

Marc Pauli

Entwicklung von Spanplatten auf der Basis von geringwertigem Laubholz



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Entwicklung von Spanplatten auf der Basis von geringwertigem Laubholz





Entwicklung von Spanplatten auf der Basis von geringwertigem Laubholz

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades Dr. forest

der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie

der Georg-August-Universität Göttingen

Vorgelegt von

Marc Pauli

Geboren am 29.10.1978 in Göttingen

Göttingen, März 2022



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2022

Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2021

1. Gutachter: Prof. Dr. Alireza Kharazipour

2. Gutachter: Prof. Dr. Carsten Mai

Tag der mündlichen Prüfung: 25.03.2021

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2022

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2022

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-7

eISBN 978-3-7369-6



Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitsgruppe für Chemie und Verfahrenstechnik von Verbundwerkstoffen des Büsgen-Instituts der Georg-August-Universität Göttingen unter Leitung von Herrn Prof. Alireza Kharazipour. Parallel zu dieser Dissertation wurde von mir ein von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. gefördertes Teilprojekt des Verbundprojektes „Gerlau“ bearbeitet.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Alireza Kharazipour, Leiter der Arbeitsgruppe für Chemie und Verfahrenstechnik von Verbundwerkstoffen des Büsgen-Instituts der Georg-August-Universität Göttingen, für die Möglichkeit ein solch zukunftsweisendes und praxisorientiertes Thema bearbeiten zu dürfen. Darüber hinaus möchte ich mich für die intensive Betreuung und qualifizierte Unterstützung bei Herrn Prof. Dr. Alireza Kharazipour bedanken.

Herrn Prof. Carsten Mai danke ich herzlich für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Bei den (ehemaligen) Mitarbeitern der Arbeitsgruppe für Chemie und Verfahrenstechnik von Verbundwerkstoffen bedanke ich mich für die schöne Zeit, kollegiale Zusammenarbeit und Arbeitsatmosphäre sowie den gemeinsamen Aktivitäten nach Feierabend.

Mein besonderer Dank gilt Dr. Claus Behn, Dr. Jan Butschkow, Dr. Moira Burnett, Marcus Cordier, PD Dr. Markus Euring, Dr. Sebastian Herzog, Dr. Redelf Kraft, Christian Kerl, Dr. Alexander Kirsch, Michael Reichel, Dr. Nina Ritter, Patrick Reuter, Dr. Martin Siewert, Patricia Schneider und Dr. Thomas Schneider.

Schließlich danke ich Birgit Ortmanns, Dr. Karsten Köhler, Dr. Inga Köhler und meinen Freunden für die angenehme Zeit abseits meines Promotionsstudiums.





Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Vorwort	1
1.2	Ausgangssituation	1
1.3	Ziel der Arbeit	2
1.4	Holzwerkstoffe	3
1.5	Spanplatten	4
1.5.1	Anforderungen an Spanplatten	4
1.5.2	Technologie der Spanplattenherstellung	5
1.6	Grundlagen Holz	10
1.6.1	Aufbau des Holzes	10
1.6.2	Rohdichte des Holzes	12
1.6.3	Chemische Bestandteile der Zellwand	12
1.6.3.1	Cellulose	12
1.6.3.2	Hemicellulose	13
1.6.3.3	Lignin	14
1.6.3.4	Extraktstoffe	15
1.7	Klebstoffe	15
1.7.1	Einteilung der Klebstoffe	15
1.7.2	Wirkmechanismen chemisch abbindender Klebstoffe	17
1.7.2.1	Polyadditionsklebstoffe	17
1.7.2.2	Polykondensationsklebstoffe	18
1.7.3	Bestandteile der Leimflotte	19
1.8	Formaldehyd	20
1.8.1	Verwendung von Formaldehyd in Holzwerkstoffen	20
1.8.2	Formaldehydabgabe aus Holzwerkstoffen	20
1.8.3	Formaldehydemission durch formaldehydhaltige Harze	21
1.8.4	Formaldehydemission aus Holz	22
2	Material und Methoden	23
2.1	Material	23



2.1.1	Holzmaterial	23
2.1.1.1	Herstellung des Spanmaterials	24
2.1.1.2	Fraktionierung und weitere Zerkleinerung des Spanmaterials	24
2.1.1.3	Trocknung der Späne.....	24
2.1.2	Bindemittelsystem	25
2.1.3	Härtungsbeschleuniger	25
2.1.4	Hydrophobierungsmittel	25
2.2	Methoden (physikalische und chemische Analysen).....	25
2.2.1	Physikalische Analysen.....	26
2.2.1.1	Siebanalyse.....	26
2.2.1.2	Bestimmung der Schüttdichte gemäß EN 12580	27
2.2.2	Chemische Analysen des Holzmaterials	27
2.2.2.1	Kaltwasserextraktion	27
2.2.2.2	Heißwasserextraktion.....	27
2.2.2.3	Bestimmung des Kalt- bzw. Heißwasserextraktstoffanteils	28
2.2.2.4	Bestimmung des pH-Wertes und der alkalischen Pufferkapazität	28
2.2.2.5	Berechnung der alkalischen Pufferkapazität bei der Kaltwasserextraktion	28
2.2.2.6	Berechnung der alkalischen Pufferkapazität bei der Heißwasserextraktion	29
2.2.2.7	Ligninbestimmung (nach Klason).....	29
2.2.2.8	Hemicellulosenanteil	30
2.2.2.9	Pentosanbestimmung	30
2.2.2.10	Asche gemäß EN 14775 und Silikatgehalt.....	31
2.3	Herstellungsparameter der dreischichtigen Spanplatten	32
2.3.1	Einteilung der Spanplattenvarianten nach dem verwendeten Bindemittelsystem	32
2.3.2	Herstellungsparameter der Spanplatten im Labormaßstab	33
2.3.3	Beleimung des Spanmaterials.....	34
2.3.4	Streuung und Verpressen	35
2.3.5	Heißpressen	36



2.3.6	Nachbearbeitung und Konditionierung.....	36
2.3.7	Herstellung der Prüfkörper	36
2.4	Werkstoffprüfungen	37
2.4.1	Bestimmung der Rohdichte (DIN EN 323) und Erstellung eines Rohdichteprofiles.....	37
2.4.2	Bestimmung der Querkzugfestigkeit gemäß EN 323.....	38
2.4.3	Bestimmung der Biegefestigkeit und des Biegeelastizitätsmoduls gemäß EN 310	39
2.4.4	Bestimmung der Dickenquellung nach Wasserlagerung gemäß EN 317	39
2.4.5	Bestimmung der Wasseraufnahme gemäß DIN 52351	40
2.4.6	Bestimmung der Abhebefestigkeit gemäß EN 311	40
2.4.7	Formaldehydemission	41
2.4.7.1	Bestimmung des Feuchtegehalts der Prüfkörper gemäß EN 322	41
2.4.7.2	Photometrische Bestimmung des Formaldehydgehalts nach der Acetylaceton-Methode.....	41
2.4.8	Bestimmung des Formaldehydgehaltes nach der EN 120.....	42
2.4.9	Bestimmung der Formaldehydemission in Anlehnung DIN EN 717-2	43
2.4.10	Bestimmung der Formaldehydabgabe in Anlehnung DIN EN 717-3.	45
3	Ergebnisse.....	47
3.1	Physikalische Analysen des Spanmaterials	47
3.1.1	Siebanalysen der Späne	47
3.1.1.1	Deckschichtspäne	47
3.1.1.2	Mittelschichtspäne.....	50
3.1.1.3	Schüttdichte der Späne.....	54
3.1.2	Rohdichteprofil	56
3.1.2.1	Rohdichteprofile der Variante IV (Blutalbumin).....	57
3.2	Chemische Analysen des Spanmaterials.....	58
3.2.1	Kalt- und Heißwasserextraktion	58

3.2.1.1	Kaltwasserextrakte	59
3.2.1.2	Heißwasserextrakte	60
3.2.1.3	pH-Werte der Extraktstoffe	60
3.2.1.4	Pufferkapazitäten der Extraktstoffe	61
3.2.2	Pentosan- und Hemicellulosenanteil	61
3.2.2.1	Ligninanteil	63
3.2.2.2	Asche- und Silikatgehalt	64
3.3	Ergebnisse und Bewertungen der hergestellten dreischichtigen Spanplatten	65
3.3.1	Variante I a (Beleimung mit KL 350, Rohdichte von 650 kg/m ³) ...	65
3.3.1.1	Ergebnisse der Biegefestigkeit (Variante I a)	66
3.3.1.2	Ergebnisse des Biege-Elastizitätsmoduls (Variante I a)	68
3.3.1.3	Ergebnisse der Querkzugfestigkeit (Variante I a)	69
3.3.1.4	Ergebnisse der Abhebefestigkeit (Variante I a)	71
3.3.1.5	Ergebnisse der Dickenquellung (Variante I a)	73
3.3.1.6	Ergebnisse der Wasseraufnahme (Variante I a)	74
3.3.1.7	Ergebnisse der Formaldehydmessung (Variante I a)	75
3.3.2	Variante I b (Beleimung mit KL 350, Rohdichte von 550 kg/m ³) ...	79
3.3.2.1	Ergebnisse der Biegefestigkeit (Variante I b)	79
3.3.2.2	Ergebnisse des Biege-Elastizitätsmoduls (Variante I b)	81
3.3.2.3	Ergebnisse der Querkzugfestigkeit (Variante I b)	82
3.3.2.4	Ergebnisse der Abhebefestigkeit (Variante I b)	83
3.3.2.5	Ergebnisse der Dickenquellung (Variante I b)	85
3.3.2.6	Ergebnisse der Wasseraufnahme (Variante I b)	85
3.3.2.7	Ergebnisse der Formaldehydmessung (Variante I b)	86
3.3.3	Variante II (MUF-Harz)	88
3.3.3.1	Ergebnisse der Biegefestigkeit (Variante II)	88
3.3.3.2	Ergebnisse des Biege-Elastizitätsmoduls (Variante II)	89
3.3.3.3	Ergebnisse der Querkzugfestigkeit (Variante II)	90
3.3.3.4	Ergebnisse der Abhebefestigkeit (Variante II)	92
3.3.3.5	Ergebnisse der Dickenquellung (Variante II)	93



3.3.3.6	Ergebnisse der Wasseraufnahme (Variante II).....	94
3.3.3.7	Ergebnisse der Formaldehydmessung (Variante II).....	95
3.3.4	Ergebnisse der Variante III (pMDI).....	98
3.3.4.1	Ergebnisse der Biegefestigkeit (Variante III).....	98
3.3.4.2	Ergebnisse des Biege-Elastizitätsmoduls (Variante III)	99
3.3.4.3	Ergebnisse der Querkzugfestigkeit (Variante III)	100
3.3.4.4	Ergebnisse der Abhebefestigkeit (Variante III).....	102
3.3.4.5	Ergebnisse der Dickenquellung (Variante III).....	103
3.3.4.6	Ergebnisse der Wasseraufnahme (Variante III)	104
3.3.4.7	Ergebnisse der Formaldehydmessung (Variante III).....	105
3.3.5	Ergebnisse Variante IV (Albumin)	108
3.3.5.1	Ergebnisse der Biegefestigkeit (Variante IV)	108
3.3.5.2	Ergebnisse des Biege-Elastizitätsmoduls (Variante IV)	109
3.3.5.3	Ergebnisse der Querkzugfestigkeit (Variante IV).....	110
3.3.5.4	Ergebnisse der Abhebefestigkeit (Variante IV)	111
3.3.5.5	Ergebnisse der Dickenquellung (Variante IV).....	112
3.3.5.6	Ergebnisse der Wasseraufnahme (Variante IV).....	113
3.3.5.7	Ergebnisse der Formaldehydmessung (Variante IV)	114
4	Zusammenfassung	117
5	Literaturverzeichnis	123



Abkürzungsverzeichnis

&	und
%	Prozent
Abb.	Abbildung
ALH	andere Laubhölzer mit hoher Lebensdauer
ALN	andere Laubhölzer mit niedriger Lebensdauer
atro	absolut trocken
b	Breite
bidest.	bidestilliert
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
CARB	California Air Resources Board
DS	Deckschicht
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EN	Europäische Norm
EPF	European Panel Federation
Fa.	Firma
ff.	fortfolgend
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
g	Gramm
h	Stunde
l	Länge
kg	Kilogramm
m	Meter
m ³	Kubikmeter
M	Molar
m ³	Kubikmeter
MF	Melaminformaldehydharz
mg	Milligramm
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mmol	Millimol
MUF	Melaminharnstoffformaldehydharz



MS	Mittelschicht
NaOH	Natriumhydroxid
nm	Nanometer
pMDI	Polymeres Diphenylmethandiisocyanat
ppm	parts per million
rel.	Relativ
rpm	Umdrehungen pro Minute
RH	Relative Luftfeuchte
Tab.	Tabelle
UF	Harnstoffformaldehydharz
WKI	Wilhelm-Klauditz-Institut
WPC	Wood-Plastic-Composites

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung der Klebstoffe nach ihrer chemischen Basis (nach Habenicht 2006)	16
Abbildung 2: Übersicht über die Versuchsvarianten der hergestellten Spanplatten aufgegliedert nach den verwendeten Bindemittelsystemen.....	33
Abbildung 3: Aufbau der Prüfung nach DIN EN 717-3	45
Abbildung 4: Ergebnisse der Siebanalyse der Deckschichtspäne für die Referenzmaterialien Fichte und Industriespäne (Mittelwerte)	48
Abbildung 5: Ergebnisse der Siebanalyse der Deckschichtspäne Buche und ALH-Hölzer (Mittelwerte)	49
Abbildung 6: Ergebnisse der Siebanalyse der Deckschichtspäne ALN-Hölzer (Mittelwerte)	50
Abbildung 7: Ergebnisse der Siebanalyse der Mittelschichtspäne für die Referenzmaterialien Fichte und Industriespäne (Mittelwerte)	51
Abbildung 8: Ergebnisse der Siebanalyse der Mittelschichtspäne Buche und ALH-Hölzer (Mittelwerte)	52
Abbildung 9: Ergebnisse der Siebanalyse der Mittelschichtspäne ALN-Hölzer (Mittelwerte)	53
Abbildung 10: Ergebnisse der Schüttdichte der Deckschichtspäne (Mittelwerte)	55
Abbildung 11: Ergebnisse der Schüttdichte der Mittelschichtspäne (Mittelwerte)	56
Abbildung 12: Rohdichteprofil der mit Albumin gebunden Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m^3	58
Abbildung 13: Pentosan- und Hemicelluloseanteil der atro Holzpartikel in Abhängigkeit der Holzart	63
Abbildung 14: Anteile des Lignins sowie die Anteile des säurelöslichen Lignins der atro Holzpartikel in Abhängigkeit der Holzart	64
Abbildung 15: Aschegehalt der verwendeten Holzarten.....	65
Abbildung 16: Ergebnisse der Biegefestigkeit der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m^3 und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem UF-Harz (KL 350); Darstellung als Boxplot mit Anzeige der der Q1- und Q3-Quantile, dem Mittelwert, dem Median sowie den Whiskers	67
Abbildung 17: Ergebnisse des Biegeelastizitätsmoduls der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m^3 und einem Bindemittelsystem auf der Basis von	



einem UF-Harz (KL 350); Darstellung als Boxplot mit Anzeige der der Q1- und Q3-Quantile, dem Mittelwert, dem Median sowie den Whiskers	69
Abbildung 18: Ergebnisse der Querkzugfestigkeit der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem UF-Harz (KL 350); Darstellung als Boxplot mit Anzeige der der Q1- und Q3-Quantile, dem Mittelwert, dem Median sowie den Whiskers	71
Abbildung 19: Ergebnisse der Abhebefestigkeit der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem UF-Harz (KL 350); Darstellung als Boxplot mit Anzeige der der Q1- und Q3-Quantile, dem Mittelwert, dem Median sowie den Whiskers	72
Abbildung 20: Ergebnisse der Dickenquellung nach 2 h bzw. 24 h der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von KL 350; Darstellung der Mittelwerte mit Standartabweichung	74
Abbildung 21: Ergebnisse der Wasseraufnahme nach 2 h bzw. 24 h der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von KL 350; Darstellung der Mittelwerte mit Standartabweichung	75
Abbildung 22: Ergebnisse des Formaldehydgehalts nach der EN 120 (Perforatormethode) der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem UF-Harz (KL 350)	77
Abbildung 23: Ergebnisse der Formaldehydabgabe nach der DIN EN 717- 3 (Flaschenmethode) der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem UF-Harz (KL 350)	78
Abbildung 24: Ergebnisse der Formaldehydemission nach der DIN EN 717- 2 (Gasanalyse-methode) der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem UF-Harz (KL 350)	79
Abbildung 25: Ergebnisse der Biegefestigkeit der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 550 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem UF-Harz (KL 350); Darstellung als Boxplot mit Anzeige der der Q1- und Q3-Quantile, dem Mittelwert, dem Median sowie den Whiskers	81
Abbildung 26: Ergebnisse des Biegeelastizitätsmoduls der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 550 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem UF-Harz (KL 350)); Darstellung als Boxplot mit Anzeige der der Q1- und Q3-Quantile, dem Mittelwert, dem Median sowie den Whiskers	82



Abbildung 27: Ergebnisse der Querkzugfestigkeit der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 550 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem UF-Harz (KL 350); Darstellung als Boxplot mit Anzeige der der Q1- und Q3-Quantile, dem Mittelwert, dem Median sowie den Whiskers	83
Abbildung 28: Ergebnisse der Abhebefestigkeit der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 550 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem UF-Harz (KL 350); Darstellung als Boxplot mit Anzeige der der Q1- und Q3-Quantile, dem Mittelwert, dem Median sowie den Whiskers	84
Abbildung 29: Ergebnisse der Dickenquellung nach 2 h bzw. 24 h der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 550 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von KL 350; Darstellung der Mittelwerte mit Standartabweichung	85
Abbildung 30: Ergebnisse der Wasseraufnahme nach 2 h bzw. 24 h der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 550 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von KL 350; Darstellung der Mittelwerte mit Standartabweichung	86
Abbildung 31: Ergebnisse der Formaldehydabgabe nach der DIN EN 717- 3 (Flaschenmethode) der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 550 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem UF-Harz (KL 350)	87
Abbildung 32: Ergebnisse der Biegefestigkeit der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem MUF-Harz (KL 465)); Darstellung als Boxplot mit Anzeige der der Q1- und Q3-Quantile, dem Mittelwert, dem Median sowie den Whiskers	89
Abbildung 33: Ergebnisse des Biegeelastizitätsmoduls der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem MUF-Harz (KL 465); Darstellung als Boxplot mit Anzeige der der Q1- und Q3-Quantile, dem Mittelwert, dem Median sowie den Whiskers	90
Abbildung 34: Ergebnisse der Querkzugfestigkeit der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem MUF-Harz (KL 465); Darstellung als Boxplot mit Anzeige der der Q1- und Q3-Quantile, dem Mittelwert, dem Median sowie den Whiskers	92
Abbildung 35: Ergebnisse der Abhebefestigkeit der Laborspanplatten mit einer Rohdichte von 650 kg/m ³ und einem Bindemittelsystem auf der Basis von einem MUF-Harz (KL 465); Darstellung als Boxplot mit Anzeige der der Q1- und Q3-Quantile, dem Mittelwert, dem Median sowie den Whiskers	93