhere Mittelschichtroh-dichte. Ähnliche Untersuchungen von Geimer, Montrey u. Lehmann (1975) ergaben für Spanplatten mit 80% Mittel-

schicht-Anteil eine höhere Mittelschicht-Rohdichte gegenüber solchen mit 60% Mittelschicht-Anteil. Wie aus Tabelle 5 ersichtlich ist, haben Spanplattenarten mit Strobe Deckschicht die niedrigste Mittelschicht-Rohdichte. Die höchste Mittelschicht-Rohdichte wird dagegen von den Spanplattenarten mit der Deckschicht aus Rotbuche und Hainbuche erreicht.

5.2 Mechanische Eigenschaften

Die Prüfung der Querzugfestigkeit, Biegefestigkeit und Abhebefestigkeit erfolgte auf einer Instron-Prüfmaschine nach DIN 52365, DIN 52362 und DIN 52366.

Tabelle 7. Feuchtigkeits- und Dickenzunahme in % der Spanplatten-Deckschichten beim Übergang vom Normalklima (20/65) zum Feuchtklima (20/90)

DS-Anteil		Deckschichtholzarten						
		Strobe	Tanne	Schwarzkiefer	Pappel	Eiche	Rotbuche	Hainbuche
Feuchtigkeitszunahme der Deckschicht %								
DS ₃₅	\bar{x}	7,3	7,8	7,5	7,7	7,6	8,9	9,6
	V	1,23	0,86	2,58	1,60	0,58	1,33	0,32
	N	6	6	6	6	6	6	6
DS ₅₀	\bar{x}	6,7	7,1	7,1	7,0	7,3	8,6	9,3
	V	2,63	1,94	1,65	2,40	1,25	0,91	0,88
	N	6	6	6	6	6	6	6
Dickenzunahme der Deckschicht %								
DS ₃₅	\bar{x}	14,51	11,43	11,76	11,56	9,06	12,20	13,63
	V	2,67	9,50	10,30	7,96	11,13	4,11	6,60
	N	3	6	6	6	6	6	6
DS ₅₀	\bar{x}	9,70	7,64	8,22	8,23	6,44	9,88	9,98
	V	5,04	6,98	6,54	4,70	7,03	7,48	5,17
	N	6	5	6	6	6	5	6

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse aus der Prüfung der mechanischen Eigenschaften der untersuchten Spanplatten dargestellt.

Der Einfluß der Deckschichtholzart auf die Querkzugfestigkeit, der indirekt über die Beeinflussung der Mittelschicht-Rohdichte stattfindet, ist nur gering. Eine Ausnahme bilden die Spanplattenarten mit Deckschicht aus Rotbuche und Hainbuche, die im Vergleich zu den übrigen Holzarten die höchste Querkzugfestigkeitswerte erzielten. Die Unterschiede der Querkzugfestigkeit, bedingt durch die zwei Mittelschicht-Anteile 65% und 50%, sind statistisch nicht gesichert.

Die niedrigste Biegefestigkeit weisen Platten mit Deckschicht aus Strobe und Rotbuche auf. Tanne erzielt im Vergleich mit den übrigen Deckschicht-Holzarten die höchste Biegefestigkeit (Tabelle 6). Spanplatten mit einem Deckschicht-Anteil von 50% zeigen eine höhere Biegefestigkeit als die mit einem 35%igen Deckschicht-Anteil. Dieser Unterschied stellt eine Tendenz dar, ist aber statistisch nicht gesichert. Ähnliche Untersuchungen von Geimer, Montrey u. Lehmann (1975) zeigten, daß eine Erhöhung des Deckschicht-Anteils von 20% auf 40% ebenfalls zu höheren Biegefestigkeiten führt.

Die Abhebefestigkeit wurde sowohl an der oberen als auch an der unteren Seite der Spanplatten geprüft und daraus der Mittelwert gebildet. Ein Vergleich der einzelnen Deckschicht-Holzarten zeigt, daß die Deckschichten aus Eiche, Hainbuche und Rotbuche für beide Deckschicht-Mittelschicht-Verhältnisse höhere Abhebefestigkeitswerte aufweisen als diejenigen aus Strobe, Pappel und Schwarzkiefer, was statistisch gesichert ist (Tabelle 6). Zwischen den Spanplattenarten mit einem Deckschicht-Anteil von 35% und 50% gibt es, was ihre Abhebefestigkeit anbelangt, keinen statistisch gesicherten Unterschied. Die Deckschicht-Rohdichte scheint nicht der entscheidende Einflußfaktor für die Abhebefestigkeit zu sein, denn, obwohl die Deckschichten aus Strobe, Schwarzkiefer und Tanne die höchste Deckschicht-Rohdichte aufweisen (Abschn. 5.1), haben sie im Vergleich zu den schweren Holzarten (Eiche, Hainbuche und Rotbuche), die eine niedrigere Deckschicht-Rohdichte zeigen, niedrigere Abhebefestigkeitswerte. Es ist anzunehmen, daß andere Faktoren vorwiegend die Abhebefestigkeit bestimmen, wie z. B. das Rohdichteprofil der Deckschicht. Auch die Rohdichte der entsprechenden Holzarten scheint die Höhe der Abhebefestigkeit nicht

entscheidend zu beeinflussen. Eine holzartenspezifische Auswertung zeigt, daß Eiche gegenüber Hainbuche eine höhere Abhebefestigkeit aufweist, obwohl Eiche eine niedrigere Massivholzrohddichte als Hainbuche hat. Für Tanne und Schwarzkiefer läßt sich ähnliches feststellen.

5.3 Physikalische Eigenschaften

5.3.1 Feuchtigkeits- und Dickenzunahme der Deckschicht beim Übergang vom Normalklima (20/65) zu einem Feuchtklima (20/90)

Die Hygroskopizität und die damit verbundene Quellung beeinträchtigen die Verwendung von Spanplatten auf Grund des negativen Einflusses auf Dimensionsstabilität und Festigkeitseigenschaften (Perkitny 1962; Bryan u. Schniewind 1965; Oertel 1968).

Zur Bestimmung der Gewichts- bzw. Dickenzunahme der Deckschichten wurden die Deckschichtenproben zuerst im Normalklima (20/65) nach DIN 50014 klimatisiert und danach so lange in einem Feuchtklima bei einer Temperatur von 20 °C und 90% relativer Luftfeuchtigkeit (20/90) gelagert, bis die Gewichtskonstanz erreicht war. Die Gewichts- bzw. Dickenzunahme der Proben wurde auf ihr Gewicht bzw. ihre Dicke im Normalklima bezogen.

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse aus der Feuchtigkeits- bzw. Dickenzunahme der Proben nach der Lagerung im Feuchtklima (20/90) dargestellt.

Die Deckschichten der Holzarten aus Hainbuche und Rotbuche zeigen eine sehr hohe, Strobe dagegen eine wesentlich niedrigere Feuchtigkeitszunahme auf. Diese Unterschiede in der Feuchtigkeitszunahme der Deckschichten dieser drei Holzarten sind gegenüber den anderen signifikant. Die Feuchtigkeitszunahme der übrigen Deckschichtholzarten liegt zwischen den oben genannten Extremwerten. Die Unterschiede der Feuchtigkeitszunahme zwischen den Deckschichten mit 35% und 50% Anteil sind gesichert, wobei die Deckschichten mit 35% Anteil immer höhere Werte aufweisen.

Signifikant niedrig ist die Dickenzunahme von Eiche gegenüber den anderen Deckschichtholzarten, was mit dem hohen Gerbstoffgehalt dieser Holzart zu erklären ist. Die Unterschiede der Dickenzunahme zwischen den Deckschichten

aus den übrigen Holzarten sind nicht gesichert, obwohl die Deckschichten aus Strobe, Hainbuche und Rotbuche im Vergleich zu den anderen Deckschichtholzarten eine stärkere Dickenzunahme aufweisen. Während die hohe Dickenzunahme der Deckschichten von Hainbuche und Rotbuche auf Grund der starken Quellung und Schwindung ihres Massivholzes erwartet werden konnte, überrascht dagegen die sehr hohe Dickenzunahme der Strobe-Deckschichten, was im Gegensatz zur Quellung und Schwindung ihres Massivholzes steht. Eine Erklärung für diese Erscheinung ist wahrscheinlich die starke Rückfederung, die die Deckschichten dieser leichten Holzart infolge ihrer hohen Rohdichte aufweisen (vgl. Abschn. 5.1). Die Unterschiede in der Dickenzunahme zwischen den Deckschichtanteilen von 35% und 50% sind signifikant, wobei die Deckschichten mit 35% Anteil höhere Werte aufweisen. Dieser Abfall der Dickenzunahme bei steigendem Deckschichtanteil läßt sich wahrscheinlich auf die Überlagerung zweier Einflußfaktoren zurückführen. Offensichtlich wirkt sich die höhere Rohdichte der Deckschicht (Rückfederung) bei geringerer Deckschichtdicke auf die Dickenzunahme stärker aus als eine dickere Deckschicht mit niedrigerer Rohdichte (Neusser u. Zentner 1975).

5.3.2 Feuchtigkeitsgehalt der Deckschichten und der Mittelschicht der Versuchsspanplatten nach verschiedener Klimatisierung bis zum hygroskopischen Gleichgewicht

Um die möglichen Unterschiede zwischen dem hygroskopischen Verhalten der Deck- und Mittelschicht der Spanplatten zu ermitteln, wurden die Gleichgewichtsfeuchtigkeits-Beträge von sämtlichen Spanplattenarten bei Feuchtigkeitsaufnahme (Adsorption) und Feuchtigkeitsabgabe (Desorption) im Normalklima (20/65) sowie bei Adsorption im Feuchtklima (20/90) – jeweils getrennt nach Deckschichten, Mittelschicht und zum Vergleich auch für den gesamten Spanplattenquerschnitt – bestimmt. Die Mittelwerte der für die 14 Spanplattenarten erhaltenen Einzelergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

Daraus geht hervor, daß die Mittelschicht eine deutlich höhere Gleichgewichtsfeuchtigkeit als die Deckschicht hat. Dementsprechend liegt die Gleichgewichtsfeuchtigkeit des gesamten Spanplattenquerschnitts zwischen diesen Werten. Weiterhin ist aus Tabelle 8 zu entnehmen, daß auch, was früher schon von Weichert (1963); Perkitny u. Szymankiewicz (1963); Carre (1964) und Seifert (1972) festgestellt wurde, bei Holzspanplatten eine deutliche Sorptionshysterese auftritt.

5.4 Rauheit der Spanplattenoberflächen

Eine Kontrolle der Oberflächengüte der Spanplatten vor dem Beschichten ist deshalb von wirtschaftlicher Bedeutung, weil dadurch ungeeignete Spanplatten von vornherein aussortiert werden können. Eine Vielzahl von Geräten und Auswertungsverfahren wurden in den letzten 15 Jahren zur Ermittlung und Kennzeichnung der Oberflächengestalt beschrieben. Nach Neusser u. Krames (1967) sowie v. Bismarck u. Mehlhorn (1973) zählen die Tastschnittverfahren zu den geeignetsten Verfahren für die Erfassung der Oberflächengestaltung von Holzspanplatten. Da in der vorliegenden Arbeit die Rauheit zur Beurteilung der Oberflächengestalt der Deckschicht von besonderem Interesse war, wurde ein elektrisches Tastschnittgerät verwendet, das die Übertragung der Welligkeit durch elektrische Frequenzfilterung weitgehend verhinderte. Dieses von v. Bismarck u. Mehlhorn (1973) weiter ent-

Tabelle 8. Mittlere Gleichgewichtsfeuchtigkeiten der Deckschichten, der Mittelschicht und des gesamten Spanplattenquerschnitts der untersuchten 14 Spanplattenarten. Mittelwerte aus 14 Einzelwerten

Klimatisierung	Mittlere Gleichgewichtsfeuchtigkeit %		
	Deck-schicht	Mittel-schicht	Gesamter Spanplatten-querschnitt
Normalklima (20/65) Adsorption	9,3	12,9	11,1
Normalklima (20/90) → 20/65) Desorption	11,9	15,3	13,7
Feuchtklima (20/90) Adsorption	18,3	21,0	19,5

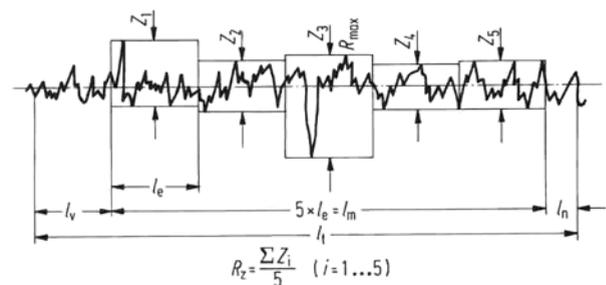


Bild 3. Berechnung der mittleren Rauhtiefe R_z aus dem Rauheitsprofil (DIN 4768). $Z_{1...5}$ Einzelrauhigkeiten; l_m Gesamtmessstrecke; l_e Einzelmeßstrecke; l_n Nachlaufstrecke; l_t Taststrecke; l_v Vorlaufstrecke
Fig. 3. Calculation of the average roughness R_z from the profile of roughness (According to DIN 4768)

wickelte Tastschnittgerät ist für die Oberflächenmessung von unbeschichteten und beschichteten Spanplatten besonders geeignet.

Bei der Oberflächenmessung wurde die gemittelte Rauhtiefe R_z als das arithmetische Mittel aus den Einzelrauhigkeiten von fünf aneinandergrenzenden Einzelmeßstrecken nach DIN 4768 berechnet (Bild 3). Die Durchführung der Oberflächenmessungen an den untersuchten Spanplatten erfolgte nach folgenden Bedingungen: Meßweg 250 mm, Abtastgeschwindigkeit 2,5 mm/s, Spitzenradius der Tastnadel ca. 120 μm . Zur Ermittlung der gemittelten Rauhtiefe R_z wurden je Spanplattenprobe sechs Tastlinien abgefahren, drei auf der Oberseite und drei auf der Unterseite. Die Abtastung erfolgte im rechten Winkel zur Schleifrichtung. Aus den sechs gemittelten Rauhtiefewerten wurde dann der arithmetische Mittelwert je Spanplattenprobe errechnet.

Um ein holzartenspezifisches Verhalten der verwendeten Deckschicht-Holzarten zu ermitteln, wurde die Oberflächenrauheit nicht nur nach Klimatisierung im Normalklima (20/65), sondern auch nach Lagerung in einem Feuchtklima (20/90) und anschließend nach Rückklimatisierung im Normalklima (29/90 → 20/65) geprüft.

Die Ergebnisse aus der Prüfung der Oberflächenrauheit der untersuchten Spanplatten sind in Tabelle 9 dargestellt.

In den drei Klimazuständen (Normalklima, Feuchtklima, Rückklimatisierung) weisen die Deckschichten aus Hainbuche und Rotbuche deutlich höhere Rauheitswerte als die der übrigen Holzarten auf. Darüber hinaus zeigt Hainbuche statistisch gesicherte höhere Rauheitswerte als Rotbuche. Die Deckschichten aus Strobe erreichen dagegen die niedrigsten

Tabelle 9. Rauhtiefenwerte der Spanplattenarten in drei Klimazuständen

DS/MS-Anteil		Deckschichtholzart						
		Strobe	Tanne	Schwarzkiefer	Pappel	Eiche	Rotbuche	Hainbuche
Gemittelte Rauhtiefe Rz, μm , im Normalklima (20/65)								
DS ₃₅ /MS ₆₅	\bar{x}	28,8	37,1	32,3	35,7	36,3	48,9	54,4
	V	6,01	8,62	11,39	8,52	11,37	11,44	10,94
	N	18	18	18	18	18	18	18
DS ₅₀ /MS ₅₀	\bar{x}	28,9	34,4	34,2	35,1	37,7	46,6	53,5
	V	4,91	11,65	11,61	8,50	6,87	10,38	13,39
	N	18	18	18	18	18	18	18
Gemittelte Rauhtiefe Rz, μm , im Feuchtklima (20/90)								
DS ₃₅ /MS ₆₅	\bar{x}	49,9	57,2	55,1	56,8	51,0	70,4	77,0
	V	5,09	6,53	7,53	7,56	8,03	9,88	6,22
	N	18	18	18	18	18	18	18
DS ₅₀ /MS ₅₀	\bar{x}	48,6	55,8	55,1	54,7	53,7	69,6	77,2
	V	4,71	6,03	8,68	8,28	6,73	6,52	7,86
	N	18	18	18	18	18	18	18
Gemittelte Rauhtiefe Rz, μm , nach Rückklimatisierung im Normalklima (20/90 \rightarrow 20/65)								
DS ₃₅ /MS ₆₅	\bar{x}	39,3	46,4	45,3	46,5	44,7	60,2	67,8
	V	5,09	5,57	8,86	5,10	8,93	6,34	6,35
	N	18	18	18	18	17	18	17
DS ₅₀ /MS ₅₀	\bar{x}	38,3	45,3	45,5	45,8	45,8	59,8	66,4
	V	6,45	8,67	10,70	8,53	9,48	7,86	8,52
	N	18	18	18	18	18	17	18

Tabelle 10. Prozentuale Erhöhung der Rauhtiefenwerte der Spanplattenarten im Feuchtklima (FK) und nach Rückklimatisierung im Normalklima (RNK), bezogen auf die Rauhtiefenwerte im Normalklima

Deckschichtholzart	DS/MS-Anteil	FK %	RNK %
Tanne	DS ₃₅ /MS ₆₅	54,2	25,1
	DS ₅₀ /MS ₅₀	62,2	31,7
Strobe	DS ₃₅ /MS ₆₅	73,3	36,5
	DS ₅₀ /MS ₅₀	73,3	32,5
Schwarzkiefer	DS ₃₅ /MS ₆₅	70,6	40,2
	DS ₅₀ /MS ₅₀	61,1	33,0
Pappel	DS ₃₅ /MS ₆₅	59,1	30,3
	DS ₅₀ /MS ₅₀	55,8	30,5
Hainbuche	DS ₃₅ /MS ₆₅	41,5	24,6
	DS ₅₀ /MS ₅₀	44,3	24,1
Eiche	DS ₃₅ /MS ₆₅	40,5	23,1
	DS ₅₀ /MS ₅₀	42,4	21,5
Rotbuche	DS ₃₅ /MS ₆₅	43,9	23,1
	DS ₅₀ /MS ₅₀	49,3	28,3

Rauheitswerte, was angesichts der hohen Dickenänderung dieser Deckschicht-Holzart überrascht. Zwischen den anderen Deckschicht-Holzarten lassen sich keine eindeutigen-Unterschiede in ihrer Oberflächenrauheit feststellen. Unter Berücksichtigung des verhältnismäßig groben anatomischen Aufbaus der Eiche (große Gefäße), wurde bei dieser Holzart eine relativ gute Oberflächenrauheit gemessen.

Bei den meisten Spanplattenarten läßt sich kein deutlicher Unterschied der Rauheitswerte zwischen den Deckschichten mit 35% und 50% Anteil beobachten, was vermutlich auf eine Überlagerung durch andere Einfluß-Faktoren (wie z. B. materialbedingte Unterschiede innerhalb derselben Holzart, das Rohdichte-Profil der Deckschichten, die Holzstruktur der Deckschicht-Holzarten, u. a.) zurückgeführt werden kann.

Wie aus Tabelle 9 ersichtlich ist, sind die Rauheitswerte der rückklimatisierten Spanplatten höher als die der normalklimatisierten, aber niedriger als die der feuchtklimatisierten. Die Unterschiede sind auf den unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalt der Spanplatten in diesen Klimazuständen zurückzuführen, denn der unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalt der Deckschicht beeinflusst den Quellungsgrad der Deckschicht-Späne und damit die Rauheit der Deckschicht-Oberflächen.

Für die Beurteilung des Oberflächenverhaltens der eingesetzten Holzarten ist es wichtig zu wissen, in welchem Ausmaß eine Feuchtlagerung mit anschließender Rückklimatisierung die Oberflächenrauheit verändert. Daher erfolgte die Berechnung der prozentualen Erhöhung der Oberflächenrauheit der untersuchten Spanplattenarten nach Feucht- und Rückklimatisierung, bezogen auf die Oberflächenrauheit im Normalklima (Tabelle 10).

Es ist auffällig, daß die prozentuale Erhöhung der Rauheitswerte der Deckschichten aus Nadelhölzern, von einigen Ausnahmen abgesehen, sowohl im Feuchtklima als auch bei der Rückklimatisierung im Normalklima größer ist als die der Deckschichten aus Laubhölzern. Dies ist vermutlich auf die sehr unterschiedliche Quellung des Spät- und Frühholzes der Nadelhölzer zurückzuführen (Vintila 1939).

6 Literatur

- Anonymus 1977: 1976 60 Kilogramm Spanplatten pro Kopf in der BRD. Bau- und Möbelschreiner (2): 73–78
- Bismarck, C.v.; Mehlhorn, L. 1973: Untersuchungen über die Bewertung der Oberflächenbeschaffenheit von unbeschichteten und beschichteten Spanplatten. Bericht Nr. 1, Wilhelm-Klauditz-Institut für Holzforschung, Braunschweig
- Bonnemann, A. 1975: Einige kennzeichnende Eigenschaften des Pappelholzes, Die Holzzucht (4): 17–23
- Brumbaugh, J. 1960: Effect of flake dimensions on properties of particle boards. Forest Prod. J. 10 (5): 243–246
- Bryan, E.; Schniewind, A. 1965: Strength and rheological properties of particleboard as affected by moisture content and sorption. Forest Prod. J. 15 (4): 143–148

- Carré, J. 1964: Untersuchung über das Stehvermögen von Spanplatten in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt und der Lufttemperatur. FESYP 13. Sitzung der Technischen Kommission
- Deppe, H.-J.; Ernst, K. 1967: Verarbeitung der Spanplatten. Stuttgart: DRW-Verlag
- Deppe, H.-J.; Ernst, K. 1973: Fortschritte in der Spanplattentechnik. Stuttgart: DRW-Verlag
- Enzensberger, W. 1969: Moderne Beschichtungsverfahren für Holzwerkstoffplatten. Holz Roh- Werkstoff 17: 441–463
- FESYP, 1975/76: Geschäftsbericht der Europäischen Föderation der Verbände der Spanplattenindustrie
- FESYP, 1976/77: Geschäftsbericht der Europäischen Föderation der Verbände der Spanplattenindustrie
- Geimer, R.; Montrey, H.; Lehmann, W. 1975: Effects of layer characteristics on the properties of three-layer particleboards. Forest Prod. J. 25 (3): 19–29
- Kehr, E.; Schilling, W. 1965: Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten. 7. Mitteilung: Eiche, Aspe, Pappel, Hainbuche, Ulme, Lärche, sowie als Vergleichsholzarten Fichte und Kiefer. Holztechnologie 7: 225–232
- Kehr, E.; Scherfke, R. 1966: Untersuchungen zur Verbesserung der Deckschichtqualität dreischichtiger Spanplatten. Holztechnologie 7: 97–103
- Keylwerth, R. 1958: Zur Mechanik der mehrschichtigen Spanplatte. Holz Roh- Werkstoff 16: 385–430
- Klauditz, W. 1952: Untersuchungen über die Eignung von verschiedenen Holzarten, insbesondere von Rotbuchenholz zur Herstellung von Holzspanplatten. Bericht 25/1952, Institut für Holzforschung, Braunschweig
- Klauditz, W.; Stolley, I. 1955: Über die biologisch-mechanischen und technischen Eigenschaften des Zugholzes. Holzforschung 9: 5–9
- Klauditz, W.; Buro, A. 1960: Untersuchungen an Spanplatten aus Spangemischen verschiedener Holzarten. Bericht 64/1960, Institut für Holzforschung, Braunschweig
- Kollmann, F. 1955: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Bd. 2, 2. Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer
- Kollmann, F.; Teichgräber, R. 1962: Abhängigkeit der Querkzugfestigkeit der Spanplatten vom Anteil am Feingut. Holz Roh- Werkstoff 20: 404–405
- Kusian, R. 1968: Modell-Untersuchungen über den Einfluß des Spanformats auf Struktur und Festigkeitseigenschaften von Spanwerkstoffen. Teil 2: Experimentelle Untersuchungen. Holztechnologie 9: 241–248
- May, H.-A.; Mehlhorn, L. 1969: Untersuchungen über die Regelung der Verdichtungs- und Aushärtungsvorgänge bei der Herstellung von Spanplatten. Verbesserung der Preßbedingungen durch die Anwendung von Regelsystemen anstelle von Programmsteuerungen. Holz Zbl. 95: 1342–1347
- Mayer-Wegelin, H. 1957: Die Verwendbarkeit des Pappelholzes auf Grund seines Aufbaues und seiner kennzeichnenden Eigenschaften. Holzforschung 11: 130–139
- Modliv, B.; Otlev I. 1975: Herstellung von Spanplatten. Leipzig: VEB Fachbuchverlag
- Neusser, H. 1963: Die Oberflächenqualität von Spanplatten, ihre Ursachen und ihre Prüfung. Holzforsch. Holzverwert. 15: 83–88
- Neusser, H.; Krames, U. 1967: Die Bestimmung der Oberflächenform, vor allem bei Spanplatten, unter besonderer Berücksichtigung der Oberflächenschönheit. Holzforsch. Holzverwert. 19: 97–115
- Neusser, H.; Krames, U. 1971: Die Oberflächengestalt von Holzspanplatten – Ihre Erfassung und ihre Schönheitswirkung. Holz Roh- Werkstoff 29: 103–118
- Neusser, H.; Zentner, M. 1975: Untersuchungen zur Bestimmung des hygroskopischen Gleichgewichtes sowie der Dicken- und Längenquellung von Holzwerkstoffen. Holzforsch. Holzverwert. 27: 26–39
- Oertel, J. 1968: Vergleichende Untersuchungen an Holzspan- und harten Faserplatten. I. Mitteilung: Zusammenhänge zwischen dynamischem E-Modul, statistischem E-Modul, Rohdichte und Biegefestigkeit. Holztechnologie 9: 24–29
- Perkitny, T. 1962: Beiträge zur Ermittlung der Qualität von Spanplatten. Holztechnologie 3: 64–70
- Perkitny, T.; Szymankiewicz, H. 1963: Verlauf und Geschwindigkeit von Feuchtigkeitsänderungen in Holz und Spanplatten in Abhängigkeit von Differenz zwischen Anfangs- und Ausgleichsfeuchtigkeit. Holztechnologie 4: 17–22
- Plath, L. 1971: Anforderungen an Spanplatten für Beschichtung mit Kunststoffen. Holz Roh-Werkstoff 29: 369–376
- Popielarz, E. 1965: Zur optimalen Feuchte des zur Herstellung von Spanplatten bestimmten Rohstoffes. Holztechnologie 6: 46–50
- Post, P. W. 1958: Effect of particle geometry and resin content on bending strength of oak flake board. Forest Prod. J. 18 (10): 317–322
- Reiter, L. 1975: Ursachen von Fehlerverleimungen bei der Herstellung und Weiterverarbeitung von Holzwerkstoffen. Holz Kunststoffverarbeitung. 10: 440–452
- Sachs, L. 1974: Angewandte Statistik, Planung und Auswertung, Methoden und Modelle. Vierte Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer
- Scheibert, W. 1958: Spanplatten, Herstellung, Verarbeitung, Anwendung. Leipzig: VEB Fachbuchverlag
- Scherfke, R.; Kehr, E. 1968: Über die Herstellung und Eignung von Spanplatten für die Oberflächenbeschichtung. Holztechnologie 9: 113–119
- Seifert, J. 1972: Einflüsse auf das Sorptionsverhalten der Holzwerkstoffe. Holz Roh- Werkstoff, 30: 99–111
- Stegmann, G.; Durst, J.; Kratz, W. 1965: Pappelschichtholz als Rohstoff der Spanplattenindustrie. Holzforsch. Holzverwert. 17: 37–43
- Trendelenburg, R. 1939: Das Holz als Rohstoff. München, Berlin: J. F. Lehmann
- Turner, H. D. 1954: Effect of particle size and shape on strength and dimensional stability of Resin-bonded wood particle panels. Forest Prod. J. 14 (10): 210–223
- Tröger, F. K.; Grigoriou, A. 1976: Orientierende Beileimungsversuche von Feinspänen und Schleifstaub mit einem Schnellmischer. FIMUR-Forschungsbericht
- Vintila, E. 1939: Untersuchungen über Raumgewicht und Schwindung von Früh- und Spätholz bei Nadelhölzern. Holz Roh- Werkstoff 2: 345–357
- Vorreiter, L. 1949: Holztechnologisches Handbuch. Bd. IV: Allgemeines, Holzkunde, Holzschutz und Holzvergütung. Wien: Fromme & Co
- Weichert, L. 1963: Untersuchungen über das Sorptions- und Quellungsverhalten von Fichte, Buche und Buchenpreßholz bei Temperaturen zwischen 20 °C und 100 °C. Dissertation, TH München
- ZHS 122, 1969: Spanplatten aus Holz. Methoden zur Charakterisierung von Partikelgemischen. Werkstandard des Zentralinstitutes für Holztechnologie, Dresden