

Claus Behn

**Physikalisch-technologische Eigenschaften
von unterschiedlich verleimten
Recyclingspan- und -faserplatten**



Cuvillier Verlag Göttingen

Physikalisch-technologische Eigenschaften von
unterschiedlich verleimten
Recyclingspan- und -faserplatten

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von
Claus Behn
geboren in Berlin

Göttingen, im Juni 2005

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2006
Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2005

ISBN 10: 3-86727-987-X

ISBN 13: 978-3-86727-987-1

D7

1. Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. E. Roffael

2. Berichterstatter: Prof. Dr. A. Kharazipour

Tag der mündlichen Prüfung: 06.10.2005

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2006

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, 2005

Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN 10: 3-86727-987-X

ISBN 13: 978-3-86727-987-1

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand am Lehrbereich für Holzchemie und Holztechnologie des Instituts für Holzbiologie und Holztechnologie der Georg-August-Universität Göttingen unter der Anleitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. E. Roffael.

Mein Dank gilt der Stiftung Industrieforschung, die durch die Gewährung eines Stipendiums diese Arbeit unterstützt hat. Des Weiteren wurden Teile der Untersuchungen mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) über den Projektträger Jülich (PTJ) gefördert, wofür an dieser Stelle ebenfalls gedankt wird.

In besonderem Maße danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. E. Roffael für die mir eröffnete Möglichkeit zur Anfertigung dieser Arbeit, die wissenschaftliche Betreuung und seine stete Diskussions- und Hilfsbereitschaft.

Bei Frau Dr. B. Dix, Herrn Dr. T. Schneider und Herrn Dr. C. Boehme vom Fraunhofer-Institut für Holzforschung – Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) in Braunschweig bedanke ich mich für ihre fachliche Unterstützung.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Holzbiologie und Holztechnologie danke ich herzlich für ihre Mithilfe bei der Durchführung der Untersuchungen sowie für die gute und freundschaftliche Zusammenarbeit. Besonders danke ich Herrn B. König für die kritische Durchsicht dieser Arbeit.

Für die großzügige Bereitstellung der Untersuchungsmaterialien danke ich der Glunz AG, der HOMANIT GmbH & Co. KG, der BASF AG, der Bayer AG sowie Herrn Prof. A. Kharazipour und dem Institut für Forstbotanik.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Hintergrund	1
1.2	Aufgabenstellung	3
2	Grundlagen	7
2.1	Zum Recycling in der Holzwerkstoffindustrie	7
2.1.1	Rechtliche Rahmenbedingungen	8
2.1.2	Verfahren zur stofflichen Verwertung von Altholz	10
2.1.3	Verfahren zur stofflichen Verwertung von gebrauchten Holzwerkstoffen	12
2.1.3.1	Das Verfahren nach Sandberg	13
2.1.3.2	Das Verfahren nach Pfeleiderer	13
2.1.3.3	Das WKI-Verfahren	15
2.1.3.4	Das „Retro“-Verfahren	17
2.2	Stand der Kenntnisse	18
2.2.1	Zum Sorptionsverhalten des Holzes	18
2.2.2	Die Einflussfaktoren auf die Gleichgewichtsfeuchte des Holzes	21
2.2.3	Zur Dimensions- und Formstabilität von Holzwerkstoffen	23
2.2.4	Die Einflussfaktoren auf die lineare Ausdehnung von Holzwerkstoffen	25
2.2.5	Veränderung der holzimmanenten Eigenschaften durch den thermo-mechanischen Aufschluss (TMP)	27
2.2.6	Zum möglichen Einfluss des Recyclings auf die Dimensionsstabilität von Holzspan- und faserplatten	29

3	Methodik	33
3.1	Untersuchungen an Holzspänen und -fasern	33
3.1.1	Siebanalysen des Spanmaterials	33
3.1.2	Feuchtegehalt von Holzspänen und -fasern	33
3.1.3	Formaldehydabgabe aus Holzspänen und -fasern nach der Flaschenmethode	33
3.1.3.1	Photometrische Bestimmung der Formaldehydabgabe	34
3.1.4	Kaltwasserextrakte der Holzspäne und -fasern	35
3.1.4.1	Bestimmung des pH-Wertes	35
3.1.4.2	Bestimmung der alkalischen Pufferkapazität	35
3.1.5	Stickstoffgehalt der Holzspäne und -fasern	36
3.1.6	Wasserrückhaltevermögen der Holzspäne und -fasern (WRV-Wert)	37
3.1.7	Gleichgewichtsfeuchte der Späne und Fasern bei verschiedenen relativen Luftfeuchten	38
3.2	Herstellung der Holzwerkstoffe im Labormaßstab	39
3.2.1	Trocknung	39
3.2.2	Beleimung	39
3.2.3	Ausformung des Span- bzw. Faserkuchens und Vorverdichtung	39
3.2.4	Heißpressvorgang	40
3.2.5	Schleifen und Besäumen	41
3.3	Eigenschaften der Versuchsspanplatten	41
3.3.1	Feuchtegehalt und Rohdichte	42
3.3.2	Rohdichteprofil	42
3.3.3	Querzug und Biegefestigkeit	43
3.3.4	Dickenquellung und Wasseraufnahme	43
3.3.5	Maßänderung in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte	43
3.3.6	Gleichgewichtsfeuchte der Span- und Faserplatten bei verschiedenen relativen Luftfeuchten	46
3.3.7	Bestimmung der Formaldehydabgabe aus den Holzwerkstoffen nach der Flaschenmethode	46

4	Untersuchungen, Ergebnisse und Diskussion	49
4.1	Untersuchungen zum Einfluss der Verwendung von Recyclingspänen auf die Eigenschaften von UF- und PMDI- gebundenen Holzspanplatten	49
4.1.1	Das verwendete Spanmaterial.....	50
4.1.1.1	Das Ausgangsmaterial für die Herstellung der Recyclingspäne.....	50
4.1.1.2	Herstellung von Recyclingspänen durch mechanische Zerkleinerung des Ausgangsmaterials	50
4.1.1.3	Die als Referenzmaterial verwendeten frischen Späne.....	52
4.1.2	Charakterisierung der verwendeten Holzspäne	52
4.1.2.1	Siebanalysen	52
4.1.2.2	pH-Wert und Pufferkapazität des Spanmaterials	55
4.1.2.3	Stickstoffgehalt des Spanmaterials	57
4.1.2.4	Formaldehydabgabe des Spanmaterials.....	58
4.1.2.5	Wasserrückhaltevermögen des Spanmaterials	59
4.1.2.6	Gleichgewichtsfeuchte des Spanmaterials	60
4.1.3	Herstellung von UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten	61
4.1.4	Eigenschaften der UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten	62
4.1.4.1	Rohdichte	63
4.1.4.2	Dickenquellung und Wasseraufnahme	64
4.1.4.3	Gleichgewichtsfeuchte	68
4.1.4.4	Maßänderung senkrecht zur Plattenebene (Dickenänderung) durch Änderung der relativen Luftfeuchte.....	70
4.1.4.5	Maßänderung in Plattenebene (Längenänderung) durch Änderung der relativen Luftfeuchte.....	73
4.1.4.6	Querzugfestigkeit.....	75
4.1.4.7	Formaldehydabgabe	77
4.1.5	Zusammenfassung	78

4.2 Untersuchungen zum Einfluss der Verwendung von Recyclingfasern auf die Eigenschaften von UF- und PMDI-gebundenen Holzfaserplatten	79
4.2.1 Das verwendete Fasermaterial.....	81
4.2.1.1 Das Ausgangsmaterial für die Herstellung der Recyclingfasern.....	81
4.2.1.2 Herstellung von Recyclingfasern durch thermohydrolytischen Aufschluss des Ausgangsmaterials.....	83
4.2.1.3 Die als Referenzmaterial verwendeten frischen Fasern.....	84
4.2.2 Charakterisierung der verwendeten Holzfasern	84
4.2.2.1 pH-Wert und Pufferkapazität des Fasermaterials	86
4.2.2.2 Stickstoffgehalt des Fasermaterials	86
4.2.2.3 Formaldehydabgabe des Fasermaterials.....	87
4.2.2.4 Wasserrückhaltevermögen des Fasermaterials	87
4.2.2.5 Gleichgewichtsfeuchte des Fasermaterials	88
4.2.3 Herstellung von UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten	88
4.2.4 Eigenschaften der UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten	90
4.2.4.1 Rohdichte.....	90
4.2.4.2 Dickenquellung und Wasseraufnahme.....	91
4.2.4.3 Gleichgewichtsfeuchte	93
4.2.4.4 Maßänderung senkrecht zur Plattenebene (Dickenänderung) durch Änderung der relativen Luftfeuchte	95
4.2.4.5 Maßänderung in Plattenebene (Längenänderung) durch Änderung der relativen Luftfeuchte	96
4.2.4.6 Querkzugfestigkeit	98
4.2.4.7 Biegefestigkeit	99
4.2.4.8 Formaldehydabgabe.....	100
4.2.5 Zusammenfassung.....	102

4.3	Untersuchungen zum Einfluss der Verwendung von Holzfasern für die Deckschichten von aus Frisch- und Recyclingspänen hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Holzspanplatten.....	105
4.3.1	Herstellung von UF- und PMDI-gebundenen Span-Faserplatten	105
4.3.2	Eigenschaften der hergestellten Span-Faserplatten	107
4.3.2.1	Rohdichte	108
4.3.2.2	Dickenquellung und Wasseraufnahme	111
4.3.2.3	Gleichgewichtsfeuchte	112
4.3.2.4	Dimensionsstabilität nach Lagerung bei unterschiedlicher relativer Luftfeuchte.....	113
4.3.2.5	Querzugfestigkeit.....	115
4.3.2.6	Biegefestigkeit.....	116
4.3.2.7	Formaldehydabgabe	117
4.3.3	Untersuchungen zur Sperrwirkung der Faserdeckschichten	118
4.3.4	Zusammenfassung	120
5	Zusammenfassung	121
6	Literatur	129
7	Anhang.....	138

Abkürzungen

Abb.	Abbildung	PF, PF-Harz	Phenol-Formaldehyd-Harz
AltholzV	Altholzverordnung	PMDI	Polymere auf Basis von 4,4'-Diphenylmethan-diisocyanat (PMDI-Klebstoffe)
atro	absolut trocken	%	Prozent
bez.	bezogen	rel.	relativ
bzw.	beziehungsweise	rd.	rund
°C	Grad Celsius	s	Sekunde
ca.	circa	sog.	so genannt
cm	Zentimeter	t	Tonne
d.h.	das heißt	Tab.	Tabelle
DIN	Deutsche Industrie-Norm	TASi	Technische Anleitung zur Vermeidung, Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz	TMP	thermo mechanical pulp (engl.) = thermo-mechanischer Holzstoff
EN	Euro-Norm	u.a.	unter anderem
et al.	et alii	UF, UF-Harz	Harnstoff-Formaldehyd-Harz
etc.	et cetera	vgl.	vergleiche
Fa.	Firma	WKI	Fraunhofer-Institut für Holzforschung
g	Gramm		Wilhelm-Klauditz-Institut
g/ cm ³	Gramm pro Kubikzentimeter	z.B.	zum Beispiel
h	Stunde	µg	Mikrogramm
Kap.	Kapitel	µl	Mikroliter
kg/ m ³	Kilogramm pro Kubikmeter	µm	Mikrometer
Krw-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz	VerpackV	Verpackungsverordnung
l	Liter		
lutro	lufttrocken		
M	Mol (mol/l)		
m	Meter		
MDF	medium density fibreboard (engl.) = Mitteldichte Faserplatte		
min	Minuten		
Mio.	Millionen		
mg	Milligramm		
ml	Milliliter		
mm	Millimeter		
mmol	Millimol		
m ³	Kubikmeter		
N	Äquivalenzkonzentration (Normalität)		
NaOH	Natriumhydroxid		
n.b.	nicht bestimmt		
N/ mm ²	Newton/Quadratmillimeter		
nm	Nanometer		

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die Entwicklung der organisch gebundenen Holzspanplatte in den vierziger Jahren des vorherigen Jahrhunderts stellt einen Meilenstein in der Geschichte der Holzwerkstoffe dar. Im Jahr 2003 entfielen etwa zwei Drittel der rd. 36 Mio. m³ europaweit produzierten Holzwerkstoffe auf die Holzspanplatte (DÖRY 2004). Auch im Jahr 2004 konnte die Spanplattenproduktion um weitere 4,6 % gesteigert werden (ANONYMUS 2005). Damit ist die Spanplatte trotz wachsender Konkurrenz durch andere Holzwerkstoffe wie die mitteldichte Faserplatte (MDF) und das Oriented Strand Board (OSB) nach wie vor der bedeutendste Holzwerkstoff in Europa. Verwendung finden Holzspanplatten vor allem in der Möbelindustrie. Hier werden nach DÖRY (2004) europaweit ca. 56 % der produzierten Spanplatten verarbeitet. Ungefähr 23 % der hergestellten Spanplatten werden, dem zitierten Autor zufolge, im Baubereich verwendet. Mit einem Anteil an der Holzwerkstoffproduktion von ca. 20 % im Jahr 2003 ist die mitteldichte Faserplatte (MDF) nach der Spanplatte der meistproduzierte Holzwerkstoff in Europa. Die rd. 11 Mio. m³ europaweit produzierte MDF werden nach DÖRY (2004) zu etwa 55 % von der Möbelindustrie verarbeitet, rd. 30 % dienen als Trägermaterial für die Laminatbodenherstellung und ca. 8 % werden im Baubereich eingesetzt.

Hauptbestandteil der Holzspan- und Faserplatten und wichtigster Rohstoff für deren Herstellung ist mit etwa 90 % der Plattenmasse das Holz. In Europa wird für die Herstellung von Span- und Faserplatten hauptsächlich Nadelholz eingesetzt, welches entweder in Form von Waldholz oder als Industrierestholz aus der Sägeindustrie Verwendung findet. Eine weitere Rohstoffquelle für die Herstellung von Holzwerkstoffen stellt die

Verwendung von Altholz dar. Während in Deutschland aus Gebrauchtholz gewonnene Späne nur in relativ geringem Umfang zur anteiligen Substitution der aus „frischem“ Holz erzeugten Späne Verwendung finden, werden z.B. in Italien Anlagen betrieben, die Holzwerkstoffe ausschließlich auf Basis von Gebrauchtholz produzieren (PALADIN 2002).

Die Nutzung des Altholzes als Rohstoff für die Herstellung von Holzwerkstoffen erfordert eine Aufbereitung dieses zumeist heterogenen Gemisches von Hölzern und holzhaltigen Stoffen durch mehrstufige Verfahren, die eine mechanische Zerkleinerung, Ausschleusung von Störstoffen und Fraktionierung umfassen. Es besteht weiterhin auch die Möglichkeit, gebrauchte Span- und Faserplatten gezielt zu recyceln. Zu diesem Zweck wurden neben der einfachen mechanischen Zerkleinerung der Gebrauchtspanplatten verschiedene auf dem Prinzip der Thermohydrolyse basierende Verfahren entwickelt. Aufbauend auf einem bereits 1963 von SANDBERG zum Patent angemeldeten Verfahren (DE-AS 1201045), wurde in der Folgezeit das Prinzip der Thermohydrolyse in Deutschland von der Fa. Pfeleiderer und dem Fraunhofer Institut für Holzforschung (WKI) nochmals aufgegriffen und in vielerlei Hinsicht verbessert. Das vom WKI patentierte Verfahren (DE-OS 19509152 A1), welches eine Vorquellung der zerkleinerten Gebrauchtspanplatten vor dem Aufschluss vorsieht, wird zurzeit diskontinuierlich in der Industrie eingesetzt. Das kontinuierlich arbeitende Verfahren der Pfeleiderer AG (DE-OS 4224629 A1) wurde bislang im Pilotmaßstab erprobt.

Neben den sich aus der Nutzung von Altholz und Gebraucht-Holzwerkstoffen als Rohstoff für die Herstellung von Holzwerkstoffen ergebenden wirtschaftlichen Vorteilen, sind vor allem auch die in den letzten Jahren eingeleiteten umweltpolitischen Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen (KrW-/AbfG, TA Siedlungsabfall, VerpackV, AltholzV) als Triebfeder für die oben genannten Entwicklungen zu sehen. Das durch diese Vorschriften bewirkte Verbot der Deponierung

von organischen Abfällen, zu denen das Altholz zählt, erfordert eine Ausweitung der stofflichen und energetischen Verwertung dieser Stoffe. Es ist daher davon auszugehen, dass das Recycling im Sinne einer stofflichen Verwertung des Altholzes und insbesondere auch der gebrauchten Holzwerkstoffe in der Holzwerkstoffindustrie zukünftig von Bedeutung sein wird.

1.2 Aufgabenstellung

Eine wichtige Eigenschaft aller Holzwerkstoffe ist ihr Verhalten bei der Einwirkung von Wasser und der Feuchte der Umgebungsluft. Im ersten Fall, also dem Kontakt mit Wasser, reagieren Holzspan- und -faserplatten mit einer mehr oder weniger starken Quellung vor allem in der Plattendicke. Dieses als Dickenquellung bezeichnete Verhalten nimmt nach einer 24-stündigen Wasserlagerung bei 20 °C je nach Werkstoff, Bindemittel und Herstellungsbedingungen im Allgemeinen Werte von unter 10 % bis zu ca. 30 % an. Hieraus ergeben sich Auswirkungen im Hinblick auf eine Verwendung der Holzwerkstoffe im Möbelbau, Fußboden- und vor allem auch im Baubereich.

Ebenfalls von Bedeutung ist die Reaktion von Span- und Faserplatten auf Änderungen der relativen Luftfeuchte. Durch das hygroskopische Verhalten des Holzes, das sich auf die zu großen Teilen hieraus bestehenden Holzwerkstoffe überträgt, kommt es bei einer Änderung der relativen Feuchte der Umgebungsluft zu einer entsprechenden Erhöhung oder Erniedrigung der Feuchte des Holzwerkstoffes, die eine mehr oder minder ausgeprägte Auswirkung auf dessen Abmessungen in der Plattenebene und auch senkrecht dazu bewirkt. So beträgt, Untersuchungsergebnissen von NIEMZ UND POBLETE (1996) an UF-gebundenen Spanplatten zufolge, bei einer Erhöhung der relativen Luftfeuchte von 40 % auf 95 % die Dimensionsänderung in Plattenebene

0,38 % und senkrecht zur Plattenebene 10,5 %. Bei UF-gebundenen MDF fanden die Autoren eine Dimensionsänderung von 0,19 % in der Plattenebene und 8,7 % senkrecht dazu. Die gering erscheinenden Werte der Dimensionsänderung in der Plattenebene gewinnen an Bedeutung, wenn man sich vor Augen hält, dass bei großflächiger Verwendung der Holzwerkstoffe im Baubereich oder bei Fußbodenanwendungen auch solch gering anmutende relative Dimensionsänderungen durchaus ein für die Verwendung relevantes absolutes Ausmaß annehmen können. Die hierdurch unter Umständen entstehenden Schäden sind zum Teil erheblich (SATTLER 1997). Die Dimensionsstabilität der Holzspan- und Holzfaserplatten bei einer Verschiebung der Feuchte der Umgebungsluft ist daher eine wichtige Eigenschaft dieser Werkstoffe, zumal ein direkter Kontakt mit Wasser zwar durch geeignete konstruktive Maßnahmen in vielen Fällen vermieden werden kann, demgegenüber die Einwirkung der Luftfeuchte jedoch fast immer gegeben ist und nur durch spezielle Maßnahmen, wie einer Erhöhung des Diffusionswiderstands (z.B. durch eine Beschichtung), weitgehend umgangen werden kann.

Die Dickenquellung und die Dimensionsstabilität von Holzwerkstoffen hängen, dem Schrifttum zufolge, von einer Vielzahl von Faktoren ab. Vielfach wird von den Autoren ein Einfluss der Rohdichte der Platten, der zur Herstellung der Späne bzw. Fasern verwendeten Holzart und der Geometrie der Späne angeführt (HALLIGAN 1970, ROFFAEL UND RAUCH 1972, BEECH 1975, GEIMER 1982). Auch Art und Menge des eingesetzten Binde- und Hydrophobierungsmittels und Herstellungsbedingungen wie die Presstemperatur haben Einfluss auf die Dickenquellung und die Dimensionsstabilität der Holzwerkstoffe (LEHMANN 1974, GREUBEL UND PAULITSCH 1977, VITAL ET AL. 1980). Die aufgeführten Arbeiten beziehen sich ausnahmslos auf Span- und Faserplatten, die aus „frischem“ Holz hergestellt wurden, hingegen konnten in der Literatur keine Untersuchungen zur Dimensionsstabilität von Holzspan- und

Holzfasерplatten aus Recyclingspänen bzw. -fasern gefunden werden. Weiterhin sind keine Untersuchungsergebnisse bekannt, welche die Verleimbarkeit der aus gebrauchten Holzwerkstoffen gewonnenen Recyclingspäne und -fasern mit den verschiedenen in der Holzwerkstoffindustrie üblicher Weise verwendeten Bindemitteln betreffen. Vor dem Hintergrund der zuvor beschriebenen Bemühungen um einen vermehrten Einsatz von aus Gebrauchtholz gewonnenen Recyclingspänen und -fasern in der Holzwerkstoffindustrie, besteht hinsichtlich der Eigenschaften von Holzwerkstoffen, die aus Recyclingspänen und -fasern hergestellt wurden, demnach noch Forschungsbedarf.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, zu untersuchen, inwieweit sich die Verwendung von Recyclingspänen und -fasern in Verbindung mit verschiedenen Bindemitteln auf die physikalisch-technologischen Eigenschaften der hergestellten Holzspan- und -faserplatten auswirkt. Insbesondere die Dimensionsstabilität bei sich ändernder relativer Feuchte der Umgebungsluft und die Dickenquellung bei Lagerung in Wasser sollte hierbei Gegenstand der Untersuchungen sein.

2 Grundlagen

2.1 Zum Recycling in der Holzwerkstoffindustrie

Lange bevor die Themen Kreislaufwirtschaft und Recycling vor dem Hintergrund der Abfallvermeidung und der Ressourcenschonung in Deutschland Gegenstand der öffentlichen Diskussion wurden, war in der Holzindustrie die Verwertung von Produktionsresten, wenn auch vorwiegend aus ökonomischen Gründen, bereits weit verbreitet. Heute ist insbesondere das bei der Be- und Verarbeitung des Holzes anfallende Industrierestholz, vornehmlich Nebenprodukte der Sägeindustrie, ein wichtiger Rohstoff der Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie. Nach MANTAU ET AL. (2003A) werden in Deutschland 57 % des Holzbedarfs der Spanplattenproduktion und 32 % des Bedarfs der MDF-Produktion durch Industrierestholz gedeckt. Damit ist die Holzwerkstoffindustrie, die allein 35 % des in Deutschland anfallenden Industrierestholzes verarbeitet, gefolgt von der Zellstoffindustrie einer der Hauptabnehmer dieses Holzsortiments (MANTAU ET AL., 2003B).

Neben der Nutzung der Nebenerzeugnisse der Sägeindustrie werden in der Holzwerkstoffindustrie schon seit langem die Rückstände der eigenen Produktion wie Schleifstaub, Besäumreste oder Ausschussware wieder verwendet, indem sie entweder dem Produktionsprozess zugeführt, also stofflich verwertet oder thermisch z.B. zur Befeuerung der Späne- bzw. Fasertrockner genutzt werden. In den letzten Jahren hat zudem die Verwendung von Gebrauchtholz (Altholz) als weitere sekundäre Rohstoffquelle an Bedeutung für die Holzwerkstoffindustrie gewonnen. Nach MARUTZKY (2003) werden derzeit in Deutschland etwa 1,5 Mio. t Altholz pro Jahr stofflich verwertet. Vor allem bei der Spanplattenherstellung wird nach MANTAU ET AL. (2003A) in erheblichem Umfang Gebrauchtholz eingesetzt. So betrug im Jahr 2001 die Gebrauchtholzquote

bei der Spanplattenproduktion ca. 19 %, wohingegen bei der Fertigung von MDF und OSB kein oder kaum Gebrauchtholz verwendet wurde.

2.1.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Entwicklung zu einem verstärkten Einsatz von Altholzsortimenten als Rohstoff für die Holzwerkstoffindustrie wurde maßgeblich durch die in den letzten Jahren eingeleiteten umweltpolitischen Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen vorangetrieben. So ist eine Reihe von Gesetzen, Verordnungen und technischen Anleitungen erlassen worden, die direkt oder indirekt die Verwendung von Althölzern in der Holzwerkstoffindustrie betreffen. Vor allem das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG), die Technische Anleitung zur Vermeidung, Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall), die Verordnung über die Vermeidung von Verpackungsabfällen (VerpackV), das Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) und die Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (AltholzV) sind für die Holzwerkstoffindustrie von Bedeutung (*Tab. 2.1*).

Die genannten Regelwerke bilden den rechtlichen Rahmen, in dem sich die Holzwerkstoffindustrie vor allem hinsichtlich der stofflichen Verwertung bewegt. So schafft das mit der TA Siedlungsabfall und der Altholzverordnung ausgesprochene Deponierungsverbot für die meisten der holzhaltigen Abfälle ein Rohstoffpotential von geschätzten 7,5 bis 8,5 Mio. t pro Jahr (MARUTZKY 2001), das für die stoffliche und energetische Verwertung u.a. durch die Holzwerkstoffindustrie genutzt werden soll.

Tab. 2.1: Deutsche Regelwerke mit Relevanz für die Holzwerkstoffindustrie im Hinblick auf die Verwendung von Altholz
(erweitert nach ERNST, ROFFAEL UND WEBER 1998)

Verpackungsverordnung (VerpackV) vom 12.6.1991, geändert am 26.10.1993

- Verpackungen sollen aus umweltfreundlichen Materialien hergestellt werden
- Verpackungsabfall soll eine Gewichts- und Volumenbeschränkung erfahren

TA Siedlungsabfall (TASi) vom 01.06.1993

- Produkte mit einem Gehalt von mehr als 5 % an organischen Stoffen dürfen ab dem Jahr 2005 (seit dem 01.06.1993 mit einer Übergangsfrist von 12 Jahren) nicht mehr auf Hausmülldeponien gelagert werden

Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) vom 7.10.1996

- Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen
- umweltverträgliche Beseitigung von Abfällen

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 29.03.2000

- nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung
- Verdopplung des Anteils erneuerbarer Energien bis 2010

Altholzverordnung (AltholzV) vom 01.03.2003

- Umfassende Regelungen zur stofflichen und energetischen Verwertung von Altholz und deren Überwachung
- Einstufung des Altholzes in Altholzkategorien
- Gleichstellung der stofflichen und energetischen Verwertung

Nach Schätzungen von MARUTZKY (2003) wurden im Jahr 2001 1,2 bis 1,5 Mio. t des Altholzaufkommens einer stofflichen Verwertung zugeführt, weitere 1,6 bis 1,9 Mio. t wurden energetisch verwertet. Ein großer Teil des Altholzes (> 3,5 Mio. t) wurde jedoch der Beseitigung in Müllverbrennungsanlagen und der Deponierung zugeführt. Durch die Gleichstellung von stofflicher und energetischer Verwertung durch das KrW-/AbfG in Verbindung mit der AltholzV und die Förderung der regenerativen Energien durch das EEG wird die Nachfragekonkurrenz um die verfügbaren Altholzmengen erhöht und es ist nicht auszuschließen, dass es zu einer Verknappung des Rohstoffs Altholz für die Holzwerkstoffindustrie kommt (DEPPE 2003).

2.1.2 Verfahren zur stofflichen Verwertung von Altholz

Die Holzwerkstoffindustrie, insbesondere die Holzspanplattenindustrie, setzt, wie vorstehend bereits erwähnt, in erheblichem Umfang Altholz als Rohstoff für die Plattenherstellung ein. Dieses Altholz wird, so es sich nicht um Reststoffe der eigenen Produktion handelt, zumeist vorsortiert von Unternehmen der Abfallwirtschaft bezogen. Üblicherweise eingesetzte Sortimente sind gebrauchtes Verpackungsmaterial und Paletten, Obstkisten, Holz aus Bau- und Abrissabfällen, gebrauchte Möbel sowie gebrauchte Span- und Faserplatten (PALADIN 2002). Die Aufbereitung dieses heterogenen Gemisches verschiedener Gebrauchthölzer zu einem für die Herstellung von Holzwerkstoffen tauglichen Material erfolgt mit speziellen Aufbereitungssystemen, die entweder vom Holzwerkstoffhersteller selbst betrieben werden oder aber von den altholzverwertenden Unternehmen, die dann das aufbereitete Altholz an den Holzwerkstoffhersteller liefern. Die *Abb. 2.1* zeigt beispielhaft die verschiedenen Schritte einer Altholzaufbereitung.

Die Aufbereitungssysteme für das Altholz beginnen meist nach einer Sichtkontrolle mit einem Vorbrechen des Materials in groß dimensionierten Brechern. Das auf diese Weise vorzerkleinerte und homogenisierte Material durchläuft nachfolgend mehrere Schritte der Zerkleinerung und Ausschleusung von Störstoffen. Die Art und Abfolge der eingesetzten Aggregate ist anlagenspezifisch. Üblicherweise werden Metallabscheider zur Ausschleusung metallischer Bestandteile, wie Schrauben, Nägel und Möbelbeschläge eingesetzt. Auch eine manuelle Entfernung von Störstoffen in einer Sortierkabine kann erfolgen. Weiterhin können mit Wind- oder Schwergutsichtern weitere Störstoffe wie Steine, Sand, Folien, Papier usw. entfernt und mit speziellen Metallabscheider die Nichteisenmetalle erfasst werden. Die Aufbereitungsanlagen können durch eine Vorbehandlung des Altholzes mit Wasser in Wasch- oder Absetzbecken ergänzt werden.

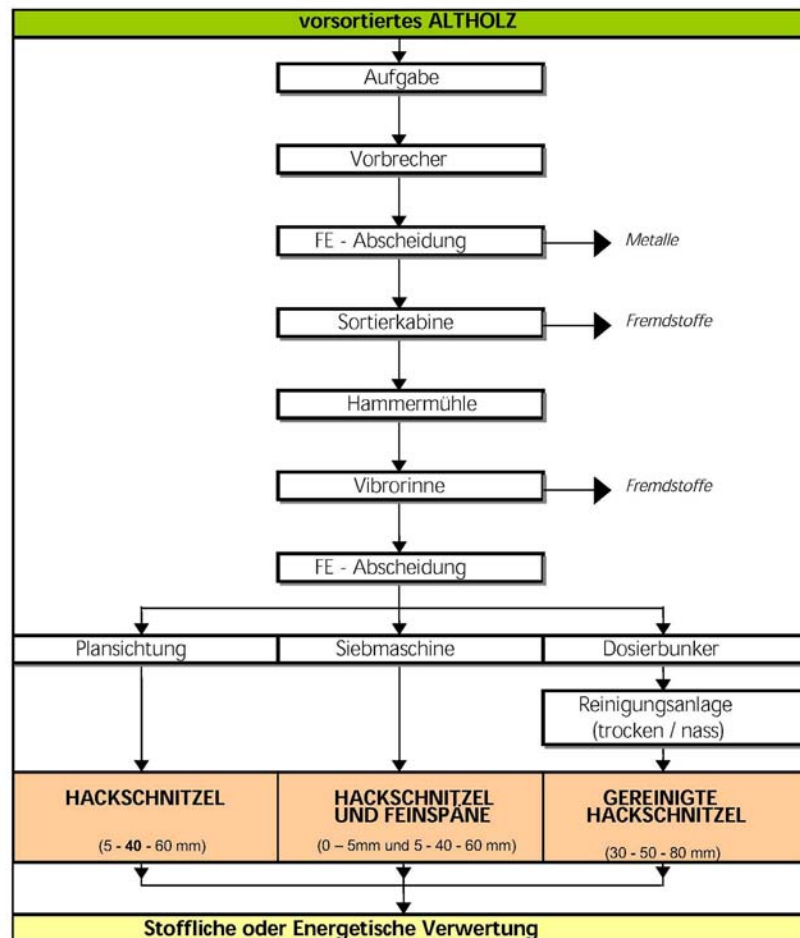


Abb. 2.1: Schematische Darstellung einer Altholzaufbereitung (ERBREICH, 2004)

Das so erzeugte Recycling-Material wird dem bei der Spanplattenproduktion verwendeten Industrierestholz und Waldholz in der Regel beigemischt, es ist aber auch eine Produktion ausschließlich mit Recyclingspänen aus Altholz möglich (PALADIN 2002). So werden bei der Fa. Sadepan in Italien Spanplatten aus 100 % Gebrauchtholz hergestellt (GRUPPO MAURO SAVIOLA 2005). Auch die Fertigung von MDF aus aufbereitetem Altholz ist möglich. Beimischungen von sortiertem und gereinigtem Altholz bis zu einem Anteil von 25 % beeinträchtigen, Untersuchungsergebnissen von ERBREICH (2004) zufolge, die Eigenschaften der so hergestellten MDF kaum.

2.1.3 Verfahren zur stofflichen Verwertung von gebrauchten Holzwerkstoffen

Neben diesem in der Spanplattenindustrie überwiegend praktizierten Recycling durch ein mechanisches Aufarbeiten von Altholz zu Spänen wurden auch Verfahren entwickelt, die das gezielte Wiederverwenden von Holzwerkstoffen, insbesondere von Span- und Faserplatten ermöglichen. Eine Auflistung der bekannten Verfahren ist in der folgenden Übersicht (Tab. 2.2) zusammengestellt.

Tab. 2.2: Verfahren zum Recycling von Holzwerkstoffen (nach ROFFAEL, 1997)

I. Verfahren ohne Auflösung des Holzgefüges

1. Sandberg, G. (1963):
Verfahren zur Wiedergewinnung von Spanmaterial aus mit ausgehärteten Bindemitteln durchsetzten Abfällen, Sägespänen usw. zur Herstellung von Spanplatten und ähnlichen geleimten oder gepressten Erzeugnissen.
(DE-AS 1201045)
2. Pfeleiderer (1993):
Verfahren zum Recycling von Holzwerkstoffen.
(EP 0581039 B1, DE-OS 4224629 A1)
3. Michanickl, A. (1994):
Verfahren zur Wiedergewinnung von Spänen und Fasern aus Holzwerkstoffreststücken, Altmöbeln, Produktionsrückständen, Abfällen und anderen holzwerkstoffhaltigen Materialien.
(EP 0697941 B2, DE-OS 19509152 A1)
4. Roffael, E. et al. (1994):
Verfahren zur Herstellung von Holzspan- und faserplatten.
(EP 0700762 B2, DE-OS 4428119 A1)

II. Verfahren mit Auflösung des Holzgefüges

1. Roffael, E.; Dix, B. (1993):
Ablauge aus chemisch-thermischem Aufschluss von bereits verarbeiteten bindemittelhaltigen Span- und Faserplatten, Verfahren zu ihrer Herstellung und ihrer Verwendung als Streckmittel für Holzwerkstoff-Bindmittel.
(DE-PS 4334422 C2)

III. Sonderverfahren

1. Möller, A.; Herrlich, S. (1994):
Plattenförmiger oder geformter Holzwerkstoff. (REHOLZ)
(EP 0664738 B1)

Für die Gewinnung von Recyclingspänen oder -fasern aus gebrauchten Span- und Faserplatten sind insbesondere die Verfahren ohne Auflösung des Holzgefüges von Interesse und sollen hier kurz erläutert werden.

2.1.3.1 Das Verfahren nach Sandberg

Bereits 1963 wurde von SANDBERG ein Verfahren zur Wiedergewinnung von Spänen aus bindemitteldurchsetzten Produktionsabfällen der Spanplattenherstellung entwickelt (DE-AS 1201045). Hierbei werden die Produktionsabfälle in einer Dampfkammer bis zu 4 Stunden bei einem Druck von 1,5 bis 6 bar mit Dampf behandelt, wodurch das Bindemittel soweit abgebaut wird, dass die Spanplattenreste wieder zu Spänen zerfallen. Das so gewonnene Spanmaterial weist einen Feuchtegehalt von unter 10 % auf und kann ohne weitere Trocknung der Produktion zugeführt werden. Beimengungen dieses Materials zu den frischen Spänen bis zu 30 % beeinträchtigen die technologischen Eigenschaften der Platten nicht. Literaturangaben entsprechend (SCHLIPPHACK 1965) wurde dieses Verfahren industriell angewendet.

2.1.3.2 Das Verfahren nach Pfeiderer

Das Prinzip des thermohydrolytischen Aufschlusses, welches auch der Dampfbehandlung von Spanplattenresten nach SANDBERG (1963) zugrunde liegt, wurde von der PFLEIDERER AG (1995) wieder aufgegriffen. Es wurde ein Verfahren zum Recycling von mit Harnstoff-Formaldehydharz gebundenen Holzwerkstoffen entwickelt (DE-OS 422469 A1, EP 0581039 B1), wonach vor der Dampfbehandlung, die bei Temperaturen bis zu 180 °C für nur wenige Minuten erfolgt, eine Vorquellphase des zuvor mechanisch zerkleinerten Materials vorgesehen ist (Abb. 2.2). Nach dem Aufschluss kann ein Reinigungsschritt erfolgen, bei dem Bindemittelreste, die dem Recyclingmaterial anhaften, durch eine Spülung entfernt werden.

Die in der Reinigungsflüssigkeit enthaltenen Bindemittelbestandteile können wiederverwertet und zur Herstellung von Bindemitteln eingesetzt werden. Das Recyclingmaterial wird mit Hilfe von Sieben oder Sichern von Verunreinigungen befreit und anschließend zur Herstellung von Span- bzw. Faserplatten verwendet.

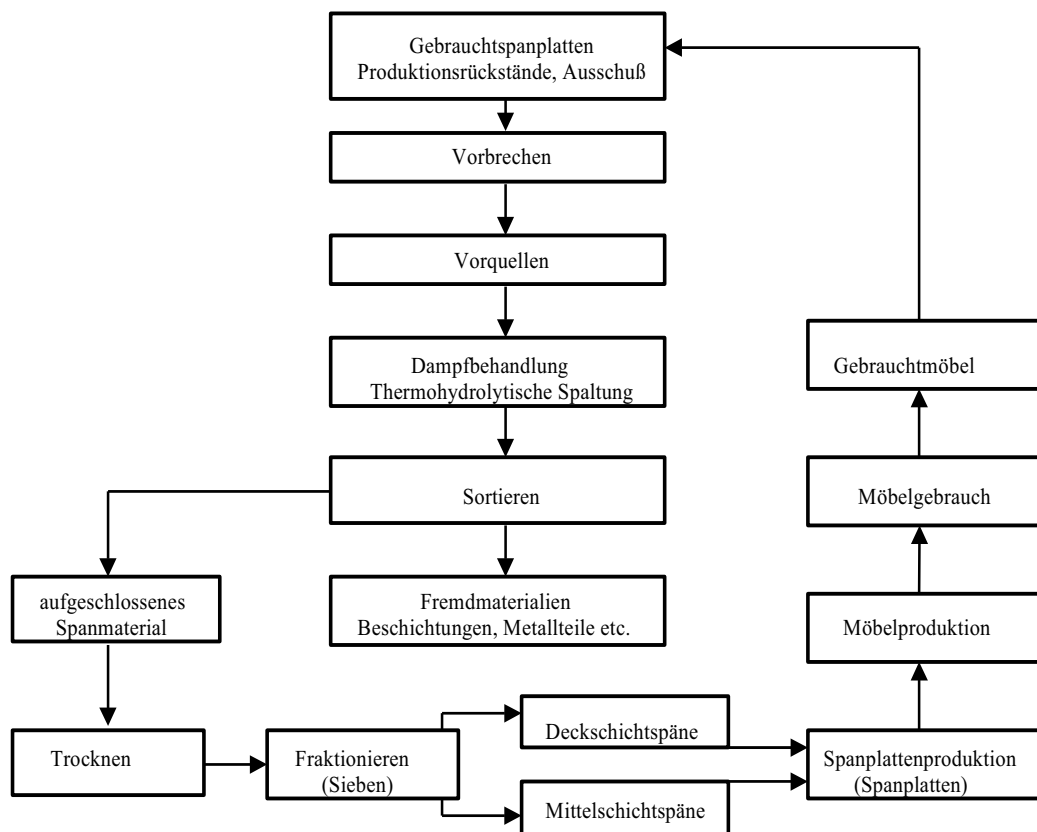


Abb. 2.2: Verfahrensschema des Dampfaufschlussverfahrens nach Pfeleiderer (nach KIRCHNER 2002)

Das beschriebene Verfahren wurde bislang in einer kontinuierlich arbeitenden Pilotanlage eingesetzt (KIRCHNER 2002). Der Aufschluss erfolgt hierbei in mehreren hintereinander geschalteten druckdichten Rohrschnecken (Abb. 2.3). In diesen Rohrschnecken durchlaufen die vorzerkleinerten Gebrauchtsan- bzw. Faserplatten zuerst die Vorquellphase und darauf die Behandlung mit Heißdampf. Dabei wird das Schneckensystem so betrieben, dass sich an bestimmten Stellen

Materialpfropfe bilden, die das System soweit abdichten, das sich der für den Aufschluss notwendige Druck aufbauen kann. Untersuchungsergebnisse von KIRCHNER (2000) zeigen, dass die mechanisch-technologischen Eigenschaften von Spanplatten, die aus nach diesem Verfahren gewonnenen Recyclingspänen hergestellt wurden, nicht schlechter sind als die von Platten, die aus frischen Spänen hergestellt wurden.

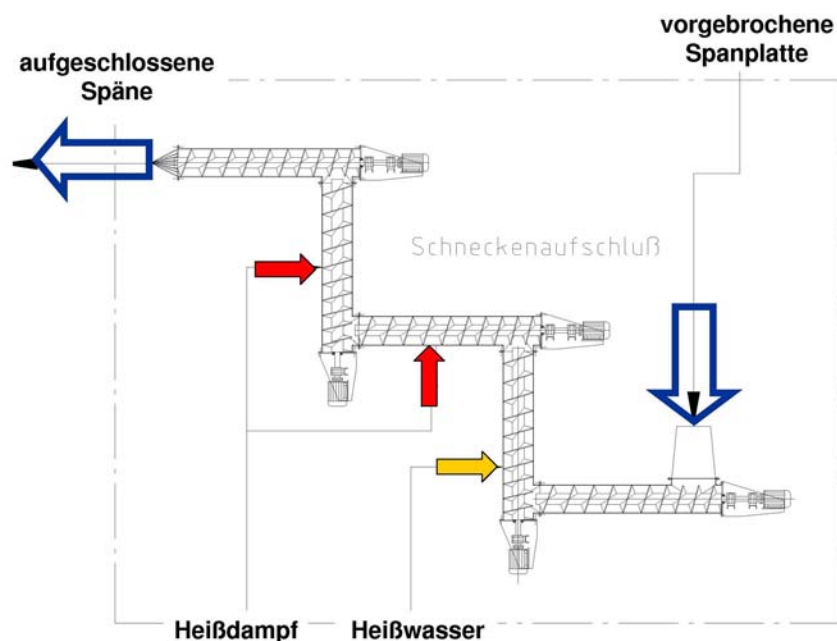


Abb. 2.3: System von druckdichten Rohrschnecken zum kontinuierlichen Aufschluss von gebrauchten Holzwerkstoffen nach dem Pfeleiderer-Verfahren (nach KIRCHNER 2002)

2.1.3.3 Das WKI-Verfahren

Auch das von MICHANICKL UND BOEHME (1995) am Wilhelm-Klauditz-Institut für Holzforschung (WKI) entwickelte Verfahren zur Wiedergewinnung von Spänen und Fasern aus gebrauchten Holzwerkstoffen arbeitet nach dem Prinzip der Thermohydrolyse. Das Verfahren (Abb. 2.4) sieht ein Vorquellen der mechanisch vorzerkleinerten gebrauchten Holzwerkstoffe in einer Imprägnierlösung vor. Hierbei wird ein Vakuum angelegt, um die in

den aufzuschließenden Holzwerkstoffen enthaltende Luft entweichen zu lassen und das Eindringen der Imprägnierlösung zu beschleunigen. Nach dem Ablassen der überschüssigen Imprägnierlösung erfolgt der Aufschluss durch Einleiten von Heißdampf bei Temperaturen von 80 °C bis 120 °C. Das aufgeschlossene Material wird nachfolgend z.B. mit Hilfe von Sieben oder Windsichtern von Störstoffen befreit und fraktioniert. Das WKI-Verfahren wird derzeit diskontinuierlich im industriellen Maßstab angewandt (BOEHME UND WITTK 2002).

Untersuchungsergebnissen von MICHANICKL (1995) und den Erfahrungen der Industrie (BOEHME UND WITTK 2002) zufolge weisen Spanplatten aus nach dem WKI-Verfahren gewonnenen Recyclingspänen physikalisch-technologische Eigenschaften auf, die mit denen von Platten aus frischen Spänen vergleichbar und teils sogar besser als diese sind.

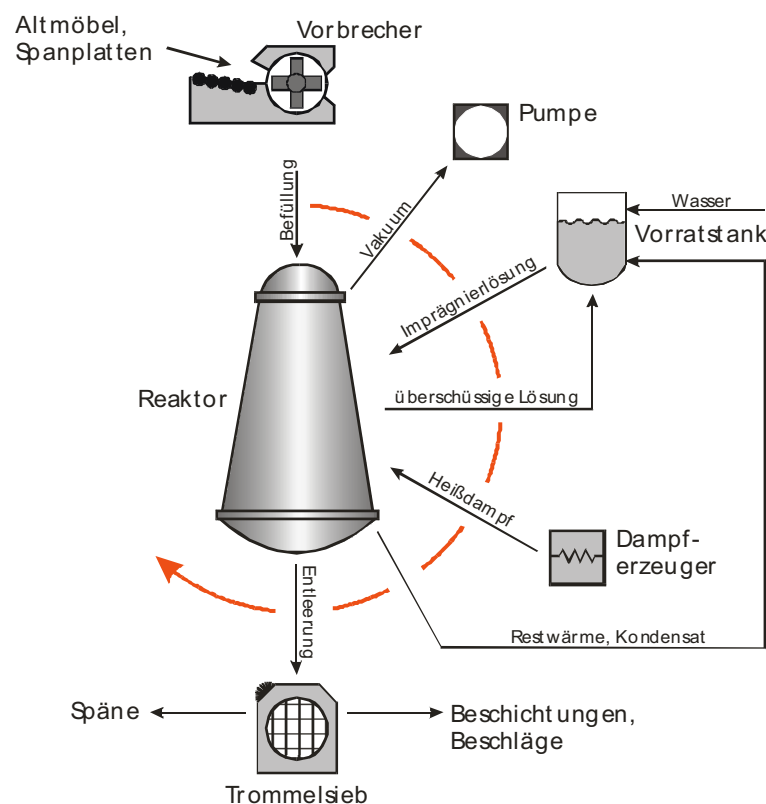


Abb. 2.4: Verfahrensschema des WKI-Verfahrens zum Aufschluss von Spanplatten (BOEHME UND WITTK 2002)

2.1.3.4 Das „Retro“-Verfahren

Das von ROFFAEL, KHARAZIPOUR UND NONNINGER (1996) entwickelte „Retro-Verfahren“ zum Recycling von gebrauchten UF-gebundenen Holzspan- und Holzfaserplatten ist dadurch gekennzeichnet, dass die gebrauchten Span- oder Faserplatten mechanisch zu Spänen bzw. Fasern zerlegt und daraufhin mit einer Tanninlösung beleimt werden (Abb. 2.5). Nach einer Fraktionierung wird dieses Recyclingmaterial den frischen Spänen bzw. Fasern beigemischt. Der aus den Recyclingspänen während des Heißpressvorgangs unter Einwirkung von Wärme und Feuchte freiwerdende Formaldehyd reagiert mit den Tanninen und vernetzt diese.

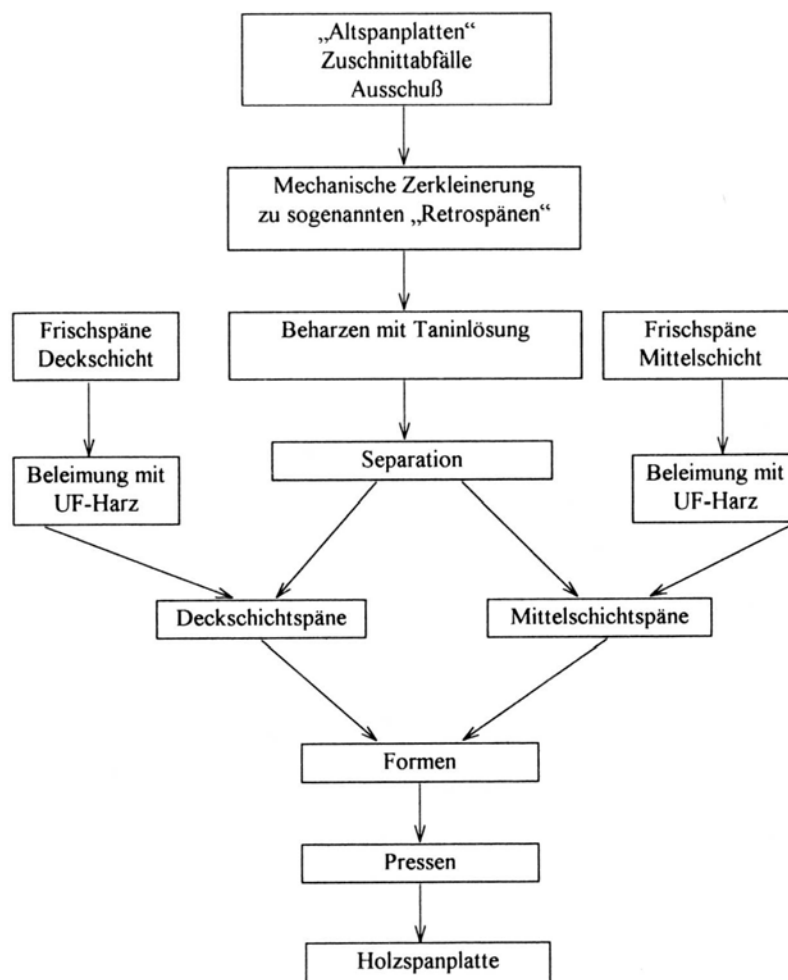


Abb. 2.5: Schematische Darstellung des Prozessablaufs beim „Retro-Verfahren“ (nach KHARAZIPOUR UND ROFFAEL 1997)

Vorteil dieses Verfahrens ist es, dass die Recyclingspäne nicht getrocknet zu werden brauchen und dadurch Energie eingespart bzw. die Trocknerkapazität gesteigert werden kann. Das Verfahren ist industriell erprobt worden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen von KHARAZIPOUR UND ROFFAEL (1997) sowie von HÜSTER (1999) zeigen, dass eine Zugabe von „Retrospänen“ in Höhe von bis zu 20 % die physikalisch-technologischen Eigenschaften von UF-gebundenen Spanplatten nicht negativ beeinflussen.

2.2 Stand der Kenntnisse

Dem Schrifttum können zahlreiche Untersuchungsergebnisse zur Dimensionsstabilität und dem Sorptionsverhalten von Holz und Holzwerkstoffen sowie zum Einfluss verschiedener Herstellungsbedingungen auf diese Eigenschaften entnommen werden. Aus der bekannten Literatur ergibt sich hierzu der im Folgenden dargestellte Stand der Kenntnisse.

2.2.1 Zum Sorptionsverhalten des Holzes

Holz besteht aus den drei Hauptkomponenten Zellulose, Hemizellulose und Lignin. Neben diesen Hauptbestandteilen, die die Zellwand bilden, enthält Holz weitere meist lösliche Stoffe, die als Inhaltsstoffe, Extraktstoffe oder akzessorische Bestandteile bezeichnet werden. Der Gehalt des Holzes an Extraktstoffen ist u.a. holzartenabhängig und beträgt bei Nadelhölzern der gemäßigten Zonen wie Fichte und Kiefer etwa 3 % bis 5 % und bei Laubhölzern wie Buche etwa 2 % bis 3 %.

Holz ist ein hygroskopisches Material, das je nach klimatischen Bedingungen Feuchte abgeben oder aufnehmen kann. Feuchtaufnahme

wird als Adsorption, Feuchteabgabe als Desorption bezeichnet (*Abb. 2.6*). Die Veränderung der Gleichgewichtsfeuchte in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte wird bei der Adsorption durch die Adsorptionsisotherme und bei der Desorption durch die Desorptionsisotherme beschrieben, welche eine Hystereseschleife bilden. Die mittlere Kurve zwischen Adsorptions- und Desorptionsisotherme wird als Sorptionsisotherme bezeichnet. Im Gleichgewichtszustand mit der Umgebung erreicht das Holz die Gleichgewichtsfeuchte (Equilibrium Moisture Content EMC).

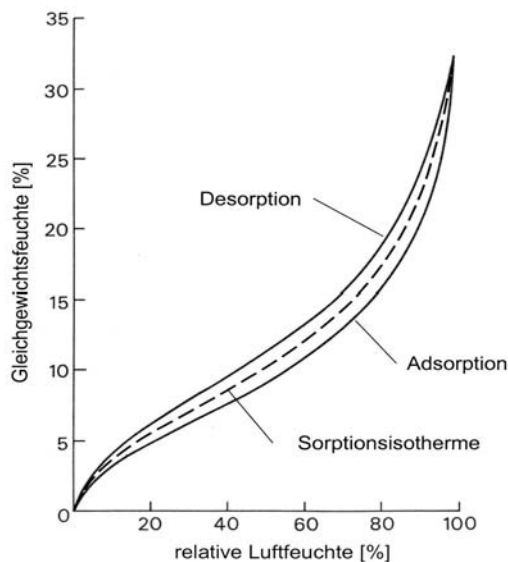


Abb. 2.6:

Adsorptions- und Desorptionskurve sowie Sorptionsisotherme für Sitkafichte

Die Gleichgewichtsfeuchte der verschiedenen Komponenten im Holz (Hemizellulose, Holozellulose und Lignin) ist, wie *Abb. 2.7* zu entnehmen ist, unterschiedlich (CHRISTENSEN UND KELSEY 1959). Die Hemizellulose weist hiernach entlang der Sorptionsisotherme eine weitaus höhere Ausgleichsfeuchte als das Lignin auf, während die Ausgleichsfeuchte der Holozellulose dazwischen liegt. Entsprechend dem jeweiligen Umgebungsklima stellt sich im Holz eine materialspezifische Gleichgewichtsfeuchte ein, deren Höhe von einer Reihe von Einflussfaktoren abhängig ist, die teilweise ineinander greifen.

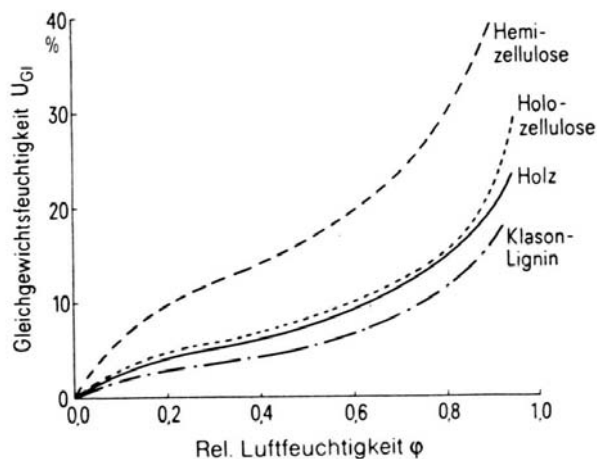


Abb. 2.7:
Gleichgewichtsfeuchten der
verschiedenen Holzbestandteile
(CHRISTENSEN UND
KELSEY 1959)

Interessanterweise übt auch die Umgebungstemperatur auf die sich im Holz einstellende Gleichgewichtsfeuchte einen Einfluss aus (SKAAR 1972). Die Gleichgewichtsfeuchte nimmt mit sinkender Temperatur zu. Bei hoher relativer Luftfeuchte ist der Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Gleichgewichtsfeuchte besonders ausgeprägt (Abb. 2.8). Da die Hemizellulosen und die Zellulose die hauptaktiven Sorptionszentren im Holz sind, dürfte der Einfluss der Temperatur auf die Sorptionsbeträge der verschiedenen chemischen Holzkomponenten unterschiedlich sein.

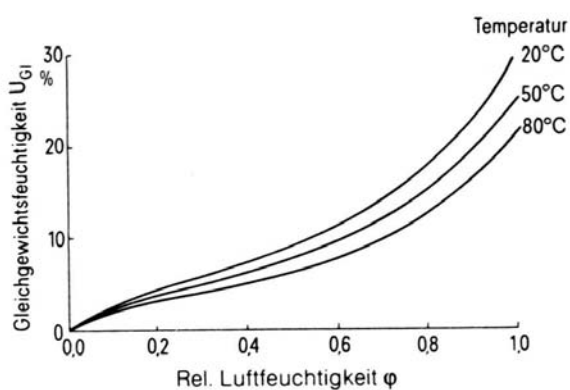


Abb. 2.8:
Einfluss der Temperatur auf die
Gleichgewichtsfeuchte des Holzes
(SKAAR 1972)

2.2.2 Die Einflussfaktoren auf die Gleichgewichtsfeuchte des Holzes

Durch thermische und hydrothermische Vorbehandlung lässt sich die Gleichgewichtsfeuchte des Holzes reduzieren (SCHNEIDER 1973, BURMESTER 1975). Nach BURMESTER (1975) führt eine Wärme-Druckbehandlung zu einer Verminderung des Hemizellulosegehalts und einer Verbesserung der Dimensionsstabilität. Durch thermische Behandlung des Holzes im Temperaturbereich zwischen 180 °C und 200 °C lässt sich die Dimensionsstabilität des Holzes um bis zu etwa 50 % verbessern. Auch durch Veresterung des Holzes (Acetylierung, Phthalierung) erfährt das Holz durch Reduzierung der hygroskopisch aktiven Zentren eine erhebliche Verminderung der Sorptionsgleichgewichtsfeuchte (POPPER UND BARISKA 1972, 1973, 1975). Untersuchungen von NAVI UND GIRARDET (2000) belegen, dass Holz, welches unter dem Einfluss einer hydro-thermischen Behandlung verdichtet wird, eine deutliche Verringerung der Gleichgewichtsfeuchte und Herabsetzung der Dickenquellung erfährt. Das hydro-thermisch verdichtete Holz weist, NAVI UND GIRARDET (2000) zufolge, eine Quellung von ca. 11 % auf, gegenüber einer Quellung von 50 % bei Holz, das bei der Verdichtung lediglich thermisch behandelt wurde. Die Quellung des unverdichteten Holzes beträgt im Vergleich hierzu ca. 8 % (NAVI UND GIRARDET 2000).

Weitere Möglichkeiten zur Herabsetzung der Gleichgewichtsfeuchte des Holzes und Erhöhung der Dimensionsstabilität sind in der Literatur beschrieben worden. Hierzu gehört die Behandlung des Holzes mit Formaldehyd als Vernetzungsmittel (BURMESTER 1971A, 1971B, 1971C). Auch die Behandlung von Holz mit hygroskopischen Stoffen wie Polyethylenglykol wurde als Methode für die Reduzierung des Quellens und Schwindens des Holzes vorgeschlagen (SCHNEIDER 1969, NOACK 1969). Weiterhin wird den in manchen Holzarten vorkommenden hydrophoben

Extraktstoffen eine reduzierende Wirkung auf die Gleichgewichtsfeuchte zugeschrieben (WANGAARD UND GRANADOS 1967).

Auf die Gleichgewichtsfeuchte von Holz- und Holzwerkstoffen nehmen verschiedene Faktoren Einfluss. Dazu gehören das eingesetzte Bindemittel, die Holzart und die Rohdichte der hergestellten Holzspanplatten. Hierüber existiert ein umfangreiches Schrifttum (vgl. SCHNEIDER 1973, ROFFAEL UND SCHNEIDER 1978, 1979). Die Gleichgewichtsfeuchte von Holzspan- und Holzfaserplatten hängt u.a., wie *Abb. 2.9* zu entnehmen ist, von dem verwendeten Bindemitteltyp ab (SCHNEIDER 1973). So zeigt die Sorptionsisotherme von mit säurehärtenden Harnstoff-Formaldehyd-Harzen (UF-Harzen) gebundenen Spanplatten einen flacheren Verlauf als die von Vollholz, während die Sorptionsisotherme von mit alkalisch härtenden Phenol-Formaldehyd-Harzen (PF-Harzen) gebundenen Spanplatten im Bereich der rel. Luftfeuchte oberhalb von 70 % einen steilen Anstieg zeigt. Weiterhin weisen UF-Harz gebundene Holzfaserplatten eine geringere Gleichgewichtsfeuchte auf als UF-gebundene Spanplatten (NIEMZ UND KUČERA 1999).

Auch die thermische Behandlung von Holzspanplatten beeinflusst ihre hygroskopischen Eigenschaften (ERNST 1967). Schon bei Temperaturen um 100 °C wird nach BÖHNER UND ROFFAEL (1987) die Gleichgewichtsfeuchte von UF-gebundenen Holzspanplatten, insbesondere im Bereich rel. Luftfeuchte unterhalb von 50 %, erniedrigt.

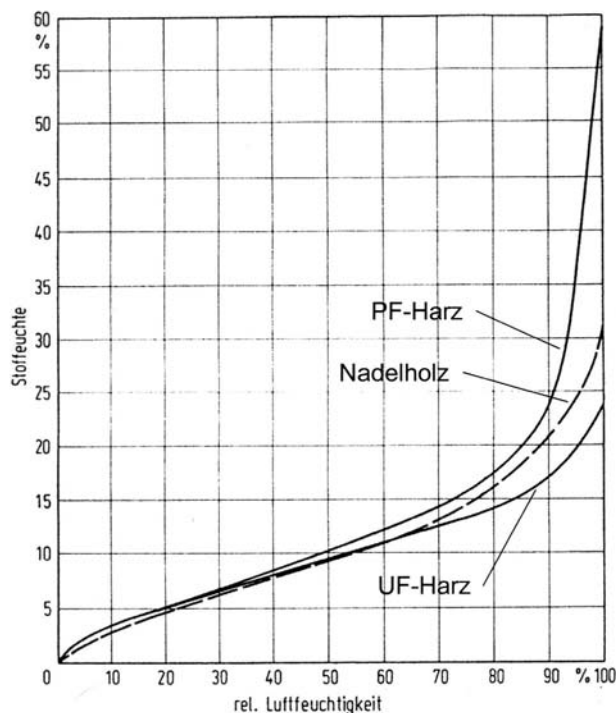


Abb. 2.9:

Sorptionsisotherme von Vollholz und PF- und UF-gebundenen Spanplatten (SCHNEIDER 1973)

2.2.3 Zur Dimensions- und Formstabilität von Holzwerkstoffen

Die natürliche Hygroskopizität des Holzes und die mit ihr verbundene Quellung lassen sich bei der Herstellung von Holzspanplatten mit verschiedenen Mitteln mehr oder weniger vermindern. Darüber hinaus lässt sich die Feuchtigkeitsaufnahme so verzögern, dass kurzfristiges Auftreten höherer Luftfeuchtigkeiten überbrückt werden kann. Jedoch lässt sich auch bei Spanplatten nicht ganz vermeiden, dass die Holzteilchen bei längerer Einwirkung von hoher relativer Luftfeuchte Feuchtigkeit aufnehmen und dass sich dementsprechend ihre Abmessungen und damit die Abmessungen der Platten vergrößern. Die Vergrößerung der Abmessungen, d.h. die Quellung, geht mehr oder weniger zurück, wenn sich die Platten wieder an eine geringere Luftfeuchte angeglichen haben. Die Abmessungen der Platten sind also im bestimmten Maße veränderlich bzw. instabil. Der Begriff Dimensionsstabilität beschreibt nun das Maß dafür, mit welchen

Dimensionsänderungen eine Platte auf die vorkommenden Schwankungen der relativen Luftfeuchte reagiert, d.h. man beschreibt hier eigentlich die Instabilität der Platte. Mit anderen Worten kann man die Dimensionsstabilität als Dimensionsänderung infolge von Klimaschwankungen bezeichnen und spricht daher von größerer oder geringerer bzw. von guter oder schlechter Dimensionsstabilität.

Bei Holzspanplatten, in denen die Späne und somit die Holzfasern vorwiegend parallel zur Plattenebene liegen, spielt sich bei Feuchtigkeitsaufnahme die Veränderung der Abmessungen, entsprechend der Quellung des Holzes, vorwiegend senkrecht zur Plattenebene ab, also als Dickenzunahme oder Dickenquellung. Die lineare Quellung (Ausdehnung), also die Quellung in Länge und Breite der Platte, die man zusammenfassend auch als Flächenquellung bezeichnen kann, ist gegenüber der Dickenquellung sehr gering. Auch in nahezu feuchtegesättigter Luft liegt die lineare Ausdehnung normalerweise weit unter 1 % bezogen auf die Abmessungen der an das Normalklima angeglichenen Platte. Auch diese geringe Quellung kann aber bei entsprechender Größe der Plattenabschnitte von Bedeutung sein. Vor allem, wenn ein Luftfeuchtewechsel im Plattenquerschnitt asymmetrische Spannungen hervorruft, wirkt sich die lineare Ausdehnung aus. Hierzu kommt es, wenn die Platte selbst eine Querschnitts-Asymmetrie aufweist, oder wenn die relative Luftfeuchte oder die Temperatur auf den beiden Seiten der Platte verschieden sind (Trennwand). Es kommt in solchen Fällen in den beiden Außenschichten der Platte zu unterschiedlichen Flächenquellungen, wodurch Spannungen erzeugt werden. Dies führt nicht einfach nur zu einer linearen Maßänderung, sondern bewirkt eine mehr oder weniger starke Verformung der Platte. Je nach dem Grad der Verformung (Formänderung), die eine Platte aufweist, spricht man von einer guten oder schlechten Formstabilität (Stehvermögen) der Platte. Die Formstabilität ist also eine besondere Art der Dimensionsstabilität und

kann als ein Maß dafür bezeichnet werden, mit welcher Formänderung eine Platte auf Schwankungen der Luftfeuchte reagiert.

Die Dimensions- und Formänderung von Holzwerkstoffen werden, wie oben beschrieben, durch die Aufnahme und Abgabe von Feuchte hervorgerufen. Das Sorptionsverhalten der Holzwerkstoffe ist hierbei zum einen hinsichtlich des Ausmaßes der Änderung des Feuchtegehalts, wie es mit der Gleichgewichtsfeuchte beschrieben wird, von Bedeutung. Zum anderen bestimmt auch der zeitliche Verlauf der Feuchtaufnahme und -abgabe durch den Holzwerkstoff (Sorptionsgeschwindigkeit) dessen Dimensions- und Formstabilität. Im Allgemeinen nehmen Holzspan- und faserplatten infolge der Schwankungen des Klimas und aufgrund ihrer Sorptionsträgheit kaum die dem herrschenden Klima zugeordnete Feuchte an (KOSSATZ, DREWES, KRATZ UND MEHLHORN 1982).

2.2.4 Die Einflussfaktoren auf die lineare Ausdehnung von Holzwerkstoffen

NOACK UND SCHWAB (1977) fanden keine lineare Beziehung zwischen der Plattenfeuchtigkeit im Gleichgewichtszustand und der linearen Ausdehnung von Holzspanplatten. Diesbezüglich unterscheiden sich, den Autoren zufolge, Holzspanplatten von Vollholz. NOACK UND SCHWAB (1977) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die Flächenausdehnung von mit alkalireichen Phenol-Formaldehyd-Harzen als Bindemittel hergestellten Holzspanplatten keinesfalls ungünstiger ist als die von denjenigen Holzspanplatten, die säurehärtende Harnstoff-Formaldehyd-Harze als Bindemittel enthalten.

Auf die lineare Ausdehnung von Holzspanplatten nehmen verschiedene Parameter deutlichen Einfluss. PAULITSCH (1975) stellt anhand einer Literaturstudie fest, dass die lineare Ausdehnung von den Quellungs- und Schwindmaßen des verwendeten Holzes sowie von der Beschaffenheit der

verwendeten Späne abhängt. Innerhalb der Holzspäne ist die morphologische Struktur des Holzes vollkommen intakt, wodurch die inhärenten Quellungs- und Schwindungseigenschaften des Holzes in den Spänen weitgehend erhalten bleiben (PAULITSCH 1975) und sich auf die aus ihnen hergestellten Spanplatten, wenn auch in eingeschränktem Umfang, übertragen. Späne mit hohem Schlankheitsgrad aus Hölzern mit niedrigen Quell- und Schwindmaßen vermögen die lineare Ausdehnung von Holzspanplatten zu verringern (PAULITSCH 1975). Auch LEHMANN (1972) bestätigt den einschränkenden Einfluss von langen Spänen auf die Längenänderung von Holzspanplatten. Literaturangaben entsprechend wirkt sich ferner die Orientierung der Späne im Spanverbund auf die lineare Ausdehnung von Spanplatten deutlich aus.

SCHWAB UND SCHÖNEWOLF (1980) fanden keinen signifikanten Einfluss der Plattendicke auf die Längenänderung von Holzspanplatten. RANTA (1978) stellte fest, dass die verfahrenstechnischen Parameter auf die lineare Ausdehnung der Holzspanplatten von Einfluss sind. So nahm nach seinen Untersuchungsergebnissen die lineare Ausdehnung mit steigender Presstemperatur während der Plattenherstellung deutlich ab, während der Einfluss des Hydrophobierungsmittels vergleichsweise gering ist. RANTA (1978) stellte außerdem fest, dass nach mehreren Klimatisierungszyklen die Dicken- und Längenänderung messbar zunehmen. Dies ist womöglich auf die Auflockerung der Plattenstruktur zurückzuführen. SUCHSLAND (1972) bestimmte die lineare Ausdehnung von verschiedenen Holzspanplatten und stellte hierbei fest, dass je nach Plattentyp die lineare Ausdehnung im Bereich relativer Luftfeuchte von 40 % bis 90 % zwischen ca. 0,1 % und 0,7 % variierte. Als wichtigste hierauf einflussnehmende Faktoren sind nach SUCHSLAND (1972) die Rohdichte und die Spangeometrie anzusehen.

2.2.5 Veränderung der holzimmanenten Eigenschaften durch den thermo-mechanischen Aufschluss (TMP)

Im Zuge des Herstellungsprozesses von Holzwerkstoffen wie Span- und mitteldichten Faserplatten wird das Holz thermisch behandelt. Die bei der Herstellung von Spanplatten verwendeten Späne erreichen während der Trocknung kaum Temperaturen oberhalb von 100 °C. Bei der Herstellung von mitteldichten Faserplatten (MDF) werden hingegen Holzhackschnitzel nach einer Vordämpfungsstufe (Temperaturen von 70 °C bis 80 °C) einer thermohydrolytischen Behandlung bei 170 °C bis 180 °C und einer darauf folgenden Zerkleinerung im Refiner unterzogen, bei der die morphologische Struktur des Holzes teilweise oder vollständig aufgehoben wird. Es kommt hinzu, dass während des thermohydrolytischen Aufschlusses ein Teil der Hemizellulosen (Polyosen) des Holzes abgebaut wird (SCHNEIDER, ROFFAEL, WINDEISEN UND WEGENER, 2004). Dies hat zur Folge, dass wegen des Fehlens eines Teils der Hemizellulosen zum einen und wegen der durch den Aufschluss bei hohen Temperaturen eingetretenen Quellungsvergütung zum anderen die Hydrophobie des Holzes bzw. der daraus hergestellten Fasern zunimmt. Es überrascht deshalb nicht, dass in der Literatur für mitteldichte Faserplatten stets eine niedrigere Gleichgewichtsfeuchte ermittelt wird als für Holzspanplatten (NIEMZ UND POBLETE, 1995; NIEMZ UND KUČERA, 1999; WATKINSON UND GOSLIGA, 1990). *Abb. 2.10* zeigt die Adsorptionsgleichgewichtsfeuchte von MDF gegenüber der von Spanplatten nach NIEMZ UND POBLETE (1995).

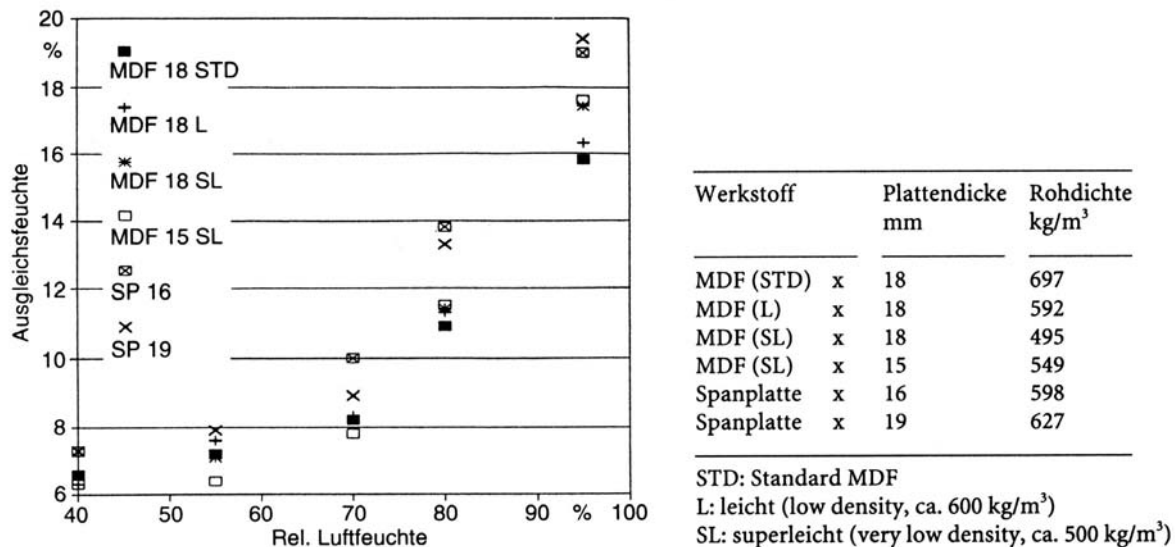


Abb. 2.10: Adsorptionsgleichgewichtsfeuchte von MDF und Spanplatten (NIEMZ UND POBLETE 1995)

Untersuchungen von ROFFAEL ET AL. (2005), deren Ergebnisse auszugsweise in *Abb. 2.11* dargestellt sind, zeigen, dass die Gleichgewichtsfeuchte von Buchenholzfasern bei allen drei Klimaten geringer ist als die vom Buchenholzspänen. Dies ist auf den vorstehend dargelegten Einfluss des thermo-mechanischen Holzaufschlusses auf die Eigenschaften der Holzfasern zurückzuführen. Weiterhin ist der *Abb. 2.11* zu entnehmen, dass die Gleichgewichtsfeuchte von UF-gebundenen Faserplatten, die aus den untersuchten Fasern hergestellt wurden, nochmals niedriger als die der Fasern selbst ist.

Hinzu kommt, dass während der Herstellung von MDF mit formaldehydhaltigen Bindemitteln wie UF-Harzen zwischen der Zellulose im Faserstoff und dem Formaldehyd eine chemische Reaktion ablaufen kann, im Zuge derer die Zellulose vernetzt wird (ONISKO UND PAWLICKI 1985). PAWLICKI (1985) stellte in einer breit angelegten Untersuchung über den Einfluss des Formaldehyds als vernetzendes Agens auf die Eigenschaften von mitteldichten Faserplatten fest, dass die Zugabe von Formaldehyd als Vernetzungsmittel zu dem Faserstoff die Dickenquellung

der hergestellten MDF verringert und die Biegefestigkeit deutlich erhöht. Bei einer Zugabe von 8 % Formaldehyd nahm die Biegefestigkeit um 45 % zu. Dies beruht womöglich auf einer chemischen Wechselwirkung zwischen dem Formaldehyd und dem Faserstoff.

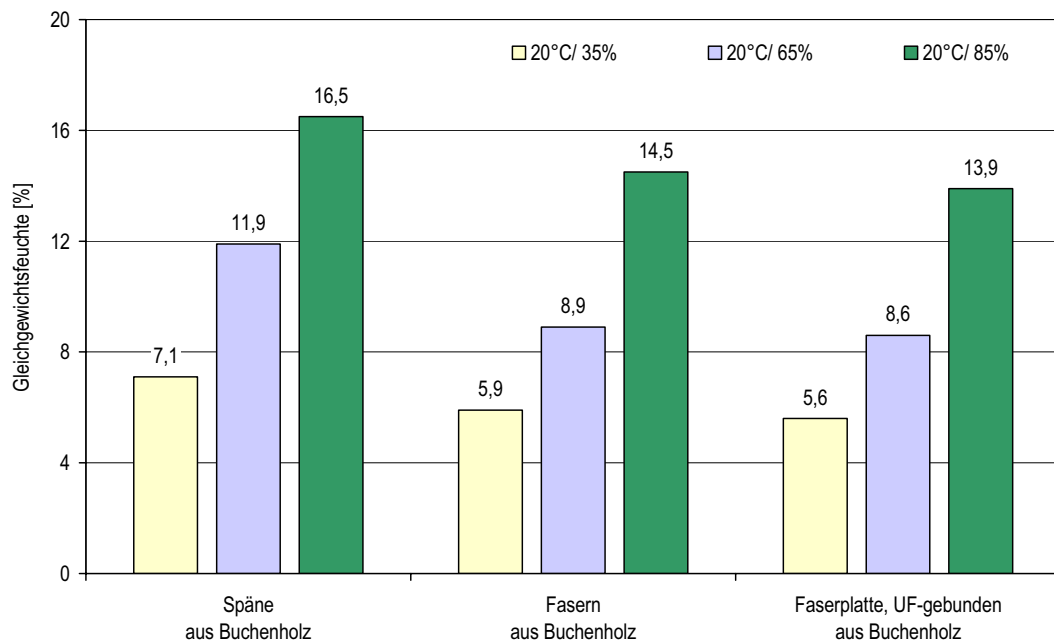


Abb. 2.11: Gleichgewichtsfeuchten bei 20 °C und 35 %, 65 % und 85 % relativer Luftfeuchte von Buchenholzspänen, Buchenholzfaser und von UF-gebundenen aus den Buchenholzfaser hergestellten mitteldichten Faserplatten (MDF)
(nach ROFFAEL, HENNECKE, BEHN UND SCHNEIDER, 2005)

2.2.6 Zum möglichen Einfluss des Recyclings auf die Dimensionsstabilität von Holzspan- und faserplatten

Die bislang im Schrifttum aufgeführten Angaben über die Längenänderung von Holzspan- und -faserplatten beziehen sich, soweit bekannt, ausschließlich auf Platten, die direkt aus „frischem“ Holz hergestellt wurden. Ergebnisse von systematischen Untersuchungen über die Längenänderung von Span- und Faserplatten, die aus Recyclingmaterial hergestellt wurden, konnten der Literatur nicht entnommen werden. Das

Verhalten von aus Recyclingspänen und -fasern hergestellten Platten dürfte aus folgenden Gründen von dem abweichen, das Span- und Faserplatten aus frischen, direkt aus dem Holz gewonnenen Spänen und Fasern zeigen:

Holzspanplatten, die UF-Harz als Bindemittel enthalten, sind in ihrem Sorptionsvermögen eingeschränkt (SCHNEIDER 1973) und nehmen im Vergleich zu Vollholz insbesondere im oberen Bereich der relativen Luftfeuchte geringere Mengen an Feuchte auf. Wenn auch zwischen der Ausgleichsfeuchte zum einen und der Dimensionsstabilität zum anderen keine lineare Beziehung besteht (NOACK UND SCHWAB 1977), so bieten Recyclingspäne aus UF-Spanplatten dennoch gute Voraussetzungen für die Herstellung von Holzspanplatten mit eingeschränktem Sorptions- und womöglich auch Längenänderungsvermögen. Hinzu kommt, dass Späne aus Gebrauchtspanplatten bereits im Herstellungsprozess während des Trocknens und des Pressvorgangs thermisch behandelt wurden, wodurch sie mindestens eine gewisse thermische Vergütung erfahren, die ihr Sorptionsvermögen verringern und sich auf die Längenänderung der aus ihnen hergestellten Platten positiv auswirken könnte.

Späne aus Gebrauchtspanplatten enthalten bereits in Mengen von im Durchschnitt 10 % ein kondensiertes Bindemittel, das bei einer zweiten Beileimung womöglich die Benetzung mit dem Bindemittel und die Qualität der Verleimung beeinflussen kann. Nach bisherigen Erfahrungen der Industrie führt z.B. die Rückführung von bereits geringen Anteilen (20 % bis 30 %) von Spänen, die durch eine mechanische Zerkleinerung von mit Harnstoff-Formaldehydharz gebundenen Holzspanplatten gewonnen wurden, in den Prozess der Plattenherstellung bei einer erneuten Verleimung mit UF-Harzen zu einer Verschlechterung der Platten-eigenschaften (MÖLLER 1994). Erst durch einen vorherigen Dampfaufschluss, wie dies z.B. das Verfahren von SANDBERG (1963), MICHANICKL UND BOEHME (1995) und PFLEIDERER (1995) vorsieht, ist es

möglich den Anteil an Recyclingspänen beim Herstellungsprozess wesentlich zu erhöhen.

Auch das Verhalten von Spänen und Fasern aus recycelten UF-gebundenen Span- bzw. Faserplatten gegenüber anderen Bindemitteln als dem Harnstoff-Formaldehyd-Harz (UF-Harz) ist bis jetzt kaum untersucht worden. Dies ist insofern von Bedeutung, als der Wirkungsmechanismus bestimmter Bindemittel, wie Klebstoffe auf Basis von polymerem 4,4'-Diphenylmethandiisocyanat (PMDI), als nicht vollauf aufgeklärt gilt und die Erfahrungen mit der Verleimung von frischen Spänen und Fasern nicht ohne weiteres auf die Verleimung von Recyclingspänen und -fasern übertragen werden können.

3 Methodik

3.1 Untersuchungen an Holzspänen und -fasern

3.1.1 Siebanalysen des Spanmaterials

Die im Rahmen der Untersuchungen angefertigten Siebanalysen wurden mit einem Siebanalysegerät (Retsch KS 1000) angefertigt. Die verwendeten Siebe hatten Maschenweiten von 0,2 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm und 4 mm. Der Siebdurchmesser betrug 400 mm. Der Anteil der einzelnen Spanfraktionen wurde als Gewichtsprozent bezogen auf die Gesamtmasse (atro) ermittelt.

3.1.2 Feuchtegehalt von Holzspänen und -fasern

Der Feuchtegehalt der Späne und Fasern wurde mit einem Feuchtebestimmer (Sartorius MA 30) ermittelt, der das Untersuchungsmaterial bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz trocknet und aus Einwaage und Endgewicht den Feuchtegehalt als Gewichtsprozent bezogen auf das Trockengewicht bestimmt. Es wurden Doppelbestimmungen durchgeführt und die arithmetischen Mittelwerte berechnet.

3.1.3 Formaldehydabgabe aus Holzspänen und -fasern nach der Flaschenmethode

Die Bestimmung der Formaldehydabgabe aus den verschiedenen Spänen und Fasern erfolgte in Anlehnung an die EN 717-3 (DIN 1999) nach der sog. Flaschenmethode (ROFFAEL 1975, SUNDIN UND ROFFAEL 1991). Hierzu wurde von dem zu untersuchenden Material eine ca. 1,5 g atro entsprechende Menge in ein handelsübliches Tee-Ei (aus Stahl)

eingewogen und anschließend in eine Polyethylenflasche (WKI-Flasche) mit einem Fassungsvermögen von 500 ml gehängt. Zuvor wurde die Flasche mit 50 ml entionisiertem Wasser gefüllt. Für die Ermittlung des Blindwertes wurde zu jeder Versuchsreihe eine WKI-Flasche, die 50 ml entionisiertes Wasser und ein leeres Tee-Ei enthielt, beigelegt. Die fest verschlossenen WKI-Flaschen wurden dann für 24 Stunden in einem auf 40 °C eingestellten Wärmeschrank belassen.

Nach Ablauf der Prüfdauer wurden die WKI-Flaschen geöffnet und das Untersuchungsmaterial entnommen, danach wurden die Flaschen wieder verschlossen. Um die vollständige Absorption des Formaldehyds im Wasser zu erreichen, kühlten die WKI-Flaschen für eine Stunde ab. Anschließend erfolgte an der Absorptionslösung die photometrische Bestimmung der abgegebenen Formaldehydmenge (*vgl. Kap. 3.1.3.1*).

3.1.3.1 Photometrische Bestimmung der Formaldehydabgabe

Die Bestimmung der Formaldehydabgabe erfolgte gemäß den Vorgaben der EN 717-3. Von der Absorptionslösung wurden 10 ml in eine Schliffflasche pipettiert und mit 10 ml einer 0,04 M Acetylacetonlösung und 10 ml einer 20 %igen Ammoniumacetatlösung versetzt. Anschließend wurden die Proben bei 40 °C für 15 Minuten in einem Schüttelwasserbad inkubiert. Nach einer Stunde Abkühlung auf Raumtemperatur bei abgedunkelter Lagerung der Proben wurden diese bei 412 nm gegen entionisiertes Wasser photometrisch (Perkin Elmer UV/VIS-Spektrometer Lambda 16) vermessen und die Formaldehydabgabe der Proben als Abgabe in mg Formaldehyd bezogen auf kg Trockenmasse der Probe gemäß der nachstehenden Formel errechnet. Die Messungen wurden als Doppelbestimmungen durchgeführt.

$$Y = \frac{(a-b) \times f \times v}{m}$$

- Y = Formaldehydabgabe [mg/ kg atro Platte]
a = an der Probe gemessene Extinktion bei 412 nm
b = am Blindversuch gemessene Extinktion bei 412 nm
f = Steigungsfaktor der Kalibrierungsfunktion [µg/ ml]
v = Volumen der Absorptionsflüssigkeit (50 ml)
m = Trockenmasse der Probekörper [g]

3.1.4 Kaltwasserextrakte der Holzspäne und -fasern

Für die Untersuchungen wurde jeweils eine 5 g atro entsprechende Menge des zu extrahierenden Materials in einem 500 ml Jodzahlkolben mit 150 ml entionisiertem Wasser versetzt. Der Jodzahlkolben wurde verschlossen und der Inhalt bei 20 °C für 24 Stunden geschüttelt. Nach Ablauf der Extraktionszeit wurden die wässrigen Extrakte abfiltriert. Anschließend wurde ihr pH-Werts und die alkalische Pufferkapazität bestimmt. Die Untersuchungen wurden jeweils als Doppelbestimmungen durchgeführt.

3.1.4.1 Bestimmung des pH-Wertes

Der pH-Wert der kaltwässrigen Extrakte wurde mittels eines pH-Meters (WTW pH 526) 4 Minuten nach Eintauchen der Einstabmesskette bei 20 °C ermittelt.

3.1.4.2 Bestimmung der alkalischen Pufferkapazität

Es wurden in Abhängigkeit ihres pH-Wertes 20 ml der kaltwässrigen Extrakte mit einer 0,01 mol/l NaOH-Lösung bis zum Neutralpunkt titriert. Für die Titration wurde ein Titriersystem der Fa. Schott (Titration Controller 1200, Kolbenbürette T110 und Wechsellaufsatz TA20) verwendet. Aus der titrierten Menge an NaOH wurde die alkalische Pufferkapazität in mmol NaOH/ 100 g atro Späne errechnet.

3.1.5 Stickstoffgehalt der Holzspäne und -fasern

Die Bestimmung des Stickstoffgehalts der verwendeten Späne und Fasern wurde in Anlehnung an Merkblatt IV/54/73 des VEREINS DER ZELLSTOFF- UND PAPIER-CHEMIKER UND -INGENIEURE (1973) vorgenommen. Die Proben wurden hierbei mit konzentrierter Schwefelsäure und einem Katalysator erhitzt, so dass die organischen Substanzen zersetzt wurden. Anschließend wurde das Gemisch überdestilliert und diejenigen Verbindungen, die ihren Stickstoff unter diesen Reaktionsbedingungen abgegeben hatten, wurden durch eine titrimetrische Bestimmung des überdestillierten Ammoniaks erfasst. Abweichend vom vorstehend genannten Merkblatt wurden anstelle des Selen-Reaktionsgemisches zwei Kjeldahl-Tabletten (Merck-Nr. 16469) als Katalysator eingesetzt. Die Proben von 1 g luro Spanmaterial wurden mit 20 ml 98 %iger Schwefelsäure versetzt. Der Aufschluss und die Destillation wurden mit Geräten der Fa. Gerhardt durchgeführt (Aufschlußsystem Kjeldatherm KB 8 S, Wasserdampf-Destillationsapparatur Vapodest 30). Für die Destillation wurden folgende Größen festgelegt: Zugabe von 70 ml dest. Wasser und 50 ml ca. 30 %iger Natronlauge sowie eine Dauer von 5 Minuten. Anstelle von 0,1 N Schwefelsäure wurde bei der Destillation 0,1 N Salzsäure vorgelegt. Die Berechnung beruht auf der Beziehung, dass 1 ml verbrauchte 0,1 N Salzsäure 1,4 mg Stickstoff entspricht. Der Stickstoffgehalt wurde als Mittelwert einer Doppelbestimmung wie folgt berechnet:

$$y = \frac{(a - b) \times 0,14}{m}$$

y = Stickstoffgehalt in % bezogen auf trockene Probe
a = Verbrauch an 0,1 mol/l Salzsäure beim Versuch in ml
b = Verbrauch an 0,1 mol/l Salzsäure beim Blindversuch in ml
m = Trockenmasse der Probe in g

3.1.6 Wasserrückhaltevermögen der Holzspäne und -fasern (WRV-Wert)

Die Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens (WRV-Wert) der verwendeten Späne und Fasern erfolgte in Anlehnung an das im Merkblatt IV/33/57 des VEREINS DER ZELLSTOFF- UND PAPIER-CHEMIKER UND -INGENIEURE (1957) beschriebene Verfahren. Bei der Untersuchung der Holzfasern wurden dabei pro Untersuchungsvariante 12 Proben von jeweils 0,15 g eingewogen. Im Falle der Holzspäne betrug die Probenmasse 0,3 g. Diese Proben wurden mit 30 ml entionisiertem Wasser versetzt und für 16 Stunden bei 20 °C darin belassen. Daraufhin wurden die nunmehr gequollenen Holzspäne bzw. -fasern in speziellen, mit einem Filtereinsatz versehenen Probenbehältern (*Abb. 3.1*) mittels einer Zentrifuge (Sigma 3-15) bei 3000-facher Erdbeschleunigung für 5 Minuten abgeschleudert.

Die zum Erreichen der geforderten Zentrifugalkraft benötigte Drehzahl der Zentrifuge errechnet sich nach folgender Formel:

$$n = 299,05 \times \sqrt{\frac{a}{r}}$$

n =	Drehzahl der Zentrifuge pro min
a =	gefordertes Vielfaches der Erdbeschleunigung
r =	Abstand vom Filtereinsatzes des Probenbehälters bis zur Drehachse der Zentrifuge

Das so behandelte Span- bzw. Fasermaterial wurde gewogen, bei 103 °C gedarrt und erneut gewogen. Der WRV-Wert ergibt sich aus der Massendifferenz der Proben vor und nach dem Darren in Prozent der darrtrockenen Probenmasse. Die dargestellten Ergebnisse sind die Mittelwerte der 12 Einzelmessungen.

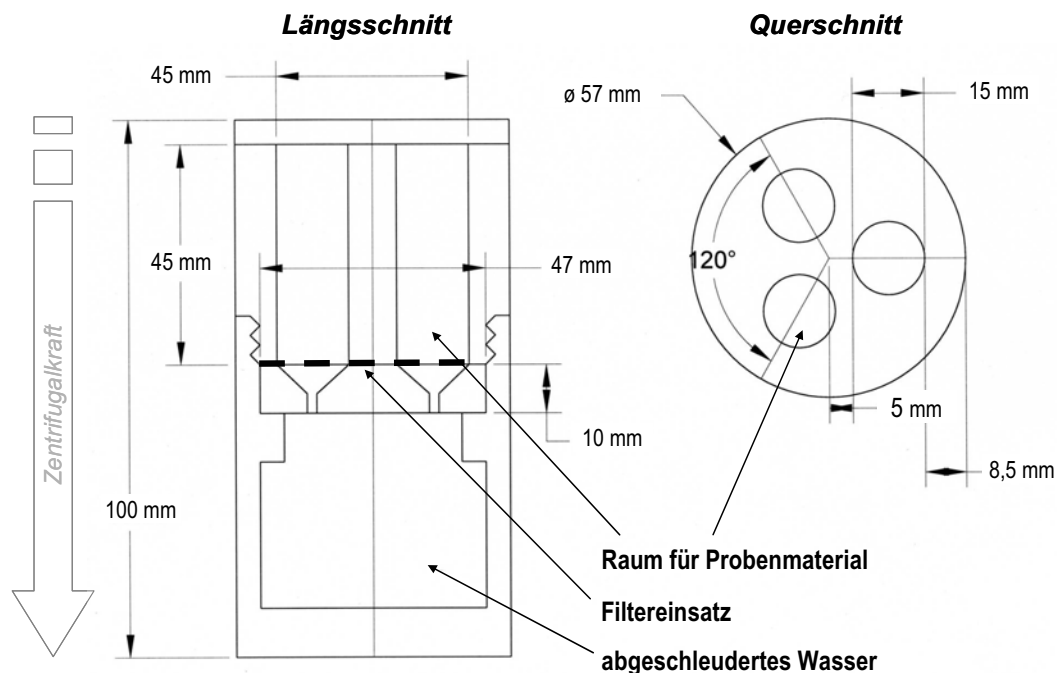


Abb. 3.1: Längs- und Querschnitt der bei der Bestimmung des WRV-Wertes zum Abschleudern des Wassers in der Zentrifuge verwendeten Probenbehälter. Die Behälter sind zweiteilig ausgeführt und mit einem Gewinde versehen. Der Probenraum wird mit einem Filtereinsatz von dem Raum für das abgeschleuderte Wasser getrennt

3.1.7 Gleichgewichtsfeuchte der Späne und Fasern bei verschiedenen relativen Luftfeuchten

Die Ermittlung der Gleichgewichtsfeuchte der verwendeten Späne und Fasern bei den verschiedenen Klimaten erfolgte mit Hilfe der in *Kap. 3.3.5* beschriebenen Vakuumsorptionsapparatur. Proben der Späne und Fasern von ca. 3 g Masse (Iutro) wurden als bei 20 °C und 35 %, 65 % und 85 % relativer Luftfeuchte klimatisiert. Jeweils nach Erreichen der Massekonstanz wurde die Masse der Proben ermittelt. Nach dem abschließenden Darren der Proben im Trockenschrank (Fa. Memmert, Mod. UE 500) bei 103 °C wurde aus der Darrrmasse und der Masse der Proben nach den Klimatisierungszyklen die zugehörige Gleichgewichtsfeuchte der Proben abgeleitet. Die Untersuchungen wurden als Doppelbestimmung durchgeführt.

3.2 Herstellung der Holzwerkstoffe im Labormaßstab

3.2.1 Trocknung

Vor der Beleimung mit Harnstoff-Formaldehydharz (UF-Harz) wurden die Holzspäne und -fasern in Trockenschränken (Memmert Mod. 800) bei 70 °C bis zu einem Feuchtegehalt von ca. 3 % bis 5 % getrocknet. Bei der Verwendung von PMDI als Bindemittel wurde auf die Trocknung der Späne bzw. Fasern vor der Beleimung verzichtet, wodurch diese Späne und Fasern einen Feuchtegehalt von etwa 8 % aufwiesen.

3.2.2 Beleimung

Die Beleimung der Holzspäne und -fasern mit dem jeweiligen Bindemittel und die Einbringung des Hydrophobierungsmittels erfolgten in einer rotierenden Beleimungstrommel (Eigenbau) mit einem Volumen von ca. 1,2 m³, in der sich zwei Spritzapparate (Optima ATM II O) befinden, die das Bindemittel bzw. Hydrophobierungsmittel auf die Späne sprühen (Abb. 3.2). Genaue Informationen zu Art und Dosierung der Bindemittel und zu den übrigen Herstellungsbedingungen finden sich an entsprechender Stelle.

3.2.3 Ausformung des Span- bzw. Faserkuchens und Vorverdichtung

Das beleimte Span- bzw. Fasermaterial wurde mittels Handstreuung in einen Streukasten von 45 cm x 45 cm Kantenlänge eingebracht. Genauere Informationen zum Aufbau der hergestellten Laborplatten werden an entsprechender Stelle gegeben. Nach dem Einstreuen wurde der Kuchen in dem Streukasten mit einer pneumatischen Vorpresse (Eigenbau) bei einem Druck von ca. 3 bar vorverdichtet und der Streukasten nach

Aufrechterhaltung des Drucks für etwa 30 Sekunden entfernt. Daraufhin wurde der vorverdichtete Span- bzw. Faserkuchen dem anschließenden Heißpressvorgang zugeführt.



Abb. 3.2:

geöffnete Beleimungstrommel mit Sicht auf die Spritzapparate mit den Behältern für das Bindemittel

3.2.4 Heißpressvorgang

Der Heißpressvorgang erfolgte in einer Laborpresse (Joos HP-S 200). Hierbei wurden zur Begrenzung des Pressenspaltes Distanzleisten verwendet, der Pressdruck betrug dabei ca. 70 bar. Die weiteren Pressbedingungen wie Presstemperatur, Presszeitfaktor, etc. werden an entsprechender Stelle erläutert.

3.2.5 Schleifen und Besäumen

Nach dem Abschluss des Heißpressvorgangs wurden die hergestellten Platten zumeist über Nacht an der Raumluft abgekühlt. Die abgekühlten Laborspanplatten wurden mittels einer Bandschleifmaschine unter Verwendung eines Schleifmittels der Körnung 100 beidseitig geschliffen und anschließend auf das Format 41 cm x 41 cm besäumt.

3.3 Eigenschaften der Versuchsspanplatten

Nach der Herstellung wurden die Laborspanplatten für drei Wochen im Normalklima bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte in einem Klimalagerschrank (WTB Binder KDF 720) bis zur Gewichtskonstanz gelagert. Anschließend wurden von jeder Plattenvariante zwei Spanplatten zu den verschiedenen Probekörpern eingeschnitten. Die in *Tab. 3.1* aufgestellten Eigenschaften der hergestellten Laborspanplatten wurden gemäß den Prüfvorschriften der entsprechenden Normen (DIN 1999) untersucht.

Die Prüfung der Biegefestigkeit erfolgte nach DIN 52 362, da die begrenzten Formate der Versuchsspanplatten eine Ausformung der Probekörper nach EN 310 nicht ermöglichten. Die Bestimmung der Querkzugfestigkeit, Biegefestigkeit, Dickenquellung und Wasseraufnahme erfolgte, soweit nicht anders angegeben, an jeweils 10 Prüfkörpern, die nach einem vorgegebenen Schema aus den Versuchsspanplatten ausgeformt wurden. Die Probennahme bei den Untersuchungen zur Dimensionsstabilität bei Änderung der relativen Luftfeuchte wurde entsprechend der Vorgaben der EN 318 vorgenommen.

Die in den Abbildungen und Tabellen dieser Arbeit dargestellten Werte verstehen sich jeweils als Mittelwerte der jeweiligen Einzelmessungen.

Tab. 3.1: Untersuchte Platteneigenschaften und entsprechende Prüfvorschriften

Feuchtegehalt	EN 322
Rohdichte	EN 323
Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene	EN 319
Biegefestigkeit	DIN 52 362
Dickenquellung nach Wasserlagerung	EN 317
Wasseraufnahme	DIN 52 351
Maßänderung in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte	EN 318
Formaldehydabgabe nach der Flaschenmethode	EN 717-3

3.3.1 Feuchtegehalt und Rohdichte

Zur Bestimmung des Feuchtegehalts der hier untersuchten Holzwerkstoffe wurde eine der in der EN 322 geforderten Probenmasse entsprechende Anzahl an Probekörpern mit einer Kantenlänge von 25 mm verwendet. Die Trocknung der Proben erfolgte bei 103 °C in einem Trockenschrank der Fa. Memmert (Mod. UE 500). Die Bestimmung der Rohdichte erfolgte anhand der für die Messung der Querkzugfestigkeit verwendeten Probekörper.

3.3.2 Rohdichteprofil

Die Ermittlung von Rohdichteprofilen der im Rahmen dieser Arbeit hergestellten Holzwerkstoffe wurde am Wilhelm-Klauditz-Institut für Holzforschung (WKI) in Braunschweig durchgeführt. Die Messungen

erfolgten nach einem von Ranta und May (1978) beschriebenen Verfahren, das auf der dichteabhängigen Absorption von Gammastrahlung durch Holz bzw. Holzwerkstoffe basiert.

3.3.3 Querzug und Biegefestigkeit

Die Bestimmung der Querzug- und Biegefestigkeit erfolgte mittels einer Universalprüfmaschine der Fa. Mohr & Federhaff AG, Mannheim (Mod. UPD 10). Für die Bestimmung der Querzugfestigkeit wurden Joche aus Buchenholz verwendet, die mittels eines handelsüblichen Weißleims an den Probekörpern befestigt wurden.

3.3.4 Dickenquellung und Wasseraufnahme

Die Bestimmung der Dickenquellung und der Wasseraufnahme nach Wasserlagerung erfolgte an denselben, gemäß der EN 317 mit einer Kantenlänge von 50 mm ausgeformten Probekörpern. Zusätzlich zu der nach der EN 317 und der DIN 52 351 geforderten Dauer der Wasserlagerung von 24 Stunden wurden die Messgrößen auch nach 3-stündiger Wasserlagerung aufgenommen.

3.3.5 Maßänderung in Verbindung mit Änderungen der relativen Luftfeuchte

Die Klimatisierung der Probekörper für die Untersuchungen zur Maßänderung durch Änderung der relativen Luftfeuchte gemäß EN 318 erfolgte mit Hilfe einer Vakuumsorptionsapparatur (Fa. Schütt). Dieses Gerät ermöglicht die Einstellung einer definierten Luftfeuchte mittels geeigneter gesättigter Salzlösungen und das Evakuieren des Probenraums (KOLLMANN UND SCHNEIDER 1958). Mehrere Probekörper von Spanplatten in

den evakuierten Proberäumen der Vakuumsorptionsapparatur, sowie die darunter befindlichen Behälter mit den Salzlösungen zeigt die *Abb. 3.3*.



Abb. 3.3: mehrere Spanplatten-Probekörper in den evakuierten Proberäumen der Vakuumsorptionsapparatur. Am unteren Rand sind die Behälter mit den gesättigten Salzlösungen zur Erzeugung der jeweiligen relativen Luftfeuchte zu erkennen

Durch die Klimatisierung im Vakuum wird die Adsorption bzw. Desorption wesentlich beschleunigt und gleichsam die Streuung der Messwerte reduziert, wie Vergleichsmessungen mit bei Normaldruck im Klimaschrank gelagerten Proben gezeigt haben. Für die Erzeugung der im Rahmen der Untersuchungen benötigten Klimate wurden die in *Tab. 3.2* aufgeführten Salzlösungen verwendet (nach SCHNEIDER 1960).

Nach Erreichen der Massekonstanz wurden die Probekörper der Vakuumsorptionsapparatur entnommen und mittels eines der EN 318 entsprechenden Messgerätes (*Abb. 3.4*) ihre Länge bestimmt. Weiterhin wurden die Dicke und die Masse der Probekörper ermittelt.

Tab. 3.2: Salzlösungen zur Erzeugung definierter Luftfeuchten in der Vakuumsorptionsapparatur nach SCHNEIDER (1960)

gewünschte relative Luftfeuchte	gesättigte Lösung von
~ 35%	$\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ Magnesiumchlorid-Hexahydrat
~ 65%	NaNO_2 Natriumnitrit
~ 85%	KCl Kaliumchlorid



Abb. 3.4: Messgerät zur Bestimmung der Längenänderung gemäß der EN 318. Das Gerät besteht aus einem U-förmigen Rahmen, der den Probekörper aufnimmt (links im Bild) und dem eigentlichen Messgerät, in das der Rahmen mit dem Probekörper eingelegt wird

3.3.6 Gleichgewichtsfeuchte der Span- und Faserplatten bei verschiedenen relativen Luftfeuchten

Die Bestimmung der Gleichgewichtsfeuchte der untersuchten Span- und Faserplatten erfolgte mittels der Proben zur Ermittlung der Maßänderung bei Änderung der relativen Luftfeuchte (vgl. Kap. 3.3.5). Diese wurden nach Abschluss der Klimatisierungszyklen nach EN 318 in einem Trockenschrank (Fa. Memmert, Mod. UE 500) bei 103 °C gedarrt. Aus der nach dem Darrvorgang ermittelten Trockenmasse und der nach den Klimatisierungszyklen bei 65 %, 35 % und 85 % relativer Luftfeuchte erfassten Masse wurde die zu diesen Klimaten gehörende Gleichgewichtsfeuchte der Probekörper hergeleitet.

3.3.7 Bestimmung der Formaldehydabgabe aus den Holzwerkstoffen nach der Flaschenmethode

Die Bestimmung der Formaldehydabgabe aus den verschiedenen Holzwerkstoffen erfolgte gemäß der in der EN 717-3 beschriebenen Flaschenmethode (ROFFAEL 1975, SUNDIN UND ROFFAEL 1991). Hierzu wurden aus den zu untersuchenden Platten Probekörper mit einer Kantenlänge von 25 mm entnommen und eine ~ 20 g entsprechende Anzahl (zumeist 3 Probekörper) mittels zweier Gummibänder in eine Polyethylenflasche (WKI-Flasche) mit einem Fassungsvermögen von 500 ml eingehängt, die zuvor mit 50 ml entionisiertem Wasser befüllt wurde. Für die Ermittlung des Blindwertes wurde zu jeder Versuchsreihe eine WKI-Flasche, die keine Probekörper enthielt, beigelegt. Die fest verschlossenen WKI-Flaschen wurden dann für 3 Stunden und 24 Stunden in einem auf 40 °C eingestellten Wärmeschrank belassen.

Nach Ablauf der Prüfdauer wurden die WKI-Flaschen geöffnet und die Probekörper entnommen. Danach wurden die Flaschen wieder verschlossen. Um die vollständige Absorption des Formaldehyds im

Wasser zu erreichen, kühlten die WKI-Flaschen für eine Stunde ab. Anschließend erfolgte, in der in *Kap. 3.1.3.1* beschriebenen Weise, an der Absorptionslösung die photometrische Bestimmung der abgegebenen Formaldehydmenge.

4 Untersuchungen, Ergebnisse und Diskussion

4.1 Untersuchungen zum Einfluss der Verwendung von Recyclingspänen auf die Eigenschaften von UF- und PMDI-gebundenen Holzspanplatten

Die in diesem Abschnitt dargestellten Untersuchungen wurden aufgrund der Fragestellung durchgeführt, inwieweit die Verwendung von Recyclingspänen, die aus einer mechanischen Zerkleinerung von UF- und PMDI-gebundenen Holzspanplatten hervorgegangen sind, bei der Herstellung von UF- und PMDI-gebundenen Spanplatten einen Einfluss auf die Gebrauchseigenschaften dieser Platten hat. Insbesondere stand die Dimensionsstabilität der Spanplatten, sowohl bei direktem Kontakt mit Wasser in Form einer Wasserlagerung, als auch bei einer Änderung der relativen Feuchte der Umgebungsluft, im Vordergrund der Untersuchungen.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden UF- und PMDI-gebundene industriell hergestellte Holzspanplatten mechanisch zerkleinert und zu Deck- und Mittelschichtspänen fraktioniert. Diese UF- und PMDI-Recyclingspäne sowie auf die gleiche Weise fraktionierten frischen Späne wurden hinsichtlich einiger chemischer und physikalischer Eigenschaften charakterisiert. Aus diesem Spanmaterial wurden unter Verwendung von UF-Harz und PMDI dreischichtige Laborspanplatten hergestellt und auf ihre Gebrauchseigenschaften hin untersucht. Im Folgenden werden die Vorgehensweise bei der Herstellung der Recyclingspäne und Laborspanplatten sowie die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen dargestellt.

4.1.1 Das verwendete Spanmaterial

4.1.1.1 Das Ausgangsmaterial für die Herstellung der Recyclingspäne

Für die Herstellung der bei diesen Untersuchungen verwendeten Recyclingspäne wurden industriell gefertigte Holzspanplatten als Ausgangsmaterial verwendet. Es handelt sich hierbei um Spanplatten, die mit Harnstoff-Formaldehydharz (UF-Harz) und einem Bindemittel auf Basis von 4,4'-Diphenylmethandiisocyanat (PMDI) hergestellt wurden. Diese Spanplatten wurden auf einige ihrer physikalisch-technologischen Eigenschaften und die Formaldehydabgabe hin untersucht. Die Ergebnisse sind in *Tab. 4.1.1* zusammengefasst.

4.1.1.2 Herstellung von Recyclingspänen durch mechanische Zerkleinerung des Ausgangsmaterials

Die Herstellung der im Rahmen dieser Untersuchungen verwendeten Recyclingspäne aus dem oben beschriebenen Ausgangsmaterial erfolgte in mehreren Schritten unter Verwendung verschiedener Aggregate. Die Spanplatten wurden zuerst mit einem Hacker (Pallmann PHT 4-5) und danach mittels einer Hammermühle (Bison Typ 85/100, Lochung 6 mm x 20 mm) zu Spänen zerkleinert. Im Anschluss daran wurde das Spanmaterial mit einer Taumelsiebmaschine (Allgaier TSM 1200) fraktioniert. Es wurden hierfür Siebe der Maschenweite 4 mm, 1 mm und 0,2 mm verwendet. Das Spanmaterial der Fraktion ≤ 4 mm, > 1 mm dient in den weiteren Untersuchungen als Mittelschichtspan, die Fraktion ≤ 1 mm, $> 0,2$ mm wird als Deckschichtspan verwendet.

Tab. 4.1.1: physikalisch-technologische Eigenschaften und Formaldehydabgabe (nach der Flaschenmethode) der als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Recyclingspänen verwendeten UF- und PMDI-gebundenen Spanplatten

		UF-gebundene Spanplatte	PMDI-gebundene Spanplatte
Plattendicke [mm]		16,4	16,3
Rohdichte [g/ cm ³]		0,706	0,728
Querzugfestigkeit [N/ mm ²]		0,67	0,89
Biegefestigkeit [N/ mm ²]		14,2	14,5
Dickenquellung [%] nach Wasserlagerungsdauer von	2h	6,1	2,3
	24h	10,5	4,6
Wasseraufnahme [%] nach Wasserlagerungsdauer von	2h	19,6	6,8
	24h	33,7	17,8
Längenänderung [%] durch Änderung der rel. Luftfeuchte von 65% auf	35%	-0,16	-0,15
	85%	0,21	0,20
Dickenänderung [%] durch Änderung der rel. Luftfeuchte von 65% auf	35%	-1,46	-1,54
	85%	4,81	3,59
Gleichgewichtsfeuchte [%] nach Lagerung bei 20°C und einer rel. Luftfeuchte von	35%	6,9	7,0
	65%	9,5	10,0
	85%	14,5	14,9
Formaldehydabgabe [mg/ kg atro Platte] nach einer Prüfdauer von	3h	4,2	1,3
	24h	48,6	7,5

4.1.1.3 Die als Referenzmaterial verwendeten frischen Späne

Für die Fertigung von Laborspanplatten aus frischen, nicht recycelten Spänen, die als Referenz für Recycling-Spanplatten dienten, wurden industriell vorwiegend aus Wald-Nadelholz hergestellte Holzspäne verwendet. Auch diese Späne wurden, wie das verwendete Recycling-spanmaterial, mittels eines Siebanalysegeräts (Retsch KS 1000) zu Deck- ($\leq 1 \text{ mm}$, $> 0,2 \text{ mm}$) und Mittelschichtspänen ($\leq 4 \text{ mm}$, $> 1 \text{ mm}$) fraktioniert.

4.1.2 Charakterisierung der verwendeten Holzspäne

Die Charakterisierung der im Rahmen dieser Untersuchungen verwendeten Holzspäne umfasst Siebanalysen, die Untersuchung der Kaltwasserextrakte hinsichtlich des pH-Wertes und der Pufferkapazität, die Bestimmung des Stickstoffgehalts und der Formaldehydabgabe sowie die Ermittlung des Wasserrückhaltevermögens der verschiedenen Späne.

4.1.2.1 Siebanalysen

Von den hergestellten Recyclingspänen und verwendeten frischen Spänen wurden auf die in *Kap. 3.1.1* beschriebene Weise Siebanalysen angefertigt, deren Ergebnisse in *Abb. 4.1.1* dargestellt werden.

Es wird deutlich, dass sich die Mittelschichtspäne aus UF-Recyclingmaterial und die frischen Mittelschichtspäne in etwa im Verhältnis $\frac{1}{3}$ zu $\frac{2}{3}$ auf die Fraktionen $\leq 4 \text{ mm}$, $> 2 \text{ mm}$ bzw. $\leq 2 \text{ mm}$, $> 1 \text{ mm}$ verteilen. Bei den PMDI-Recyclingspänen entfallen jeweils ca. 50 % der Spanmasse auf die beiden Fraktionen der Mittelschichtspäne.

Auf die Fraktion $\leq 0,5 \text{ mm}$, $> 0,2 \text{ mm}$ des UF- und PMDI-Recyclingmaterials entfallen etwa 20 % bzw. 25 % der Masse der

jeweiligen Deckschichtspäne, während bei den frischen Deckschichtspänen ca. 40 % der Spanmasse in dieser Fraktion zu finden sind.

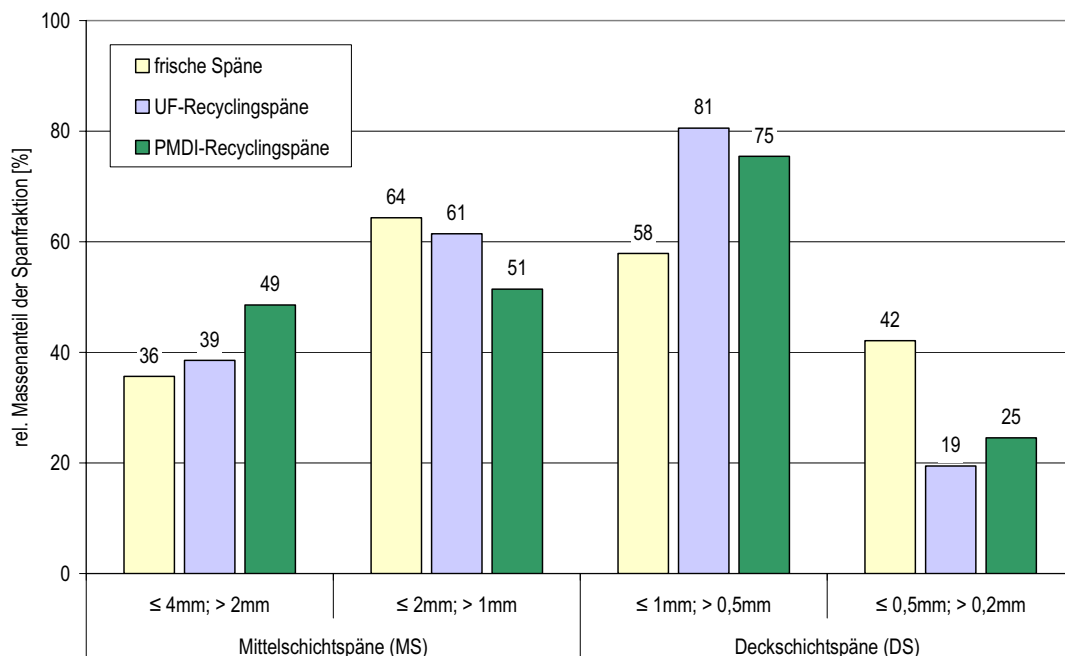


Abb. 4.1.1: Siebanalysen der durch mechanische Zerkleinerung aus UF- und PMDI gebundenen Holzspanplatten hergestellten Recyclingspäne, sowie der verwendeten frischen Späne. Dargestellt sind die relativen Anteile der jeweiligen Spanfraktion an der Masse der Mittel- bzw. Deckschichtspäne

Die Abb. 4.1.2 zeigt die verschiedenen Fraktionen der aus mechanischer Zerkleinerung UF- und PMDI-gebundener Spanplatten gewonnenen Recyclingspäne und der frischen, aus Wald-Nadelholz hergestellten Späne. Es ist zu erkennen, dass die Recyclingspäne in der Fraktion $\leq 4\text{ mm}, > 2\text{ mm}$ noch nicht zu Spänen zerlegte Partikel von eckig bis runder Form enthalten. Diese gegenüber der länglichen Form der frischen Mittelschichtspäne als ungünstig anzusehende Geometrie der Recyclingspäne kann sich zumindest in der Mittelschicht der daraus hergestellten Platten negativ auf deren Eigenschaften auswirken. Bei dem feineren Deckschichtmaterial ($\leq 1\text{ mm}, > 0,2\text{ mm}$) zeigen sich hingegen hinsichtlich der Spangeometrie wesentlich geringere Unterschiede zwischen den frischen Spänen und den Recyclingspänen.

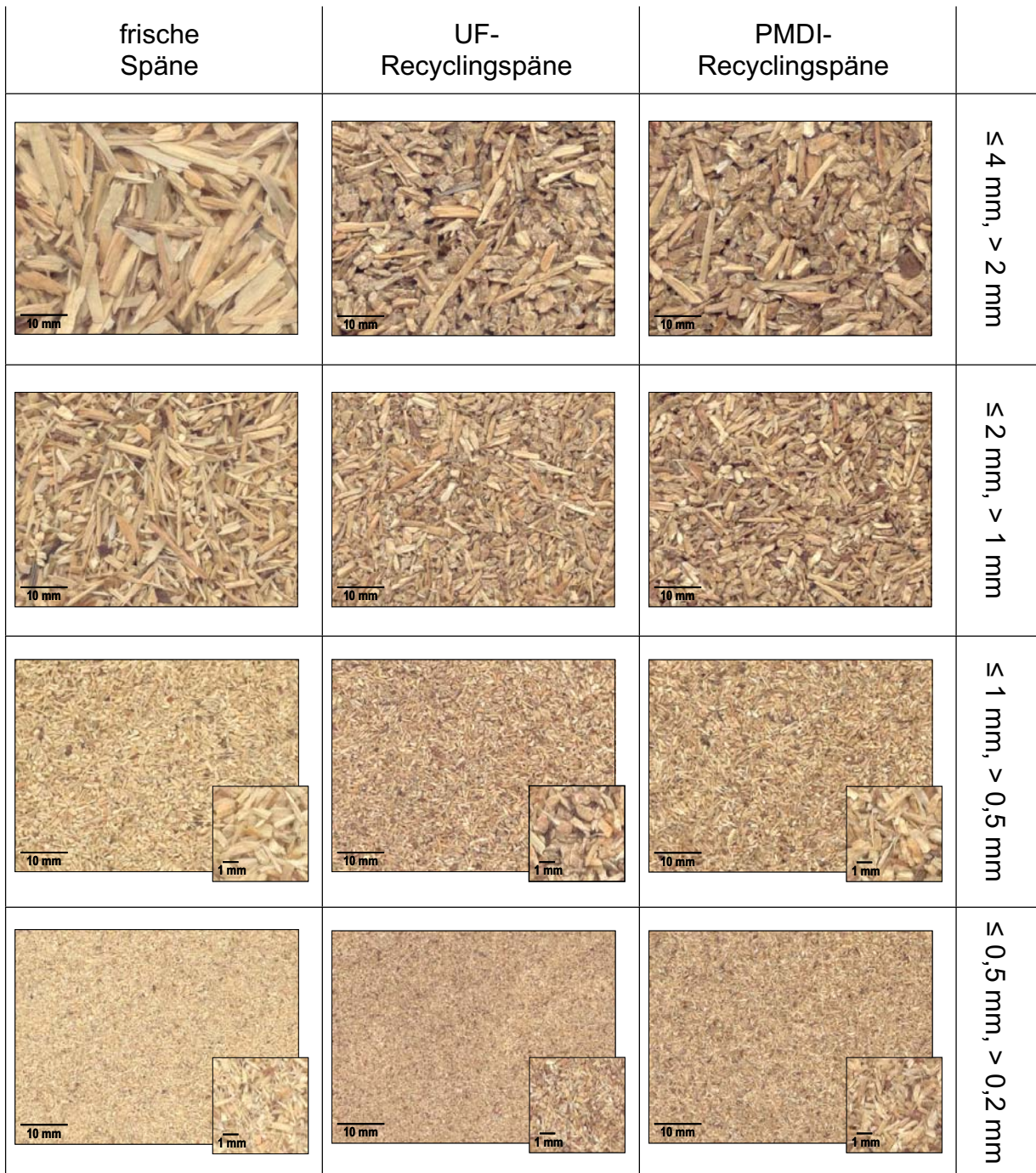


Abb. 4.1.2: Siebfraktionen der durch mechanische Zerkleinerung aus UF- und PMDI gebundenen Holzspanplatten hergestellten Recyclingspäne, sowie der verwendeten frischen Späne. Dargestellt sind die für die Mittelschichten der Laborspanplatten verwendeten Spanfraktionen $\leq 4 \text{ mm}, > 2 \text{ mm}$ und $\leq 2 \text{ mm}, > 1 \text{ mm}$ und die für die Deckschichten eingesetzten Fraktionen $\leq 1 \text{ mm}, > 0,5 \text{ mm}$ und $\leq 0,5 \text{ mm}, > 0,2 \text{ mm}$ (Darstellung mit dreifacher Ausschnittsvergrößerung)

4.1.2.2 pH-Wert und Pufferkapazität des Spanmaterials

Der pH-Wert und die alkalische Pufferkapazität sind als Aciditätsmerkmale des Spanmaterials wichtige verleimungsrelevante Eigenschaften. Die Kenntnis dieser Größen ist bei der Deutung der unterschiedlichen Ausprägung der physikalisch-technologischen Eigenschaften der Laborspanplatten von Nutzen.

Die durch mechanische Zerkleinerung hergestellten Recyclingspäne sowie die verwendeten industriell gefertigten Frischspäne wurden hinsichtlich des pH-Wertes und der alkalischen Pufferkapazität ihrer kaltwässrigen Extrakte untersucht (vgl. Kap. 3.1.4). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abb. 4.1.3 und Abb. 4.1.4 zusammengestellt.

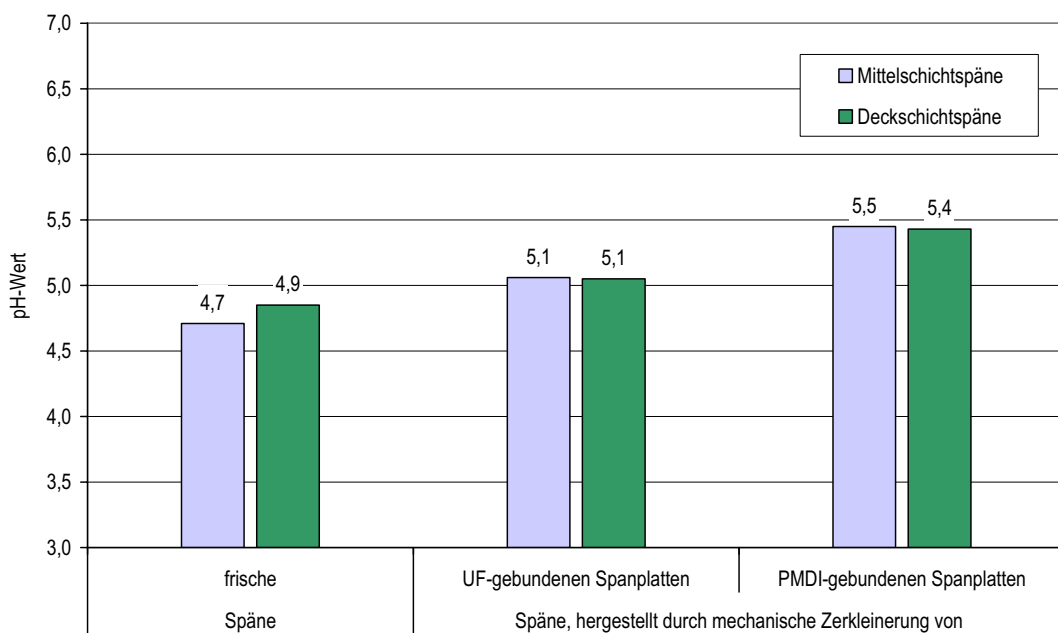


Abb. 4.1.3: pH-Wert der kaltwässrigen Extrakte von frischen Mittel- und Deckschichtspänen sowie von Spänen, gewonnen durch mechanische Zerkleinerung von UF- und PMDI-gebundenen Spanplatten

Die kaltwässrigen Extrakte der UF-Recyclingspäne und mehr noch die der PMDI-Recyclingspäne weisen demnach einen höheren pH-Wert auf als die

kaltwässrigen Auszüge der frischen Späne. Unterschiede im pH-Wert zwischen den Deck- und Mittelschichtspänen werden nur bei den Frischspänen deutlich. Hier zeigen die Deckschichtspäne einen geringfügig höheren pH-Wert als die Mittelschichtspäne. Die Recyclingspäne der Mittel- und Deckschichtfraktion unterscheiden sich hinsichtlich des pH-Wertes hingegen nicht.

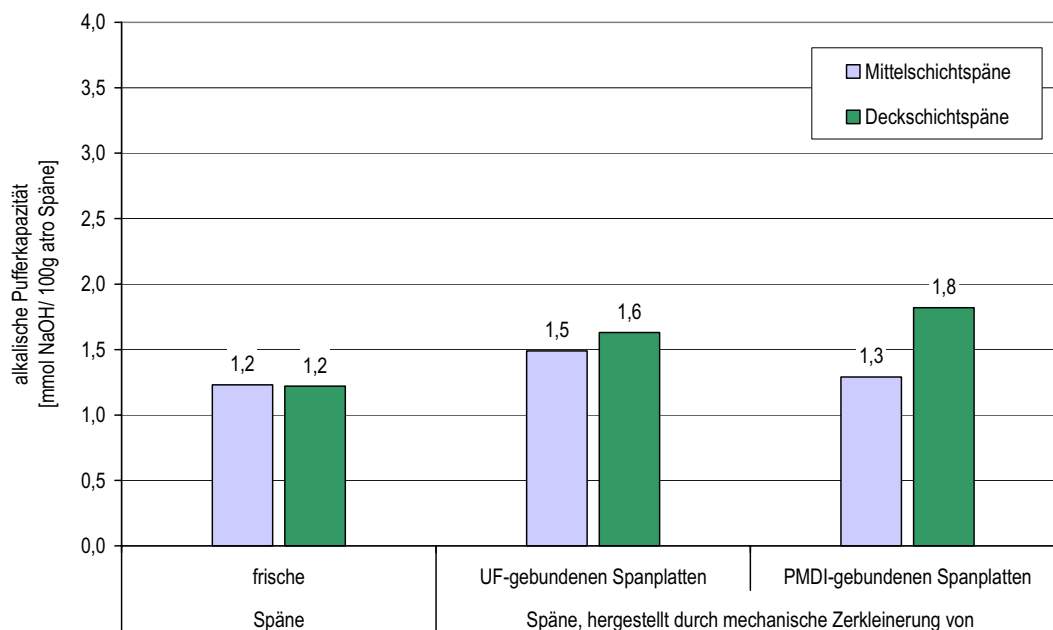


Abb. 4.1.4: alkalische Pufferkapazität der kaltwässrigen Extrakte von frischen Mittel- und Deckschichtspänen sowie von Spänen, gewonnen durch mechanische Zerkleinerung von UF- und PMDI-gebundenen Spanplatten

Die alkalische Pufferkapazität der untersuchten Kaltwasser-Extrakte lassen im Fall der frischen Späne keine Unterschiede zwischen den Deck- und Mittelschichtspänen erkennen. Die Extrakte der UF- und PMDI-Recyclingspäne weisen trotz des vergleichsweise höheren pH-Wertes zum einen eine höhere alkalische Pufferkapazität auf als die der Frischspäne, zum anderen wird eine gegenüber den Auszügen der jeweiligen Mittelschichtspäne etwas höhere alkalische Pufferkapazität der kaltwässrigen Extrakte der Deckschichtspäne deutlich.

4.1.2.3 Stickstoffgehalt des Spanmaterials

Die durch mechanische Zerkleinerung des Ausgangsmaterials hergestellten Recyclingspäne und den industriell hergestellten Frischspäne wurden hinsichtlich ihres Stickstoffgehalts untersucht.

Die in Abb. 4.1.5 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Späne aus den UF-gebundenen Spanplatten den höchsten Stickstoffgehalt aufweisen. Demgegenüber weisen die Späne aus den PMDI-gebundenen Spanplatten einen vergleichsweise niedrigen Stickstoffgehalt auf. Dies überrascht insofern nicht, als der Bindemittelaufwand bei der Herstellung von PMDI-gebundenen Platten in der Industrie je nach Verleimungstyp in der Regel zwischen 3 % und 6 % liegt, während bei der UF-Verleimung ca. 10 % Bindemittel eingesetzt werden und der Stickstoffgehalt von PMDI (ca. 11 %) wesentlich niedriger ist als der von UF-Harzen (ca. 30 % bei einem Molverhältnis U:F von 1:1) .

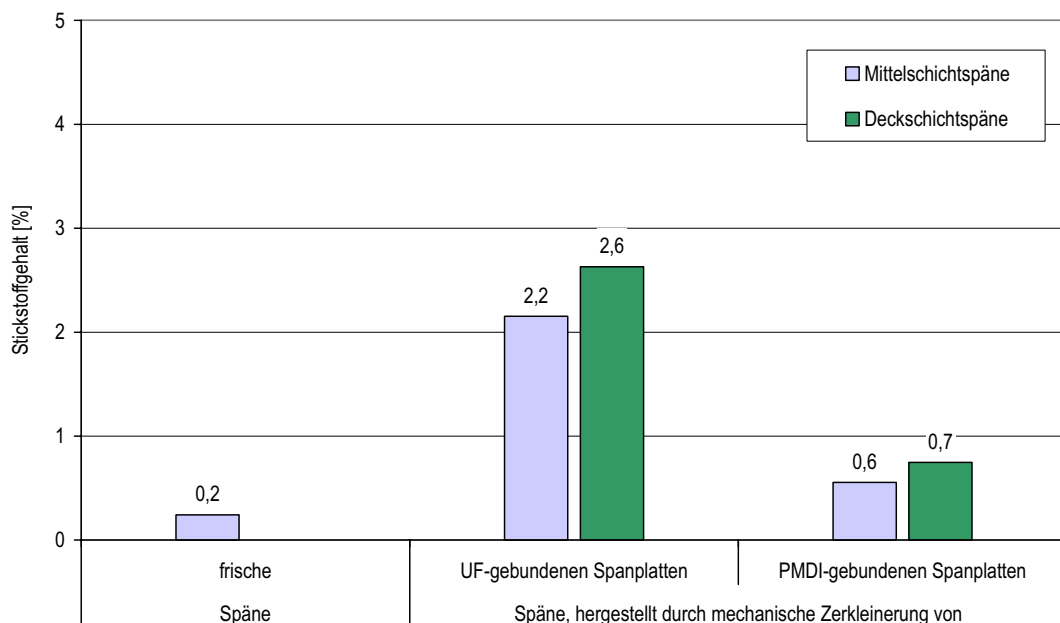


Abb. 4.1.5: Stickstoffgehalt von frischen Mittelschichtspänen sowie von Mittel- und Deckschichtspänen, gewonnen durch mechanische Zerkleinerung von UF- und PMDI-gebundenen Spanplatten

4.1.2.4 Formaldehydabgabe des Spanmaterials

Die Untersuchung der Formaldehydabgabe der durch mechanische Zerkleinerung des Ausgangsmaterials gewonnenen Recyclingspäne und der industriell hergestellten Frischspäne erfolgte mit Hilfe der Flaschenmethode (vgl. Kap. 3.1.3). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abb. 4.1.6 wiedergegeben.

Die dargestellten Ergebnisse lassen erkennen, dass die aus PMDI-gebundenen Spanplatten hergestellten Recyclingspäne nur sehr geringe Mengen an Formaldehyd abgeben. Demgegenüber weisen die UF-Recyclingspäne eine in etwa zehnmal höhere Formaldehydabgabe auf. Dies verwundert nicht, da den PMDI-Recyclingspänen das UF-Harz, das den UF-Recyclingspänen anhaftet, als „Formaldehydquelle“ fehlt.

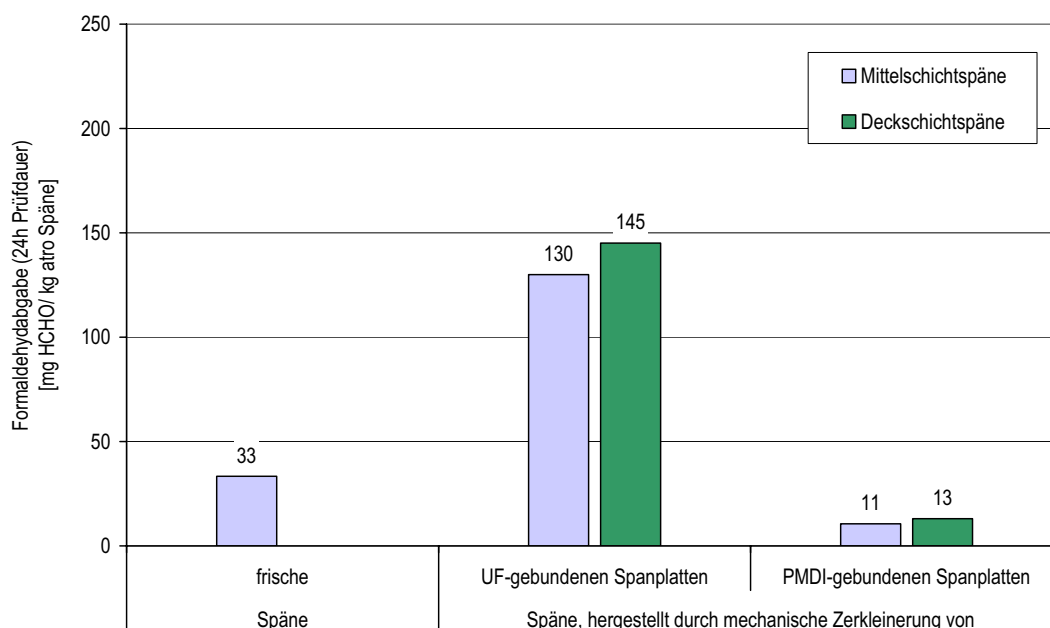


Abb. 4.1.6: Formaldehydabgabe (Flaschenmethode, 24 h Prüfdauer) von frischen Mittelschichtspänen sowie von Mittel- und Deckschichtspänen, gewonnen durch mechanische Zerkleinerung von UF- und PMDI-gebundenen Spanplatten

4.1.2.5 Wasserrückhaltevermögen des Spanmaterials

Wie in Kap. 3.1.6 beschrieben wurde das Wasserrückhaltevermögen (WRV-Wert) der im Rahmen der Untersuchungen durch mechanische Zerkleinerung hergestellten Recyclingspäne und der verwendeten industriell gefertigten Frischspäne bestimmt. Die dabei erzielten Ergebnisse sind in Abb. 4.1.7 dargestellt.

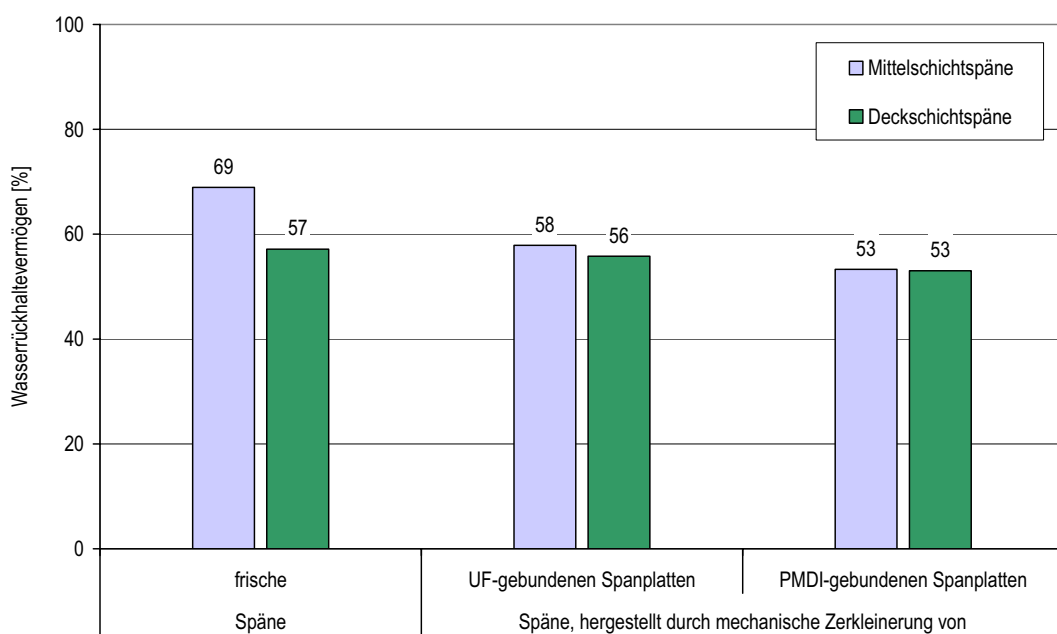


Abb. 4.1.7: Wasserrückhaltevermögen von frischen Mittel- und Deckschichtspänen sowie von Spänen, gewonnen durch mechanische Zerkleinerung von UF- und PMDI-gebundenen Spanplatten

Wie den dargestellten Untersuchungsergebnissen zu entnehmen ist, weisen die durch mechanische Zerkleinerung des Ausgangsmaterials gewonnenen Mittelschicht-Recyclingspäne ein gegenüber den frischen Industriespänen vermindertes Wasserrückhaltevermögen auf. Dies ist auf die Anteile des ursprünglichen Bindemittels und Hydrophobierungsmittels zum einen und auf die thermische Behandlung während des Herstellungsprozesses des Ausgangsmaterials (Spänetrocknung, Heißpresse) zum anderen zurückzuführen. Demgegenüber zeigen die

untersuchten Deckschichtspäne keine deutlichen Unterschiede hinsichtlich des Wasserrückhaltevermögens. Der, wenn auch geringfügig, niedrigere WRV-Wert der feinen Deckschichtspäne gegenüber dem der Mittelschichtspäne dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die Deckschichtspäne mehr Harzanteile mit hydrophoben Eigenschaften enthalten als die Mittelschichtspäne.

4.1.2.6 Gleichgewichtsfeuchte des Spanmaterials

Die Ermittlung der Gleichgewichtsfeuchte der frischen Späne und der durch mechanische Zerkleinerung von UF-gebundenen und PMDI-gebundenen Gebrauchtsanplatten gewonnenen Recyclingspäne erfolgte wie in Kap. 3.1.7 beschrieben. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abb. 4.1.8 dargestellt.

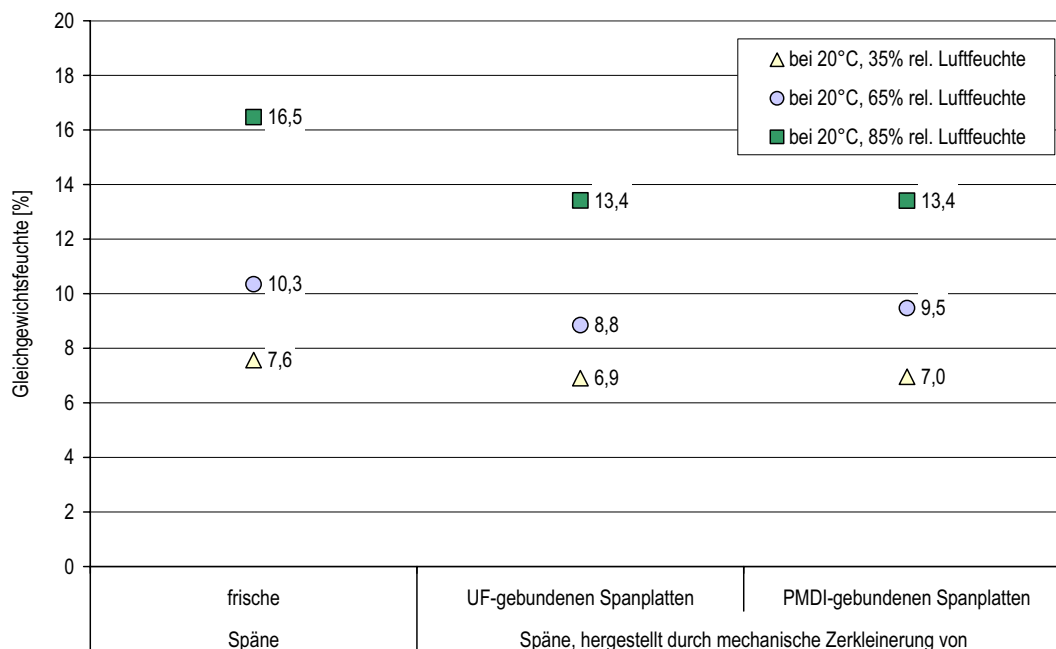


Abb. 4.1.8: Gleichgewichtsfeuchte nach Lagerung bei 35 %, 65 % und 85 % relativer Luftfeuchte von frischen Mittelschichtspänen sowie von Spänen, gewonnen durch mechanische Zerkleinerung von UF- und PMDI-gebundenen Spanplatten

Es ist zu erkennen, dass die Recyclingspäne bei allen drei Klimaten, vor allem im Falle der Klimatisierung bei 20°C und 85 % relativer Luftfeuchte, eine deutlich geringere Gleichgewichtsfeuchte aufweisen als die frischen Späne. Dies ist zum einen durch die geringere Gleichgewichtsfeuchte des den Recyclingspänen anhaftenden „alten“ Bindemittels zu erklären, zum anderen handelt es sich, wie eingangs in *Kap. 2.2.6* beschrieben, um eine Auswirkung der thermischen Behandlung während des Herstellungsprozesses der Spanplatten, die als Ausgangsmaterial für die Herstellung der Recyclingspäne dienten.

4.1.3 Herstellung von UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten

Im Rahmen der Untersuchungen wurden dreischichtige Laborspanplatten hergestellt. Hierbei wurden die zuvor gewonnenen Mittel- und Deckschichtspäne (*vgl. Kap. 4.1.1.2*) sowie die industriell hergestellten Frischspäne (*Kap. 4.1.1.3*) verwendet. Als Bindemittel wurden ein Harnstoff-Formaldehydharz (UF-Harz) und ein Bindemittel auf Basis von 4,4'-Diphenylmethandiisocyanat (PMDI) verwendet. Bei der Beleimung der Mittelschichtspäne mit dem UF-Harz wurde der Bindemittelflotte Ammoniumsulfat in Form einer 40 %igen Lösung als Härtingsbeschleuniger zugegeben. Die Dosierungen der Bindemittel und der übrigen zugegebenen Stoffe sowie die sonstigen Herstellungsbedingungen der verschiedenen Laborspanplatten sind in *Tab. 4.1.2* aufgeführt. Nach der Beleimung des Spanmaterials wurde aus diesem ein dreischichtiger Spankuchen mit 60 % der Spanmasse in der Mittelschicht und 40 % der Masse in den Deckschichten ausgeformt. Die anschließende Vorverdichtung und der darauf folgende Heißpressvorgang sowie auch die Nachbehandlung der hergestellten Platten (Schleifen und Besäumen) wurden entsprechend der in *Kap. 3.2* beschriebenen Vorgehensweise ausgeführt.

Tab. 4.1.2: Herstellungsbedingungen der aus mechanisch zerkleinerten UF- und PMDI-Recyclingspänen und frischen Spänen hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten

		UF	PMDI
Bindemittel/ -aufwand [% atro Span]	DS	Kaurit 350 9 %	Desmodur 1520 A20 5 %
	MS	Kaurit 350 7 %	Desmodur 1520 A20 3,5 %
Härtungsbeschleuniger/ -aufwand [% Festharz]	DS	-	-
	MS	Ammoniumsulfat 3,4 %	-
Hydrophobierungsmittel/ -aufwand [% atro Span]	DS	Paraffin (60 %ige Dispersion) 0,5 %	
	MS		
beleimte Feuchte		~ 8 %	
Solldicke nach Schleifen		19 mm (Distanzleisten 20 mm)	
Sollrohdichte		0,690 g/ cm ³	
Presstemperatur		190 °C	
Presszeit		12 s/ mm	

4.1.4 Eigenschaften der UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen dargestellt, die an den, wie in *Kap. 4.1.3* beschrieben, im Labor aus UF-Recyclingspänen, PMDI-Recyclingspänen und frischen Spänen mit UF-Harz und PMDI als Bindemittel hergestellten Holzspanplatten vorgenommen wurden.

Untersucht wurde dabei neben den Festigkeitseigenschaften vor allem das Verhalten der Platten bei Einwirkung von Feuchtigkeit. So wurden sowohl die Dickenquellung und Wasseraufnahme nach Lagerung im Wasserbad gemäß EN 317, als auch die Dimensionsänderung durch Lagerung bei unterschiedlicher relativer Luftfeuchte in Anlehnung an EN 318 bestimmt. Ferner wurde die Formaldehydabgabe der Platten nach der Flaschenmethode (EN 717-3) bestimmt.

4.1.4.1 Rohdichte

Die hergestellten Spanplatten weisen die in *Tab. 4.1.3* aufgestellten Rohdichten auf. Die angestrebte Sollrohddichte von $0,69 \text{ g/cm}^3$ wurde bei den PMDI-gebundenen Platten aus PMDI-Recyclingspänen ($0,7 \text{ g/cm}^3$) erreicht. Die niedrigsten Rohdichten zeigen die UF-gebundenen Platten aus UF- und PMDI-Recyclingspänen mit Werten von $0,649 \text{ g/cm}^3$ bzw. $0,657 \text{ g/cm}^3$. Die Rohdichte der übrigen Platten liegt zwischen $0,673 \text{ g/cm}^3$ und $0,678 \text{ g/cm}^3$.

Tab. 4.1.3: Rohdichte der aus mechanisch zerkleinerten UF- und PMDI-Recyclingspänen und frischen Spänen hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten

Rohdichte [g/ cm ³]		$\bar{x}$	s
UF-gebundene Spanplatten, hergestellt aus	Frischspänen	0,678	0,030
	UF-Recyclingspänen	0,649	0,022
	PMDI-Recyclingspänen	0,657	0,008
PMDI-gebundene Spanplatten, hergestellt aus	Frischspänen	0,673	0,022
	UF-Recyclingspänen	0,676	0,031
	PMDI-Recyclingspänen	0,700	0,017

$\bar{x}$: arithmetischer Mittelwert, s: Standardabweichung

4.1.4.2 Dickenquellung und Wasseraufnahme

Die in *Abb. 4.1.9* und *Abb. 4.1.10* dargestellten Ergebnisse der Untersuchungen zur Dickenquellung und Wasseraufnahme der hergestellten Laborspanplatten nach 2 Stunden und nach 24 Stunden Wasserlagerung lassen Folgendes erkennen:

Die mit PMDI als Bindemittel hergestellten Laborspanplatten zeigen im Vergleich zu denen, die unter Verwendung eines UF-Harzes hergestellt wurden, generell eine deutlich niedrigere Dickenquellung und geringere Wasseraufnahme.

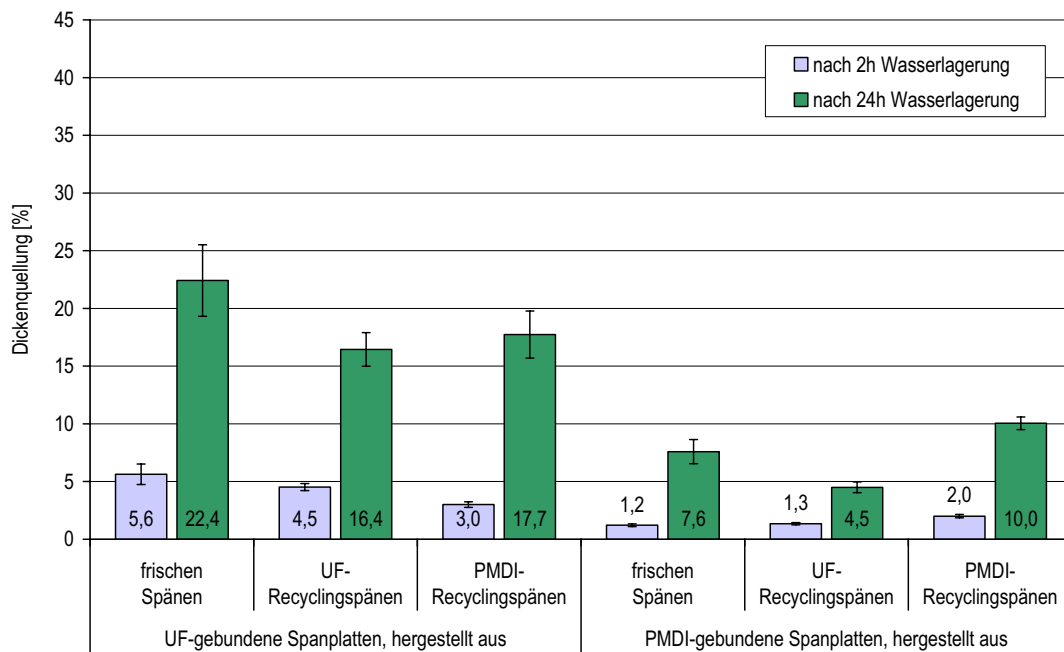


Abb. 4.1.9: Dickenquellung nach 2 h und 24 h Wasserlagerung der aus mechanisch zerkleinerten UF- und PMDI-Recyclingspänen und frischen Spänen hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten

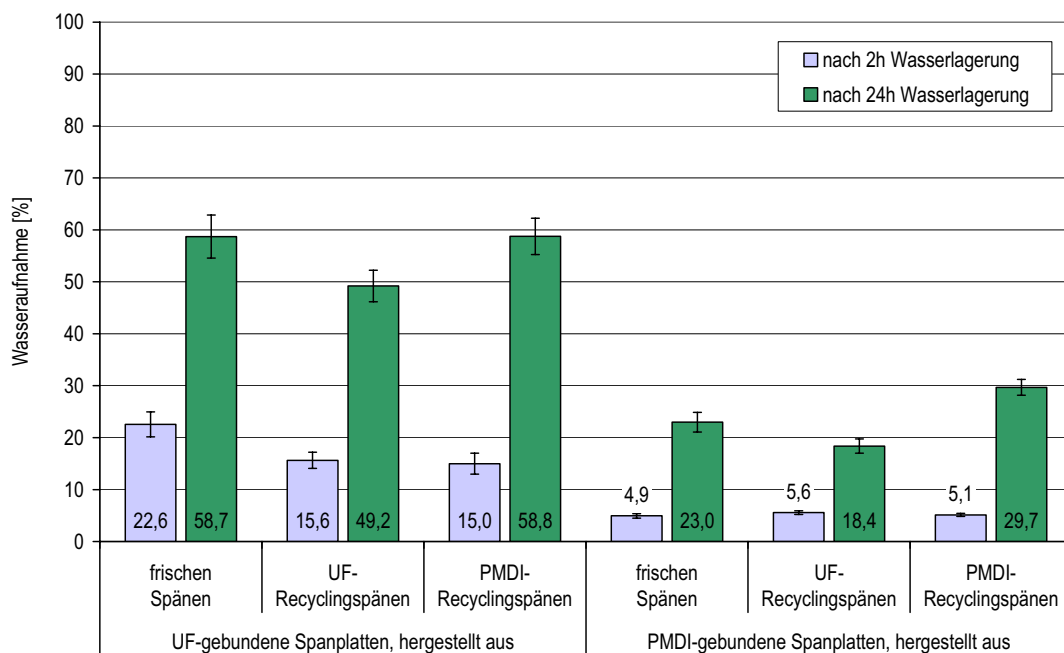


Abb. 4.1.10: Wasseraufnahme nach 2 h und 24 h Wasserlagerung der aus mechanisch zerkleinerten UF- und PMDI-Recyclingspänen und frischen Spänen hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten

Betrachtet man die UF-gebundenen Spanplatten, so ist zu erkennen, dass die Verwendung von UF-Recyclingspänen und auch von PMDI-Recyclingspänen die Dickenquellung nach 24 Stunden Wasserlagerung um 27 % bzw. 21 % gegenüber den aus frischen Spänen hergestellten Platten herabsetzt. Die Wasseraufnahme der UF-gebundenen Platten aus UF-Recyclingspänen nach 24 Stunden Wasserlagerung ist um 16 % geringer als die der entsprechenden Platten aus frischen Spänen. Die UF-gebundenen Platten aus PMDI-Recyclingspänen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Wasseraufnahme nach 24 Stunden Wasserlagerung hingegen nicht von den aus frischen Spänen mit UF-Harz als Bindemittel hergestellten Platten.

Bei den mit PMDI als Bindemittel hergestellten Spanplatten ist die Abnahme der Dickenquellung und der Wasseraufnahme jedoch nur bei denjenigen Platten zu beobachten, die aus UF-Recyclingspänen hergestellt wurden. Hier wird die Dickenquellung nach 24 Stunden Wasserlagerung gegenüber den PMDI-gebundenen Platten aus frischen Spänen um 41 % auf als sehr gering zu bezeichnende Werte von im Mittel 4,5 % vermindert. Im Unterschied hierzu wird die Dickenquellung solcher Platten durch die Verwendung von PMDI-Recyclingspänen um 32 % erhöht. Auch zeigen die aus PMDI-Recyclingspänen mit PMDI als Bindemittel hergestellten Spanplatten eine verglichen mit den PMDI-gebundenen Platten aus frischen Spänen um 29 % höhere Wasseraufnahme nach 24 Stunden Wasserlagerung, während die PMDI-gebundenen Platten aus UF-Recyclingspänen eine um 20 % verminderte Wasseraufnahme aufweisen.

Weiterhin zeigen die mit UF-Harz sowohl aus UF-, als auch aus PMDI-Recyclingspänen hergestellten Spanplatten eine gegenüber den UF-gebundenen Platten aus frischen Spänen um 31 % bzw. 34 % verminderte Wasseraufnahme nach 2 Stunden Wasserlagerung. Im Falle der UF-gebundenen Platten aus PMDI-Recyclingspänen, die sich nach 24 Stunden Wasserlagerung hinsichtlich der Wasseraufnahme nicht von denen aus

frischen Spänen unterscheiden, deutet diese Verzögerung der Wasseraufnahme womöglich auf eine verbesserte Hydrophobierung des Spanmaterials hin.

Die beobachtete Verminderung der Dickenquellung und teilweise auch der Wasseraufnahme durch die Verwendung von Recyclingspänen kann Literaturangaben zufolge durch einen thermischen Vergütungseffekt, den die Recyclingspäne im Zuge des mehrfachen Durchlaufens des Herstellungsprozesses (Trocknen, Heißpressung) erfahren, erklärt werden. So beschreiben KLAUDITZ UND STEGMANN (1951) eine durch eine thermische Behandlung erzielte deutliche Verbesserung der Quellungseigenschaften von Hartfaserplatten. Auch eine thermische Behandlung von Eichen-Spänen erniedrigte die Dickenquellung der daraus hergestellten Spanplatten (TOMEK 1966). Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass der Formaldehyd aus dem den Recyclingspänen anhaftenden Bindemittel mit der Holzsubstanz der Recyclingspäne reagiert und die Späne auf diese Weise hinsichtlich des Quellungsverhaltens vergütet. So beschreibt BURMESTER (1971A) eine Vergütung von Vollholz durch Begasung mit Formaldehyd und erreichte damit eine erhebliche Verringerung der Quellung des Holzes. Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass Recyclingspäne generell ein niedrigeres Wasserrückhaltevermögen aufweisen als frische Späne, was auf den oben beschriebenen doppelten Vergütungseffekt zurückzuführen sein dürfte.

Es kann daher festgehalten werden, dass die Verleimung von UF-Recyclingspänen mit PMDI, den vorliegenden Untersuchungsergebnissen zufolge, hinsichtlich der Dickenquellung und Wasseraufnahme nach Wasserlagerung als besonders vorteilhaft anzusehen ist.

4.1.4.3 Gleichgewichtsfeuchte

In Abb. 4.1.11 ist die Gleichgewichtsfeuchte der untersuchten Holzspanplatten nach einer Klimatisierung der Probekörper bei einer relativen Luftfeuchte von 35 %, 65 % und 85 % dargestellt.

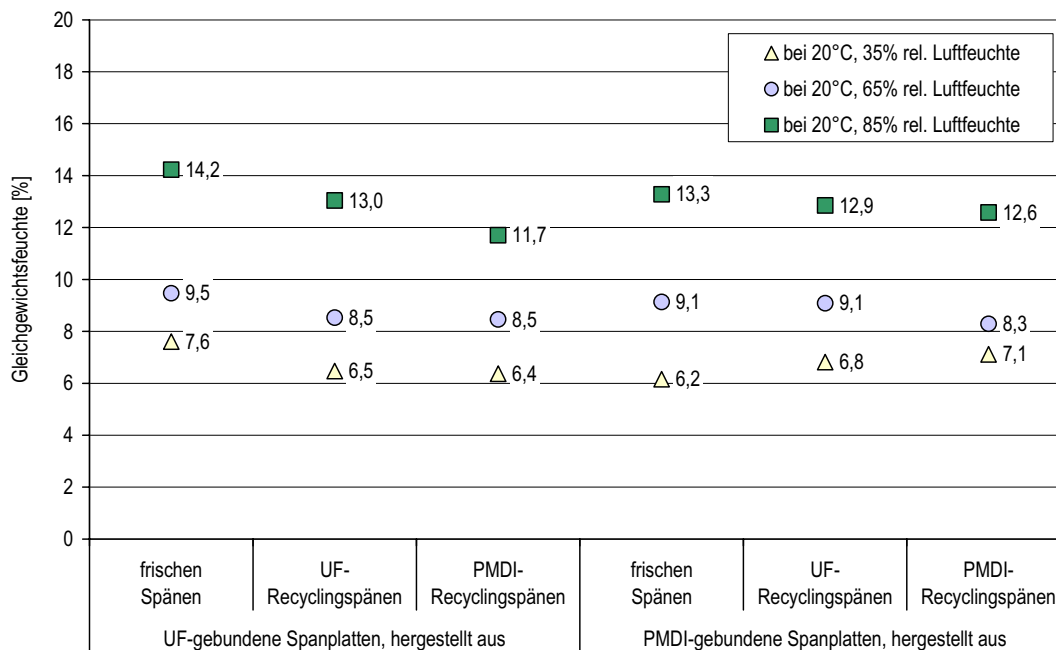


Abb. 4.1.11: Gleichgewichtsfeuchte nach Lagerung bei 65 %, 35 % und 85 % relativer Luftfeuchte. Dargestellt sind die Gleichgewichtsfeuchten der aus mechanisch zerkleinerten UF- und PMDI-Recyclingspänen und frischen Spänen hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten

Betrachtet man die dargestellten Gleichgewichtsfeuchten der UF-gebundenen Spanplatten, so ist zu erkennen, dass die Verwendung von Recyclingspänen die Gleichgewichtsfeuchte unter den drei Klimabedingungen erniedrigt. Dies trifft insbesondere für die Gleichgewichtsfeuchte bei 85 % relativer Luftfeuchte zu. Weiterhin ist bei den UF-gebundenen Spanplatten aus PMDI-Recyclingspänen eine Verminderung des Sorptionsvermögens festzustellen. So ändern diese Platten bei einem Wechsel der relativen Luftfeuchte von 35 % auf 85 % ihre Gleichgewichtsfeuchte um 5,3 %, während die UF-gebundenen

Platten aus frischen Spänen hierauf mit einer Änderung der Gleichgewichtsfeuchte um 6,6 % reagieren.

Auch die PMDI-gebundenen Spanplatten aus PMDI-Recyclingspänen zeigen gegenüber den PMDI-gebundenen Platten aus frischen Spänen ein deutlich geringeres Sorptionsvermögen. Die PMDI-gebundenen Spanplatten aus UF-Recyclingspänen und vor allem diejenigen aus PMDI-Recyclingspänen weisen gegenüber den PMDI-gebundenen Platten aus frischen Spänen eine erhöhte Gleichgewichtsfeuchte im Falle der Lagerung bei 35 % relativer Luftfeuchte auf. Demgegenüber zeigen diese Platten bei Lagerung bei 85 % relativer Luftfeuchte nur eine geringfügig niedrigere Gleichgewichtsfeuchte als die entsprechenden Platten aus frischen Spänen. Insofern unterscheiden sich die Spanplatten aus Recyclingspänen mit PMDI als Bindemittel von den UF-gebundenen, bei denen die Verwendung von Recyclingspänen eine Verringerung der Gleichgewichtsfeuchte bei 35 % und 85 % relativer Luftfeuchte bewirkte.

Die dargestellten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Sorptionseigenschaften der untersuchten Spanplatten von der Art des verwendeten Bindemittels beeinflusst werden. So weisen PMDI-gebundene Platten aus frischen Spänen tendenziell niedrigere Gleichgewichtsfeuchten auf als solche mit einem UF-Harz als Bindemittel. Dies stellten auch ROFFAEL UND SCHNEIDER (1978) fest, die bei Untersuchungen zum Sorptionsverhalten von Holzspanplatten bei relativen Luftfeuchten oberhalb von 40 % eine gegenüber UF-gebundenen Platten niedrigere Gleichgewichtsfeuchte der PMDI-gebundenen Platten ermittelten.

Weiterhin beeinflusst die Art der verwendeten Späne das Sorptionsverhalten der untersuchten Spanplatten. Platten aus Recyclingspänen weisen vor allem in Kombination mit einer PMDI-Verleimung eine verminderte Sorption auf. Da die hier verwendeten Recyclingspäne aus mechanisch zerkleinerten UF- und PMDI-gebundenen Spanplatten

bestehen, kann ihr Sorptionsverhalten näherungsweise mit dem der Ausgangsplatten angenommen werden. SCHNEIDER (1973) fand an mit UF-Harz verleimten Spanplatten bei relativen Luftfeuchten von mehr als 65 % ein gegenüber dem Nadelholz vermindertes Sorptionsvermögen. Die Sorptionsisotherme von PMDI-gebundenen Platten liegt, wie oben erwähnt, noch unter der von Spanplatten mit UF-Harz als Bindemittel (ROFFAEL UND SCHNEIDER 1978). Es ist daher anzunehmen, dass die verwendeten Recyclingspäne ein gegenüber den frischen Spänen eingeschränktes Sorptionsvermögen aufweisen, welches sich auf die daraus hergestellten Spanplatten überträgt. In diesem Zusammenhang sei auch auf das im Rahmen dieser Untersuchungen bestimmte Wasserrückhaltevermögen der verwendeten Späne hingewiesen (*Kap. 4.1.2.5*), das bei den UF- und PMDI-Recyclingspänen deutlich geringere Werte aufweist als bei den frischen Holzspänen.

4.1.4.4 Maßänderung senkrecht zur Plattenebene (Dickenänderung) durch Änderung der relativen Luftfeuchte

Die Maßänderung senkrecht zur Plattenebene – die Dickenänderung – wurde gemäß der in der EN 318 beschriebenen Vorgehensweise bestimmt. Die *Abb. 4.1.12* stellt jeweils die bei der Adsorption (Klimawechsel 65 % nach 85 % rel. Luftfeuchte) und bei der Desorption (Klimawechsel 65 % nach 35 % rel. Luftfeuchte) gemessene Änderung der Probekörperdicke in Relation gesetzt zur Probendicke bei 65 % relativer Luftfeuchte dar.

Aus den dargestellten Untersuchungsergebnissen wird deutlich, wie die Art des verwendeten Bindemittels die Maßänderung senkrecht zur Plattenebene der untersuchten Spanplatten bestimmt. Die mit PMDI als Bindemittel hergestellten Platten aus frischen Spänen wie auch aus Recyclingspänen weisen vor allem im Falle der Adsorption, also der Erhöhung der Plattenfeuchte aufgrund einer Anhebung der relativen

Luftfeuchte auf 85 %, eine wesentlich geringere Zunahme der Plattendicke auf als die UF-gebundenen Platten. Auch UF-gebundene Spanplatten aus PMDI-Recyclingspänen zeigen diese bei den PMDI-gebundenen Platten gefundene geringe Dickenänderung. Zumindest im Bezug auf die hier untersuchte Dickenänderung aufgrund einer Änderung der relativen Luftfeuchte spielt es offensichtlich keine Rolle, ob das PMDI als Bindemittel zur Herstellung der Platte verwendet wird, oder ob es in Form von zerkleinerten PMDI-gebundenen Spanplatten als PMDI-Recyclingspäne in die Platte gelangt.

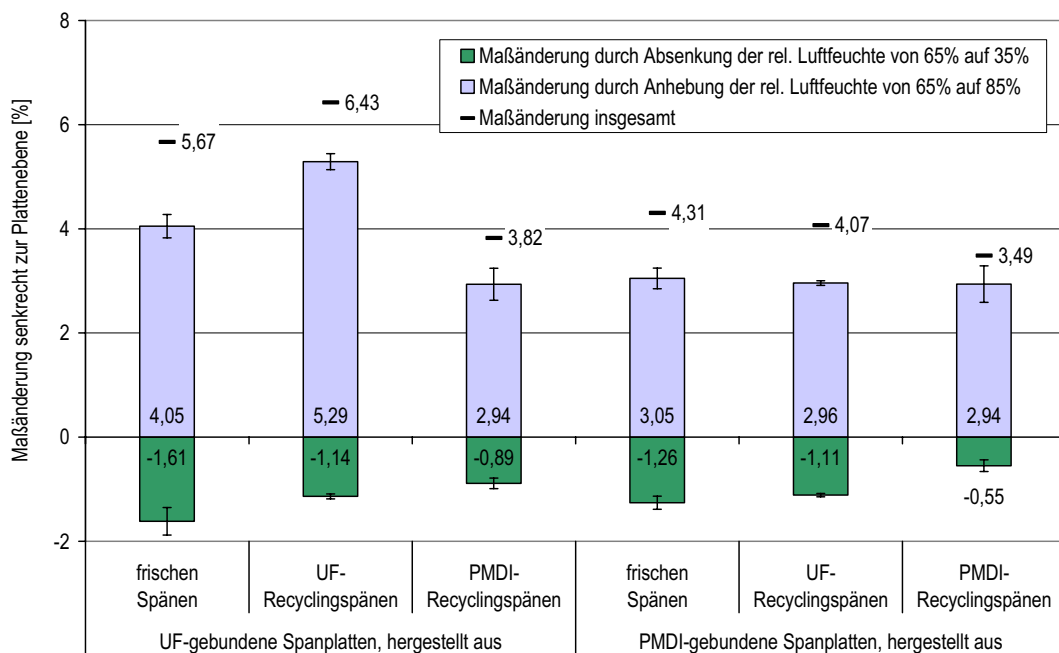


Abb. 4.1.12: Maßänderung senkrecht zur Plattenebene (Dickenänderung) der aus mechanisch zerkleinerten UF- und PMDI-Recyclingspänen und frischen Spänen hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten

Die UF-gebundenen Spanplatten aus frischen Spänen und insbesondere die aus UF-Recyclingspänen zeigen eine wesentlich größere Zunahme der Plattendicke durch die Anhebung der relativen Luftfeuchte von 65 % auf 85 %. Die UF-gebundenen Platten aus UF-Recyclingspänen zeigen eine um 31 % höhere Dickenänderung aufgrund der Adsorption von Feuchte

als die UF-gebundenen Platten aus frischen Spänen. Verglichen mit den PMDI-gebundenen Platten aus UF-Recyclingspänen ist die Dickenänderung sogar um 79 % höher.

Im Falle der Desorption, also der Abnahme der Plattenfeuchte und damit einhergehend der Plattendicke aufgrund einer Absenkung der relativen Luftfeuchte von 65 % auf 35 %, ist der Einfluss des verwendeten Bindemittels nicht derart deutlich. Hier ist jedoch ein Unterschied zwischen den Platten aus frischen Spänen und solchen aus Recyclingspänen zu verzeichnen. Die aus UF- und vor allem aus PMDI-Recyclingspänen hergestellten Platten zeigen eine deutlich geringer Abnahme der Plattendicke bei einer Absenkung der relativen Luftfeuchte von 65 % auf 35 %.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass hinsichtlich der untersuchten Dickenänderung aufgrund einer Änderung der relativen Luftfeuchte die Verwendung von UF-Recyclingspänen bei der Herstellung von Holzspanplatten in Kombination mit einer PMDI-Verleimung von Vorteil ist. Die Verwendung von PMDI-Recyclingspänen wirkt sich sowohl bei UF- als auch bei PMDI-gebundenen Platten positiv auf die Dickenänderung aus.

Bei der Maßänderung von Holzspanplatten in Folge von Änderungen der relativen Luftfeuchte spielen neben den Sorptionseigenschaften auch die Qualität der Verleimung, der Plattenaufbau und die Gestalt der verwendeten Späne eine entscheidende Rolle. Untersuchungen von RANTA (1978) belegen, dass relativ große, länglich geformte Späne durch ihre herstellungsbedingte Orientierung in Plattenebene bei der Verleimung zum Verbund Spanplatte eine Sperrwirkung entwickeln, die die sorptionsbedingte Quellung und Schwindung begrenzt. Senkrecht zur Plattenebene jedoch kommt die aufgrund der Anisotropie des Holzes ohnehin stärkere Quellung und Schwindung in tangentialer und radialer Richtung zum

Faserverlauf des Holzes voll zum tragen. Durch die Verwendung kleinerer, gedrungener geformter Späne nimmt der Orientierungsgrad der Späne, den Untersuchungsergebnissen von RANTA (1978) zufolge ab, was dazu führt, dass die Maßänderung in Plattenebene zunimmt, senkrecht dazu jedoch abnimmt. Hieraus ergibt sich für die Erzeugung der beschriebenen Sperrwirkung die Notwendigkeit einer belastbaren Verleimung der Späne, um die beim Quellen und Schwinden auftretenden Kräfte auffangen zu können. Dieser Zusammenhang erklärt die im Rahmen dieser Untersuchungen gefundene hohe Dickenänderung der UF-gebundenen Laborspanplatten aus UF-Recyclingspänen. In diesem Fall hält die Verleimung mit UF-Harz den Maßänderungsbestrebungen der Späne nicht stand, was sich auch in der geringen Querkzugfestigkeit (*vgl. Kap. 4.1.4.6*) niederschlägt. Die Verleimung der gleichen Späne mit PMDI führt hingegen zu vergleichsweise geringen Dickenänderungen wie auch zu einer deutlich höheren Querkzugfestigkeit.

4.1.4.5 Maßänderung in Plattenebene (Längenänderung) durch Änderung der relativen Luftfeuchte

Die Erfassung der Maßänderung in Plattenebene der hergestellten Spanplatten (im Folgenden Längenänderung genannt) erfolgte in Anlehnung an EN 318. In *Abb. 4.1.13* ist sowohl die Schrumpfung durch den Klimawechsel von 65 % rel. Luftfeuchte auf 35 % rel. Luftfeuchte, als auch die Dehnung beim Klimawechsel von 65 % rel. Luftfeuchte auf 85 % rel. Luftfeuchte als relative Maßänderung bezogen auf die Probekörperlänge bei 65 % rel. Luftfeuchte wiedergegeben.

Betrachtet man zuerst einmal die gesamte Längenänderung, also die Summe der Beträge von Schrumpfung und Dehnung, so ist festzustellen, dass die mit UF-Harz und PMDI als Bindemittel hergestellten Spanplatten aus Recyclingspänen eine deutlich höhere Längenänderung aufweisen als die entsprechenden Platten aus frischen Spänen. Dies ist mit der

Geometrie der Späne zu erklären. Die verwendeten frischen Späne zeigen eine deutlich längliche Form, während die UF- und PMDI-Recyclingspäne, verursacht durch die mechanische Zerkleinerung, deutlich kürzer sind. In der Spanplatte sind die Späne zumindest in der Plattenebene weitgehend zufällig angeordnet, was bei der Verwendung von langen Spänen zu einer kreuzweisen Verleimung relativ vieler verschiedener Späne untereinander führt, die die beim Quellen und Schwinden entstehenden Kräfte teilweise absperren können (RANTA 1978). Die Recyclingspäne hingegen werden aufgrund ihrer geringeren Länge mit wesentlich weniger Überlappungen verleimt, wodurch die Vernetzung der Späne untereinander und damit auch die oben beschriebene Sperrwirkung weitaus weniger ausgeprägt sind. Demzufolge erhöht sich die sorptionsbedingte Maßänderung in der Plattenebene.

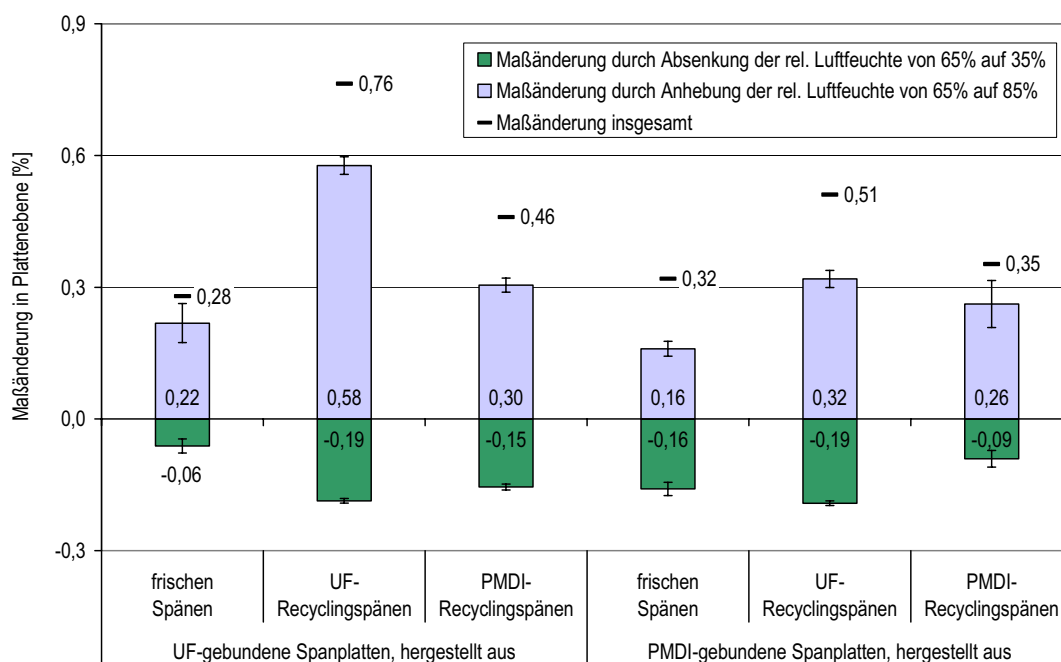


Abb. 4.1.13: Maßänderung in Plattenebene (Längenänderung) der aus mechanisch zerkleinerten UF- und PMDI-Recyclingspänen und frischen Spänen hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten

Weiterhin wird deutlich, dass die UF- und PMDI-gebundenen Platten aus frischen Spänen sich hinsichtlich ihrer Gesamtlängenänderung mit Werten von 0,28 % und 0,32 % nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Das Bindemittel allein ist demnach nicht ausschlaggebend für das Ausmaß der Längenänderung.

Eine weitere interessante Feststellung ist hinsichtlich der Spanplatten aus UF-Recyclingspänen zu treffen. Zeigen diese Platten im Falle einer UF-Verleimung eine Gesamtlängenänderung von 0,76 %, so weisen Platten aus den gleichen Spänen mit PMDI verleimt eine Gesamtlängenänderung von 0,51 %, also in etwa ein Drittel weniger als die UF-verleimten auf. Vor dem Hintergrund der zuvor getroffenen Feststellung, dass sich bei den Platten aus frischen Spänen die UF-gebundenen von denen mit PMDI als Bindemittel kaum unterscheiden, erscheint die Verleimung von UF-Recyclingspänen mit PMDI als besonders vorteilhaft.

4.1.4.6 Querzugfestigkeit

Die Ergebnisse der gemäß der EN 319 durchgeführten Untersuchungen zur Querzugfestigkeit sind in *Abb. 4.1.14* zusammengestellt. Daraus wird ersichtlich, dass die Querzugfestigkeit der aus UF- und PMDI-Recyclingspänen hergestellten Holzspanplatten geringer ist als die Querzugfestigkeit der jeweiligen Platten aus frischen Spänen.

So zeigen die UF-gebundenen Spanplatten aus UF-Recyclingspänen eine um 65 % geringere Querzugfestigkeit als die mit einem UF-Harz als Bindemittel aus frischen Spänen hergestellten Platten. Werden die UF-Recyclingspäne mit PMDI verleimt, so beträgt der Abfall der Querzugfestigkeit gegenüber den PMDI-gebundenen Platten aus frischen Spänen nur 21 %. Es zeigt sich somit, dass die Verleimung von UF-Recyclingspänen mit einem UF-Harz zu Platten mit einer stark

verminderten Querkzugfestigkeit führt, während dieser Festigkeitsverlust bei der Verwendung von PMDI als Bindemittel für UF-Recyclingspäne weitaus geringer ausfällt.

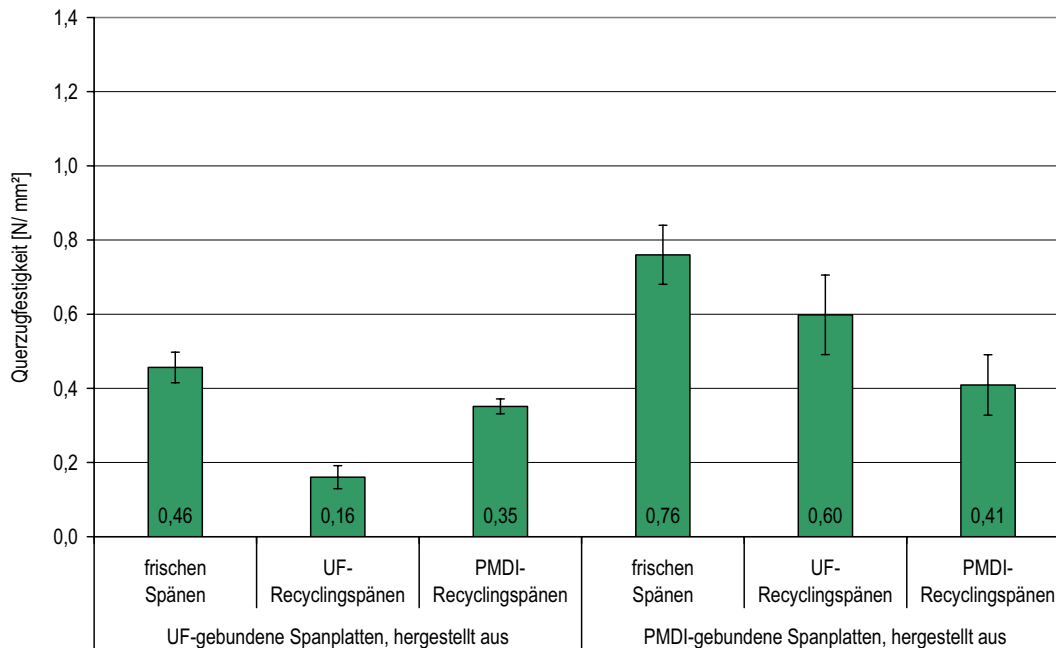


Abb. 4.1.14: Querkzugfestigkeit der aus mechanisch zerkleinerten UF- und PMDI-Recyclingspänen und frischen Spänen hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten

Bei der Verwendung von PMDI-Recyclingspänen zeigt sich, dass bei der Verleimung mit einem UF-Harz die Querkzugfestigkeit gegenüber den Platten aus frischen Spänen um 24 % sinkt. Im Falle der Verleimung von PMDI-Recyclingspänen mit PMDI verringert sich die Querkzugfestigkeit verglichen mit den Platten aus frischen Spänen um 46 %. Demnach bleibt die Aussage, wonach PMDI bei der Verleimung von Recyclingspänen zu Platten mit einer gegenüber der Bindung mit UF-Harz höheren Querkzugfestigkeit führt, auf die Verleimung von UF-Recyclingspänen beschränkt.

4.1.4.7 Formaldehydabgabe

Die Formaldehydabgabe wurde nach der Flaschenmethode gemäß EN 717-3 mit einer Prüfdauer von 3 und 24 Stunden bestimmt.

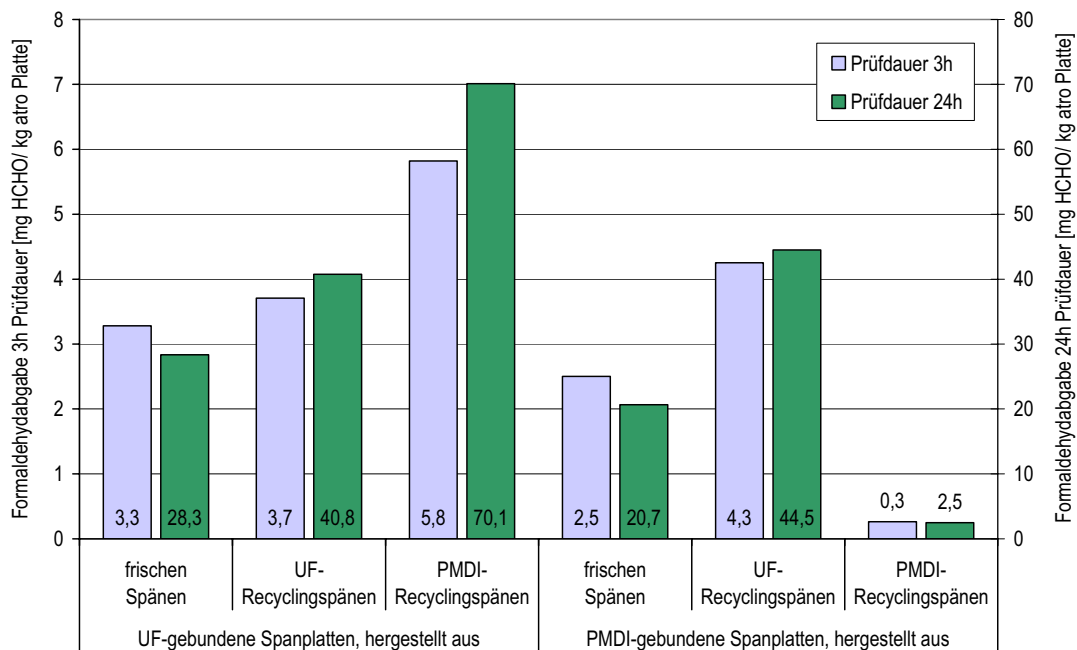


Abb. 4.1.15: Formaldehydabgabe (Flaschenmethode, 3 h- und 24 h-Werte) der aus mechanisch zerkleinerten UF- und PMDI-Recyclingspänen und frischen Spänen hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborspanplatten

Die in Abb. 4.1.15 zusammengestellten Ergebnisse lassen erkennen, dass die UF-gebundenen Platten aus frischen Spänen und diejenigen aus UF-Recyclingspänen, sowie die PMDI-gebundenen Platten aus UF-Recyclingspänen sich in ihrer Formaldehydabgabe nach 3 Stunden Prüfdauer nicht wesentlich unterscheiden. Dies steht in Einklang mit von ROFFAEL (1978) veröffentlichten Untersuchungsergebnissen, nach denen die Formaldehydabgabe von mit UF-Harz gebundenen Holzspanplatten nicht in zwingendem Zusammenhang mit der eingesetzten Bindemittelmenge steht. Auch Untersuchungen von FLEISCHER (2001) ergaben eine geringere Formaldehydabgabe, bestimmt nach der Flaschenmethode, von Spanplatten aus thermohydrolytisch aufgeschlossenen Recyclingspänen

verglichen mit Platten aus frischen Spänen. Bei der Messung nach 24 Stunden Prüfdauer zeigt sich jedoch eine etwas geringere Formaldehydabgabe bei den UF-gebundenen Platten aus frischen Spänen. Eine etwas höhere Formaldehydabgabe weisen die UF-gebundenen Platten aus PMDI-Recyclingspänen auf. Insgesamt kann festgehalten werden, dass Spanplatten, die ein UF-Harz entweder als Bindemittel oder in Form von UF-Recyclingspänen enthalten, eine in etwa gleiche Formaldehydabgabe aufweisen.

Die aus PMDI-Recyclingspänen mit PMDI als Bindemittel hergestellten Platten zeigen eine wesentlich geringere Formaldehydabgabe (ca. Faktor 10) als alle anderen Platten. Dies überrascht nicht, da das Bindemittel bei der erneuten Verleimung von PMDI-Recyclingspänen mit PMDI als Formaldehydquelle fehlt.

Die vergleichsweise hohe Formaldehydabgabe der PMDI-gebundenen Platten aus frischen Spänen deutet auf das Vorhandensein von Anteilen an Recyclingmaterial auch in diesen Spänen hin, was sich durch die Tatsache erklären lässt, dass es sich hierbei um industriell gefertigtes Spanmaterial handelt, das Produktionsreste wie Schleifstäube enthalten kann.

4.1.5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der dargestellten Untersuchungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Aus UF-Recyclingspänen hergestellte Spanplatten zeigen bei der Verwendung von UF-Harz als Bindemittel und vor allem im Falle der PMDI-Verleimung eine deutlich geringere Dickenquellung und Wasseraufnahme als die vergleichbaren Platten aus frischen Spänen.

- Die Änderung der Gleichgewichtsfeuchte der aus den Recyclingspänen gefertigten Spanplatten bei einem Wechsel der relativen Luftfeuchte ist geringer als die von Platten, die aus frischen Spänen hergestellt wurden. Dies trifft insbesondere auf die aus PMDI-Recyclingspänen hergestellten Platten zu.
- Die Maßänderung der Spanplatten bei Änderung der relativen Luftfeuchte der Umgebungsluft ist bei der Verwendung von UF-Recyclingspänen sowohl in Plattenebene als auch senkrecht dazu ausgeprägter als bei den vergleichbaren Platten aus frischen Spänen. Die aus PMDI-Recyclingspänen hergestellten Platten zeigen bei der Verleimung mit UF-Harz und vor allem bei der Verwendung von PMDI als Bindemittel deutlich geringere Maßänderungen als die aus UF-Recyclingspänen hergestellten Platten.
- Die Querkzugfestigkeit der aus UF- und PMDI-Recyclingspänen hergestellten Spanplatten ist geringer als die der aus frischen Spänen hergestellten Platten. Dies ist bei den Platten aus mit UF-Harz verleimten UF-Recyclingspänen besonders ausgeprägt.
- Aus UF-Recyclingspänen mit UF-Harz und PMDI als Bindemittel hergestellte Spanplatten und aus UF-verleimten frischen Spänen gefertigte Platten zeigen eine in etwa gleich hohe Formaldehydabgabe. Die Verwendung von UF-Recyclingspänen führt nicht zwangsläufig zu einer erhöhten Formaldehydabgabe.

4.2 Untersuchungen zum Einfluss der Verwendung von Recyclingfasern auf die Eigenschaften von UF- und PMDI-gebundenen Holzfaserplatten

Ziel der in diesem Abschnitt dargestellten Arbeiten war es, den Einfluss der Verwendung von Recyclingfasern bei der Herstellung von Holzfaserplatten auf die Gebrauchseigenschaften, insbesondere auf die Dimensionsstabilität und die Quellungseigenschaften der Faserplatten zu untersuchen. Es wurden hierzu industriell hergestellte, mit einem Harnstoff-Formaldehyd-Harz (UF-Harz) gebundene Holzfaserplatten thermohydrolytisch zu Recyclingfasern aufgeschlossen. Die so gewonnenen Recyclingfasern, sowie industriell nach dem TMP-Verfahren aus Nadelholz gefertigte frische Fasern wurden hinsichtlich einiger chemischer und physikalischer Eigenschaften charakterisiert. Anschließend wurden aus dem Fasermaterial UF- und PMDI-gebundene Laborfaserplatten hergestellt und auf ihre Gebrauchseigenschaften hin untersucht. Die Vorgehensweise bei der Herstellung der Recyclingfasern und der Laborfaserplatten sowie die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen werden in diesem Abschnitt dargestellt.

4.2.1 Das verwendete Fasermaterial

4.2.1.1 Das Ausgangsmaterial für die Herstellung der Recyclingfasern

Für die Herstellung der im Rahmen dieser Untersuchungen verwendeten Recyclingfasern wurden industriell unter Verwendung eines UF-Harzes gefertigte Holzfaserplatten als Ausgangsmaterial eingesetzt, die hinsichtlich ihrer physikalisch-technologischen Eigenschaften und der Formaldehydabgabe untersucht wurden. Die Ergebnisse sind in *Tab. 4.2.1* zusammengefasst.

Tab. 4.2.1: physikalisch-technologische Eigenschaften, Formaldehydabgabe (nach der Flaschenmethode) und Stickstoffgehalt der als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Recyclingfasern verwendeten Faserplatten

		UF-gebundene Faserplatte
Plattendicke [mm]		7,1
Rohdichte [g/ cm ³]		0,838
Querzugfestigkeit [N/ mm ²]		0,77
Biegefestigkeit [N/ mm ²]		44,9
Dickenquellung [%]	2 h	1,6
nach Wasserlagerungsdauer von	24 h	6,5
Wasseraufnahme [%]	2 h	4,2
nach Wasserlagerungsdauer von	24 h	16,2
Längenänderung [%]	35 %	-0,11
durch Änderung der	85 %	0,12
rel. Luftfeuchte von 65 % auf		
Dickenänderung [%]	35 %	-0,82
durch Änderung der	85 %	3,71
rel. Luftfeuchte von 65 % auf		
Gleichgewichtsfeuchte [%]	35 %	6,5
nach Lagerung bei 20 °C und	65 %	7,9
einer rel. Luftfeuchte von	85 %	12,0
Formaldehydabgabe	3 h	3,3
[mg/ kg atro Platte]	24 h	37,7
nach einer Prüfdauer von		
Stickstoffgehalt [%]		5,7
Bindemittelgehalt [%]		17,3
hergeleitet aus dem Stickstoffgehalt		

4.2.1.2 Herstellung von Recyclingfasern durch thermohydrolytischen Aufschluss des Ausgangsmaterials

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens verwendeten Recycling-Holzfaseren wurden durch thermohydrolytischen Aufschluss aus industriell gefertigten, UF-gebundenen Holzfaserplatten gewonnen. Nach einer groben Vorzerkleinerung der Holzfaserplatten wurde das Material in einem Hochdruckautoklaven (Zirbus HDA 25/40) unter den in *Tab. 4.2.2* aufgeführten Bedingungen aufgeschlossen.

Tab. 4.2.2: Bedingungen des thermohydrolytischen Aufschlusses von Faserplatten zur Herstellung von Recyclingfasern

Aufschlusstemperatur	130 °C
Aufschlussdauer	1 h
Flottenverhältnis	Faserplatte 1 : 6 Wasser
NaOH-Zugabe	1 % NaOH bezogen auf atro Faserplatte

Die Zugabe von 1 % Natriumhydroxid bezogen auf die Trockenmasse der aufzuschließenden Faserplatte entspricht einem Aufschluss mittels einer 0,17 %igen NaOH-Lösung und soll die Aufschließbarkeit des verwendeten Ausgangsmaterials verbessern und damit die Ausbeute an Recyclingfasern erhöhen. Genau genommen handelt es sich hierbei also um einen chemothermohydrolytischen Aufschluss, jedoch wird im Rahmen dieser Arbeit der Begriff „thermohydrolytisch“ verwendet.

Nach dem Aufschluss wurden die Recyclingfasern mittels einer Wäscheschleuder (Miele WZ 268) bis zu einem Feuchtegehalt von ca. 130 % entwässert und mit einer Stiftmühle (Pallmann PXL 18) aufgelockert, um noch vorhandene Faserklumpen aufzulösen. Die

anschließende Trocknung der gewonnenen Recyclingfasern erfolgte im Trockenschrank (Memmert Mod. 800) bei 70 °C.

4.2.1.3 Die als Referenzmaterial verwendeten frischen Fasern

Für die Fertigung von Laborfaserplatten aus frischem, nicht recyceltem Fasermaterial, die als Referenz für die Recycling-Faserplatten dienten, wurden industriell vorwiegend aus Kiefernholz nach dem TMP-Verfahren hergestellte Holzfasern verwendet.

4.2.2 Charakterisierung der verwendeten Holzfasern

Bei der Charakterisierung der verwendeten Holzfasern wurden der pH-Wert und die Pufferkapazität der kaltwässrigen Extrakte bestimmt, der Stickstoffgehalt, das Wasserrückhaltevermögen und die Formaldehydabgabe ermittelt und die Gleichgewichtsfeuchte der Faserstoffe bei unterschiedlichen relativen Luftfeuchten bestimmt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der folgenden *Tab. 4.2.3* zusammengestellt. Die *Abb. 4.2.1* zeigt die hier verwendeten industriell gefertigten frischen Fasern und die durch thermohydrolytischen Aufschluss von Gebrauchtfaserplatten gewonnenen Recyclingfasern.

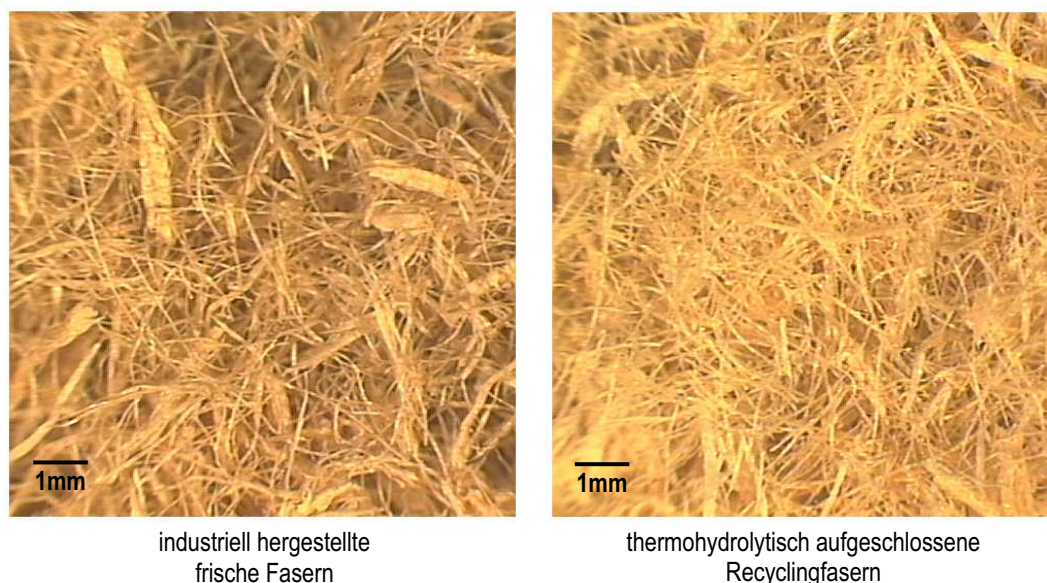


Abb. 4.2.1: Vergrößerte Aufnahme der im Rahmen der Untersuchungen verwendeten frischen Fasern (links) und durch thermohydrolytischen Aufschluss erzeugten Recyclingfasern (rechts)

Tab. 4.2.3: chemische und physikalische Eigenschaften der hergestellten Recyclingfasern

		frische Fasern	Recyclingfasern
pH-Wert der kaltwässrigen Extrakte		3,85	6,61
alkalische Pufferkapazität der kaltwässrigen Extrakte [mmol NaOH/ 100 g atro Fasern]		3,27	0,27
Stickstoffgehalt [%]		0,05	4,60
Formaldehydabgabe (Flaschenmethode 24h Prüfdauer) [mg/ kg atro Faser]		19,8	200,1
Wasserrückhaltevermögen [%] (WRV-Wert)		89,2	78,3
Gleichgewichtsfeuchte [%] nach Lagerung bei 20°C und einer rel. Luftfeuchte von	35 %	6,7	6,6
	65 %	9,1	9,5
	85 %	15,2	16,2

4.2.2.1 pH-Wert und Pufferkapazität des Fasermaterials

Die kaltwässrigen Extrakte der untersuchten Recyclingfasern, die durch thermohydrolytischen Aufschluss von UF-gebundenen Faserplatten gewonnen wurden, weisen den in *Tab. 4.2.3* aufgestellten Ergebnissen zufolge einen deutlich höheren pH-Wert auf als die Auszüge der frischen Fasern. Die alkalische Pufferkapazität der kaltwässrigen Auszüge ist dementsprechend bei den Recyclingfasern weitaus niedriger als bei den frischen Fasern. Diese deutliche Anhebung des pH-Wertes kommt zum einen durch die Zugabe von Natriumhydroxid beim Aufschluss zustande, zum anderen jedoch heben, FRANKE UND ROFFAEL (1998A, 1998B) zufolge, der im Zuge des thermohydrolytischen Abbaus des Bindemittels freiwerdenden Harnstoff und das aus dessen Umwandlung freigesetzte Ammoniak den pH-Wert an.

4.2.2.2 Stickstoffgehalt des Fasermaterials

Die durch Thermohydrolyse gewonnenen Recyclingfasern und die industriell hergestellten Frischfasern wurden auf ihren Stickstoffgehalt hin untersucht (*vgl. Kap. 3.1.5*). Den in *Tab. 4.2.3* dargestellten Ergebnisse zufolge, weisen die durch Thermohydrolyse aus den UF-gebundenen Faserplatten gewonnenen Recyclingfasern einen um den Faktor 100 höheren Stickstoffgehalt auf als die direkt aus „frischem“ Holz hergestellten Fasern. Dies ist auf die den Recyclingfasern noch anhaftenden Anteile an Bindemittel zurückzuführen. Vergleicht man den Stickstoffgehalt der Recyclingfasern mit dem des Ausgangsmaterials (siehe *Tab. 4.2.1*) so wird deutlich, dass große Teile des ursprünglichen Bindemittels noch im Recyclingfaserstoff enthalten sind.

4.2.2.3 Formaldehydabgabe des Fasermaterials

Die in *Tab. 4.2.3* aufgeführten Ergebnisse der nach der Flaschenmethode (vgl. *Kap. 3.1.3*) durchgeführten Bestimmung der Formaldehydabgabe der hergestellten Recyclingfasern und der frischen Fasern industrieller Herkunft lassen eine etwa zehnmal höhere Formaldehydabgabe der Recyclingfasern erkennen. Dies ist wie schon bei den Untersuchungen zum Stickstoffgehalt auf das den Recyclingfasern anhaftende ursprüngliche Bindemittel zurückzuführen.

4.2.2.4 Wasserrückhaltevermögen des Fasermaterials

Es wurde, wie in *Kap. 3.1.6* beschrieben, das Wasserrückhaltevermögen (WRV-Wert) der im Rahmen der Untersuchungen hergestellten Recyclingfasern und der verwendeten industriell gefertigten frischen Fasern bestimmt. Die ermittelten WRV-Werte sind ebenfalls in *Tab. 4.2.3* aufgeführt. Demnach weisen die Recyclingfasern ein gegenüber den frischen Fasern deutlich geringeres Wasserrückhaltevermögen auf. Verantwortlich hierfür sind die Anteile an Bindemittel aus dem Ausgangsmaterial, die ein geringeres Wasserrückhaltevermögen aufweisen als die Holzfasern und so entsprechend ihres Massenanteils den WRV-Wert absenken. Auch ist nicht auszuschließen, dass die wiederholte thermische Behandlung der Recyclingfasern, die zwangsläufig im Zuge der Herstellung der Ausgangsplatten und auch bei der Gewinnung der Recyclingfasern teilweise mit einer Einwirkung von Formaldehyd aus dem Bindemittel stattfindet, eine hydrophobierende Wirkung auf den Recyclingfaserstoff hat, wie sie bei ONÍŠKO UND PAWLICKI (1985) beschrieben ist.

4.2.2.5 Gleichgewichtsfeuchte des Fasermaterials

Die Gleichgewichtsfeuchten der hier verwendeten frischen Fasern und der erzeugten Recyclingfasern bei den untersuchten relativen Luftfeuchten von 35 %, 65 % und 85 % (Vorgehensweise vgl. *Kap. 3.1.7*) sind in *Tab. 4.2.3* aufgeführt. Es zeigt sich, dass die frischen Fasern vor allem bei einer relativen Luftfeuchte von 85 % eine geringere Gleichgewichtsfeuchte aufweisen als die Recyclingfasern. Dieses vor dem Hintergrund der Ergebnisse der zuvor untersuchten Recyclingspäne unvermutete Resultat ist womöglich auf das während des Aufschlusses beigegebene stark hygroskopisch wirkende Alkali zurückzuführen. Diese Annahme wird durch das verglichen mit den frischen Fasern geringere Wasserrückhaltevermögen der Recyclingfasern gestützt (vgl. *Kap. 4.2.2.4*). Während bei der Bestimmung des WRV-Wertes das Alkali beim Abschleudern weitgehend entfernt wird (vgl. *Kap. 3.1.6*), verbleibt es bei der Ermittlung der Gleichgewichtsfeuchte jedoch auf der Faser und beeinflusst insbesondere im Bereich hoher relativer Luftfeuchte das Sorptionsverhalten der Recyclingfasern. Verglichen mit den frischen Holzspänen (*Kap. 4.1.2.6*) zeigt sich, dass die frischen Fasern eine demgegenüber deutlich herabgesetzte Gleichgewichtsfeuchte aufweisen. Dies ist auf den eingangs diskutierten Einfluss des thermo-mechanischen Holzaufschlusses auf die chemisch-physikalischen Eigenschaften der erzeugten Holzfasern zurückzuführen (vgl. *Kap. 2.2.5*).

4.2.3 Herstellung von UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten

Es wurden im Rahmen der Untersuchungen einschichtige Laborfaserplatten mit einer Solldicke von 7 mm hergestellt. Hierbei wurden die zuvor hergestellten Recyclingfasern (vgl. *Kap. 4.2.1.2*) sowie die industriell hergestellten frischen Nadelholz-Fasern verwendet. Als Bindemittel wurden ein geringfügig melaminverstärktes Harnstoff-Formaldehydharz

(UF-Harz) und ein Bindemittel auf Basis von 4,4'-Diphenylmethandiisocyanat (PMDI) verwendet. Die Beleimung der Fasern mit dem jeweiligen Bindemittel und die Einbringung des Hydrophobierungsmittels erfolgten in der in *Kap. 3.2* beschriebenen Weise. Bei den UF-Harzgebundenen Platten wurde dem Bindemittel Harnstoff in Form einer 37 %igen Lösung als Formaldehydfänger zugesetzt. Als Härtingsbeschleuniger wurde dem UF-Harz Ammoniumsulfat als 40%ige Lösung beigegeben. Die verwendeten Bindemitteldosierungen und die übrigen Herstellungsbedingungen der verschiedenen Laborfaserplatten werden in *Tab. 4.2.4* wiedergegeben.

Tab. 4.2.4: Herstellungsbedingungen der aus UF-Recyclingfasern und frischen Fasern hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten

	UF	PMDI
Bindemittel/ -aufwand [% atro Span]	Kauritec 405 12 %	Desmodur 1520 A20 5 %
Härtungsbeschleuniger/ -aufwand [% Festharz]	Ammoniumsulfat 4 %	-
Formaldehydfänger/ -aufwand [% Festharz]	Harnstoff 4 %	-
Hydrophobierungsmittel/ -aufwand [% atro Span]	Paraffin (60 %ige Dispersion) 0,5 %	
beleimte Feuchte	~ 12 %	~ 8 %
Solldicke nach Schleifen	7 mm (Distanzleisten 8 mm)	
Sollrohddichte	0,850 g/ cm ³	
Presstemperatur	190 °C	
Presszeit	60 s/ mm	

Nach der Beleimung wurden mittels einer Stiftmühle (Pallmann PXL 18) Faser-Agglomerate, die während der Beleimung entstehen können, aufgelöst. Die anschließende Ausformung des Faserkuchens, die Vorverdichtung und der darauf folgende Heißpressvorgang sowie auch die Nachbehandlung der hergestellten Platten (Schleifen und Besäumen) wurden entsprechend der in *Kap. 3.2* beschriebenen Vorgehensweise ausgeführt.

4.2.4 Eigenschaften der UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen dargestellt, die an den zuvor im Labor aus Recyclingfasern und frischen Fasern aus Nadelholz mit UF-Harz und PMDI als Bindemittel hergestellten Holzfaserplatten vorgenommen wurden. Bestimmt wurden dabei die Rohdichte der hergestellten Platten (EN 323), die Querkzug- und Biegefestigkeit (EN 319, EN 310), die Dickenquellung und Wasseraufnahme nach Lagerung im Wasserbad (EN 317) und die Dimensionsänderung durch Lagerung bei unterschiedlicher relativer Luftfeuchte (EN 318). Weiterhin wurde die Formaldehydabgabe der Platten nach der Flaschenmethode (EN 717-3) bestimmt.

4.2.4.1 Rohdichte

In der *Tab. 4.2.5* sind die ermittelten Rohdichten der im Labor aus den Recyclingfasern und den frischen Nadelholzfaserplatten zusammengestellt. Die angestrebte Sollrohndichte von $0,85 \text{ g/cm}^3$ wurde bei den Platten aus frischen Fasern bei der Bindung mit PMDI ($0,854 \text{ g/cm}^3$) und bei mit UF-Harz ($0,864 \text{ g/cm}^3$) erreicht. Die Platten aus Recyclingfasern hingegen weisen bei beiden Bindemitteln eine etwas geringere Rohdichte auf ($0,825 \text{ g/cm}^3$ bzw. $0,827 \text{ g/cm}^3$).

Tab. 4.2.5: Rohdichte der aus UF-Recyclingfasern und frischen Fasern hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten

Rohdichte [g/ cm ³]		$\bar{x}$	s
UF-gebundene Faserplatten, hergestellt aus	Frischfasern	0,864	0,054
	UF-Recyclingfasern	0,825	0,033
PMDI-gebundene Faserplatten, hergestellt aus	Frischfasern	0,854	0,039
	UF-Recyclingfasern	0,827	0,059

$\bar{x}$: arithmetischer Mittelwert, s: Standardabweichung

4.2.4.2 Dickenquellung und Wasseraufnahme

In den *Abb. 4.2.2* und *Abb. 4.2.3* sind die Ergebnisse der Untersuchungen zur Dickenquellung und Wasseraufnahme der hergestellten Laborfaserplatten nach 2 Stunden und nach 24 Stunden Wasserlagerung dargestellt.

Den Darstellungen ist zu entnehmen, dass die mit PMDI als Bindemittel hergestellten Laborfaserplatten im Vergleich zu denen, die unter Verwendung eines UF-Harzes hergestellt wurden, eine deutlich niedrigere Dickenquellung und geringere Wasseraufnahme aufweisen.

Betrachtet man die UF-gebundenen Faserplatten, so ist zu erkennen, dass die Verwendung von Recyclingfasern die Dickenquellung nach 2 Stunden Wasserlagerung um 191 % und nach 24 Stunden um 152 % gegenüber den aus frischen Fasern hergestellten Platten erhöht. Die Wasseraufnahme der UF-gebundenen Platten aus Recyclingfasern nach 2 Stunden und nach 24 Stunden Wasserlagerung ist um 291 % bzw. 169 % höher als die der entsprechenden Platten aus frischen Fasern.

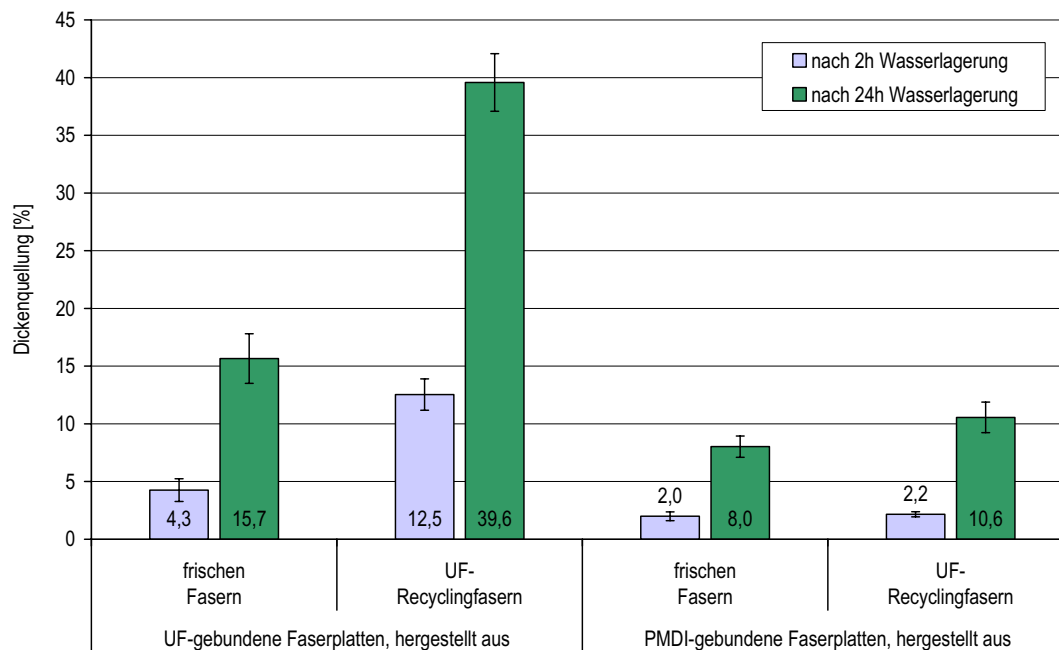


Abb. 4.2.2: Dickenquellung nach 2 h und 24 h Wasserlagerung der aus Recyclingfasern und frischen Fasern hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten

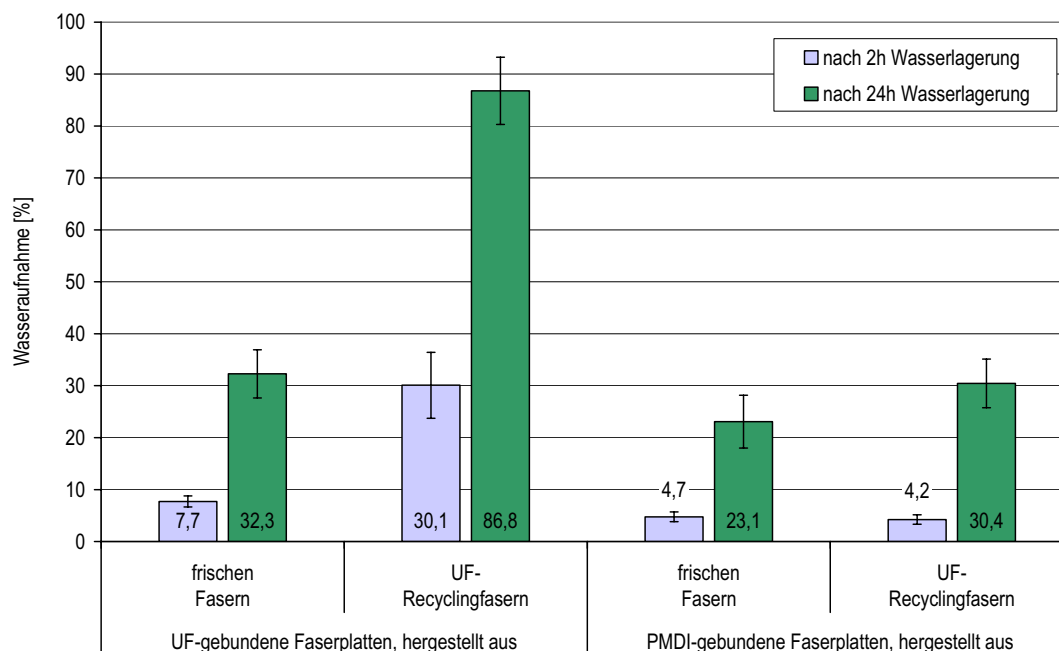


Abb. 4.2.3: Wasseraufnahme nach 2 h und 24 h Wasserlagerung der aus Recyclingfasern und frischen Fasern hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten

Bei den mit PMDI als Bindemittel hergestellten Faserplatten sind nach 2 Stunden Wasserlagerung keine wesentlichen Unterschiede in der Dickenquellung und der Wasseraufnahme zwischen den Platten aus Recyclingfasern und frischen Fasern zu erkennen. Nach 24 Stunden Wasserlagerung weisen die aus Recyclingfasern hergestellten PMDI-gebundenen Faserplatten eine um 33 % größere Dickenquellung und eine um 32 % höhere Wasseraufnahme auf.

Die aus Recyclingfasern hergestellten Laborfaserplatten weisen demnach eine höhere Wasseraufnahme und Dickenquellung auf als die entsprechenden Platten aus frischen Fasern. Jedoch fällt dieser Anstieg der Dickenquellung und Wasseraufnahme bei den mit PMDI aus Recyclingfasern hergestellten deutlich geringer aus als bei den mit UF-Harz gebundenen Platten.

4.2.4.3 Gleichgewichtsfeuchte

Die Gleichgewichtsfeuchte der untersuchten Holzfaserplatten nach einer Klimatisierung der Probekörper bei einer relativen Luftfeuchte von 65 %, 35 % und 85 % ist in der *Abb. 4.2.4* dargestellt.

Betrachtet man die dargestellten Gleichgewichtsfeuchten der UF-gebundenen Laborfaserplatten, so ist zu erkennen, dass die Verwendung von Recyclingfasern die Gleichgewichtsfeuchte bei allen drei Klimaten erniedrigt. Diese Verminderung der Gleichgewichtsfeuchte aufgrund der Verwendung von Recyclingfasern anstelle von frischen Fasern tritt bei der Klimatisierung bei 35 % und 65 % relativer Luftfeuchte auch bei den PMDI-gebundenen Laborfaserplatten auf. Demgegenüber zeigen diese Platten bei Lagerung bei 85 % relativer Luftfeuchte eine geringfügig höhere Gleichgewichtsfeuchte als die entsprechenden Platten aus frischen Fasern.

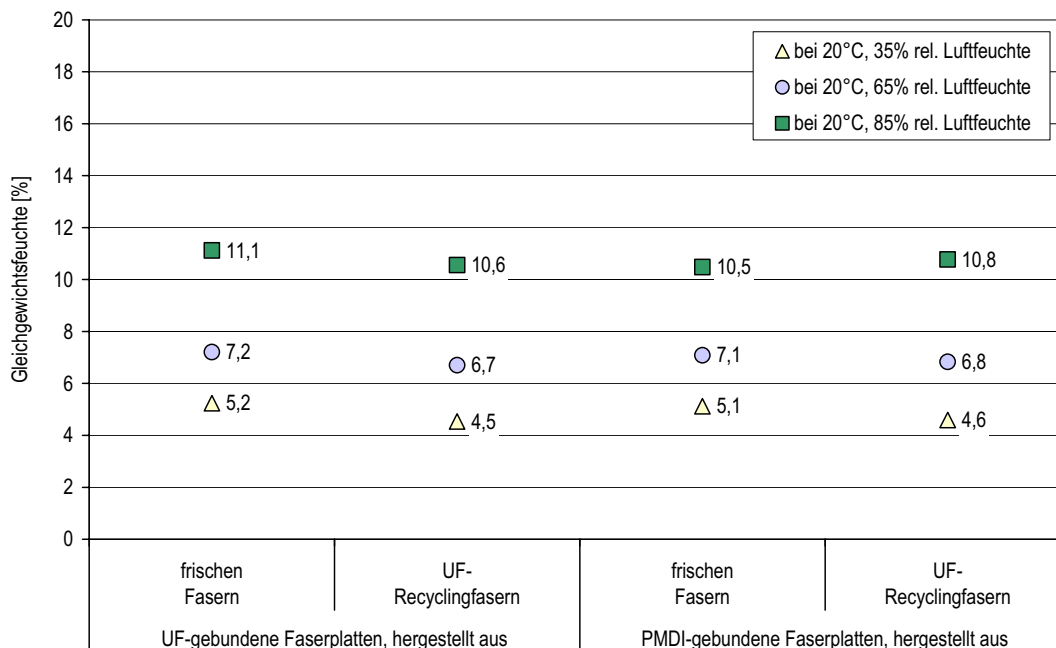


Abb. 4.2.4: Gleichgewichtsfeuchte nach Lagerung bei 65 %, 35 % und 85 % relativer Luftfeuchte. Dargestellt sind die Gleichgewichtsfeuchten der aus Recyclingfasern und frischen Fasern hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten

Verglichen mit den aus frischen Fasern hergestellten UF-gebundenen Laborfaserplatten zeigen die aus den gleichen Fasern gefertigten PMDI-gebundenen Platten eine geringere Gleichgewichtsfeuchte bei der Klimatisierung bei 85 % relativer Luftfeuchte. ROFFAEL UND SCHNEIDER (1978) beschreiben ein gegenüber UF-gebundenen Holzspanplatten vermindertes Sorptionsvermögen von PMDI-gebundenen Platten im Bereich hoher relativer Luftfeuchte. Dieses wurde auch bei den im Rahmen dieser Untersuchungen hergestellten Laborspanplatten festgestellt (*vgl. Kap. 4.1.4.3*). Den hier dargestellten Ergebnissen zufolge ist dieses Verhalten auch bei PMDI-gebundenen Holzfaserplatten anzutreffen. Die gegenüber den Platten aus frischen Fasern höhere Gleichgewichtsfeuchte der Platten aus Recyclingfasern bei 85 % relativer Luftfeuchte ist womöglich auf die Zugabe von Natriumhydroxid während des Aufschlusses zurückzuführen, dessen Hydrophilie den beschriebenen

Einfluss des Bindemittels im Bereich hoher relativer Luftfeuchte überlagert (vgl. ROFFAEL UND SCHNEIDER 1978).

4.2.4.4 Maßänderung senkrecht zur Plattenebene (Dickenänderung) durch Änderung der relativen Luftfeuchte

Die Bestimmung der Maßänderung senkrecht zur Plattenebene erfolgte gemäß der EN 318. Die Abb. 4.2.5 gibt jeweils die bei der Adsorption (Klimawechsel 65 % nach 85 % rel. Luftfeuchte) und bei der Desorption (Klimawechsel 65 % nach 35 % rel. Luftfeuchte) gemessene Änderung der Probekörperdicke in Relation gesetzt zur Probendicke bei 65 % relativer Luftfeuchte wieder.

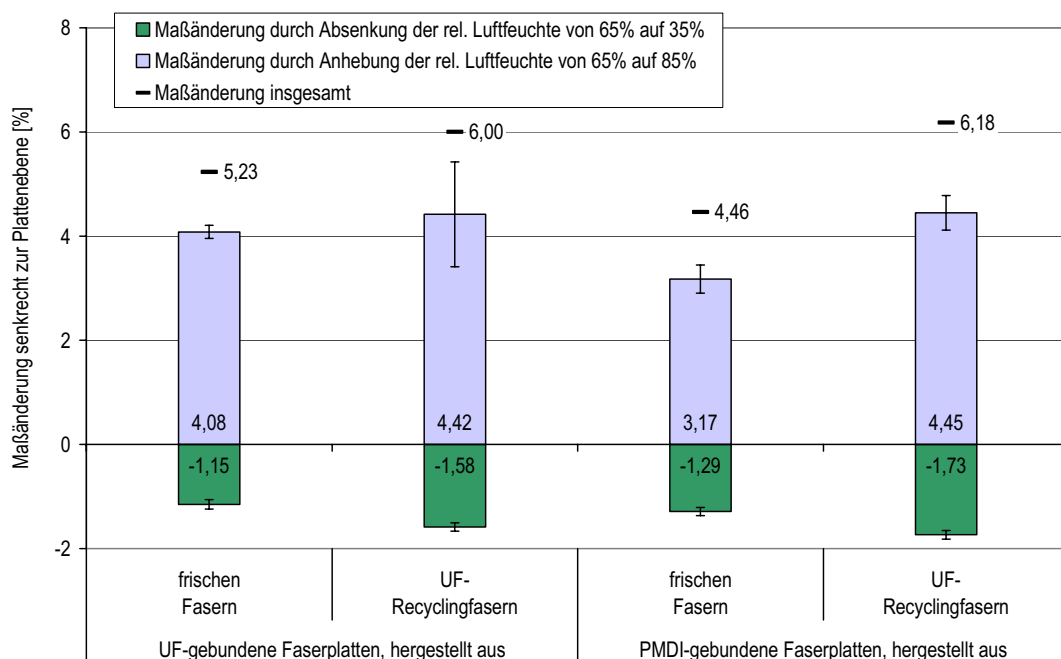


Abb. 4.2.5: Maßänderung senkrecht zur Plattenebene (Dickenänderung) der aus Recyclingfasern und frischen Fasern hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten

Es ist den dargestellten Untersuchungsergebnissen zu entnehmen, dass die aus frischen Fasern mit UF-Harz und PMDI als Bindemittel

hergestellten Laborfaserplatten sowohl beim Absenken der relativen Luftfeuchte von 65 % auf 35 %, als auch bei einer Anhebung der Luftfeuchte auf 85 % eine geringere Dickenänderung als die entsprechenden Platten aus Recyclingfasern aufweisen. Die insgesamt betrachtet (Schrumpfung + Dehnung) mit 4,46 % geringste Dickenänderung zeigen die PMDI-gebundenen Platten aus frischen Fasern. Die mit 6,18 % größte Dickenänderung weisen die PMDI-gebundenen Platten aus Recyclingfasern auf. Insgesamt bewirken die hier verwendeten Recyclingfasern gegenüber den frischen Fasern eine Erhöhung der Dickenänderung bei Änderung der relativen Luftfeuchte.

4.2.4.5 Maßänderung in Plattenebene (Längenänderung) durch Änderung der relativen Luftfeuchte

Die Erfassung der Maßänderung in Plattenebene der hergestellten Laborfaserplatten erfolgte nach EN 318. In *Abb. 4.2.6* ist sowohl die Schrumpfung durch den Klimawechsel von 65 % rel. Luftfeuchte auf 35 % rel. Luftfeuchte, als auch die Dehnung beim Klimawechsel von 65 % rel. Luftfeuchte auf 85 % rel. Luftfeuchte als relative Maßänderung bezogen auf die Probekörperlänge bei 65 % rel. Luftfeuchte wiedergegeben.

Die dargestellten Ergebnisse lassen, anders als bei den zuvor untersuchten Spanplatten, keine deutlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Laborfaserplatten erkennen. Die gesamte Längenänderung der untersuchten Platten liegt zwischen 0,24 % und 0,27 % und verteilt sich jeweils etwa hälftig auf die Schrumpfung und Dehnung. Diese im Vergleich zu den zuvor behandelten Holzspanplatten sehr geringen Längenänderungen der untersuchten Faserplatten lassen sich auf die Partikelgeometrie bzw. auf die Auflösung des Holzgefüges durch den Aufschluss zurückführen.

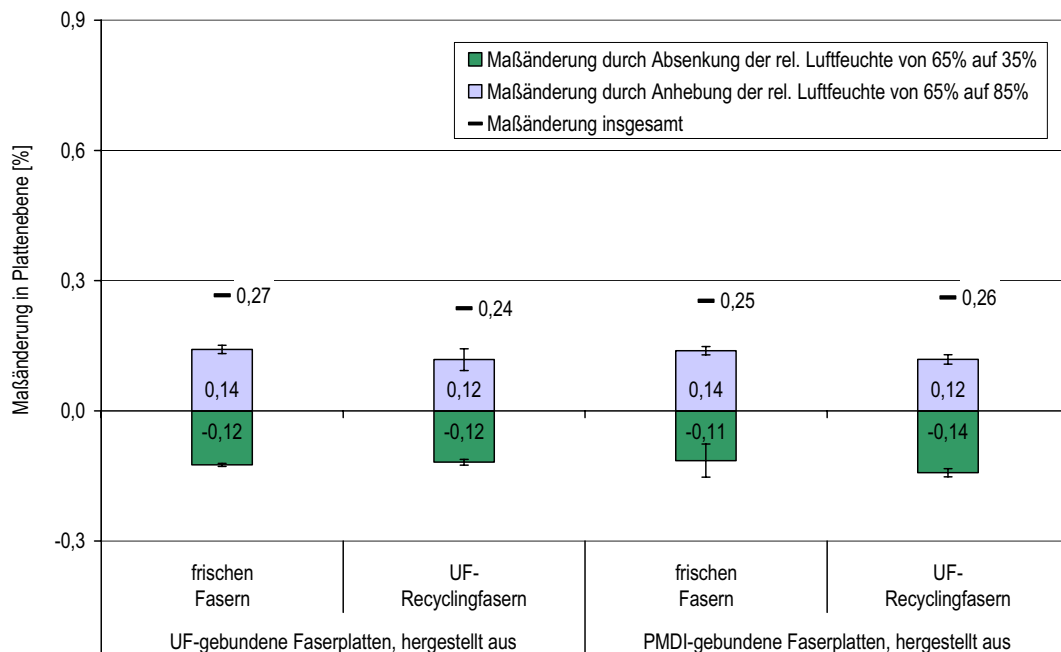


Abb. 4.2.6: Maßänderung in Plattenebene (Längenänderung) der aus Recyclingfasern und frischen Fasern hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten

Während die aus mechanischer Zerkleinerung des Ausgangsmaterials gewonnenen Recyclingspäne sich hinsichtlich der Spangeometrie stark von den frischen Spänen unterscheiden, sind die durch thermohydrolytischen Aufschluss gewonnenen Recyclingfasern in Bezug auf ihre Formgebung mit den frischen Fasern aus Nadelholz vergleichbar. Hierdurch lassen sich die geringen Unterschiede zwischen den Platten aus frischen Fasern und Recyclingfasern erklären. Verglichen mit den zuvor untersuchten Spanplatten (vgl. Kap. 4.1.4.5) weisen die Faserplatten eine insgesamt geringere Längenänderung auf. Diese, mit Untersuchungsergebnissen von SATTLER (1999) übereinstimmende Feststellung, ist zum einen auf die gegenüber den Holzspanplatten geringere Gleichgewichtsfeuchte der Holzfasern und Holzfaserplatten zurückzuführen (vgl. Kap. 4.1.4.3), zum anderen bedingt die Auflösung des Holzgefüges bei der Faserstoffherstellung eine weitgehende Ausschaltung der Anisotropie des Holzes. Dies führt bei der regellosen Anordnung der Fasern in der Platte zu einer

Verminderung der durch das Quellen und Schwinden der Fasern auftretenden und von dem Bindemittel aufzufangenden Kräfte. Während bei der Dickenquellung und der Dickenänderung in feuchter Luft die Art und die Qualität der Verleimung eine entscheidende Rolle spielen, wird die Maßänderung in Plattenebene im Wesentlichen durch die inhärenten Eigenschaften der verwendeten Fasern bestimmt. Auch aus diesem Grund zeigen die untersuchten Faserplatten nur sehr geringe Unterschiede bezüglich der Maßänderung in Plattenebene. Die Verleimungsgüte wirkt sich demnach auf die Dimensionsänderung der Faserplatten senkrecht zur Plattenebene aus, nicht jedoch auf die lineare Dimensionsänderung.

4.2.4.6 Querzugfestigkeit

In der Abb. 4.2.7 sind die Ergebnisse der gemäß der EN 319 durchgeführten Untersuchungen zur Querzugfestigkeit der hergestellten Laborfaserplatten zusammengestellt.

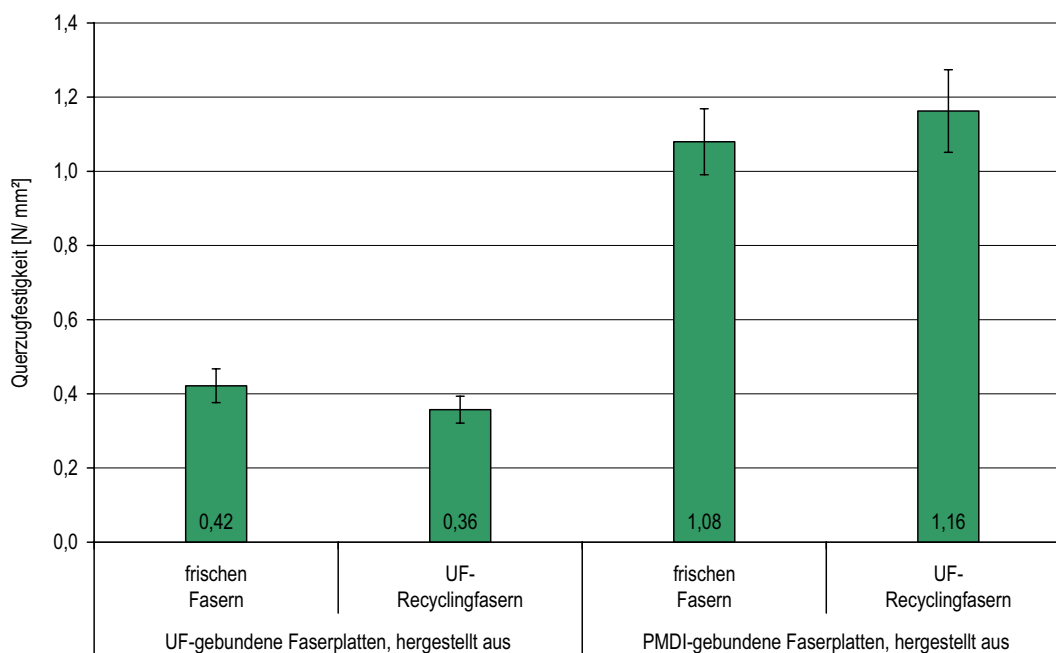


Abb. 4.2.7: Querzugfestigkeit der aus Recyclingfasern und frischen Fasern hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten

Es ist der Abbildung zu entnehmen, dass die Querkzugfestigkeit der UF-gebundenen Faserplatten deutlich geringer ist als die Querkzugfestigkeit der PMDI-gebundenen Platten. Die Unterschiede zwischen den Platten aus frischen Fasern und denen aus Recyclingfasern sind hingegen relativ gering. Bei den UF-gebundenen Plattenvarianten weisen die Platten aus frischen Fasern eine etwas höhere Querkzugfestigkeit auf als die entsprechenden Platten aus Recyclingfasern. Die Recyclingfasern führen im Falle der Verleimung mit PMDI zu Faserplatten mit einer gegenüber der Bindung mit UF-Harz wesentlich höheren Querkzugfestigkeit, die zudem geringfügig höher ist als die der PMDI-gebundenen Platten aus frischen Fasern.

4.2.4.7 Biegefestigkeit

Die Bestimmung der Biegefestigkeit der hergestellten Laborfaserplatten erfolgte gemäß der DIN 52362 und lieferte die in der *Abb. 4.2.8* wiedergegebenen Ergebnisse.

Es wird deutlich, dass die PMDI-gebundenen Laborfaserplatten aus frischen Fasern und aus Recyclingfasern nahezu identische Biegefestigkeiten aufweisen. Bei der Bindung mit einem UF-Harz zeigt sich hingegen, dass die aus Recyclingfasern gefertigten Platten eine wesentlich geringere Biegefestigkeit aufweisen als diejenigen, die aus frischen Fasern hergestellt wurden.

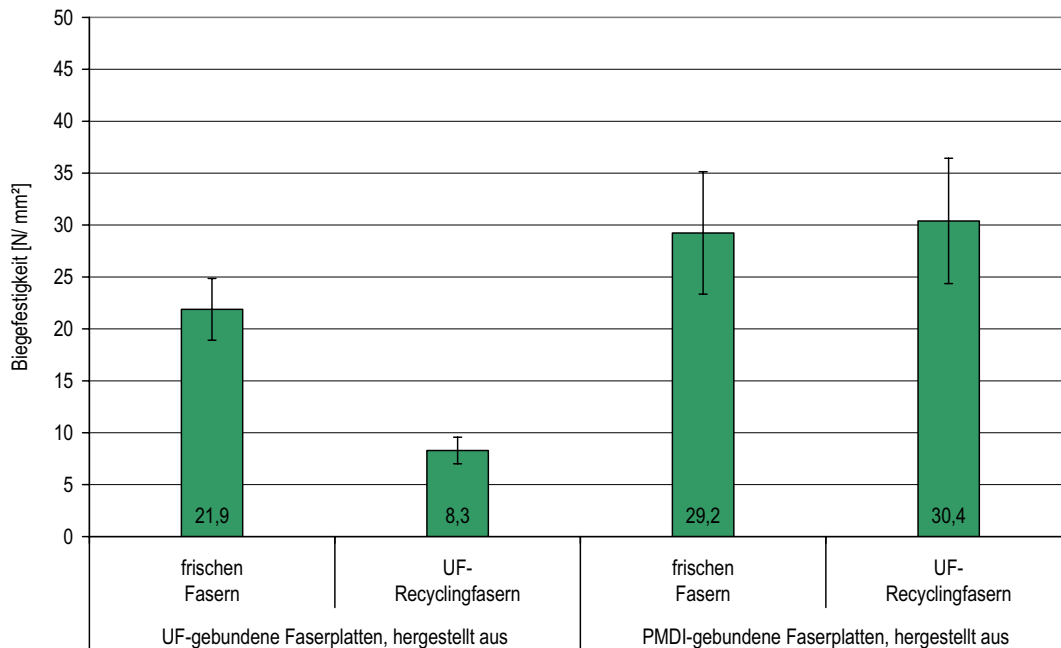


Abb. 4.2.8: Biegefestigkeit der aus Recyclingfasern und frischen Fasern hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten

4.2.4.8 Formaldehydabgabe

Die Formaldehydabgabe wurde nach der Flaschenmethode gemäß EN 717-3 mit einer Prüfdauer von 3 und 24 Stunden bestimmt. Die in Abb. 4.2.9 zusammengestellten Ergebnisse lassen erkennen, dass die UF-gebundenen Platten aus frischen Fasern und diejenigen aus Recyclingfasern sich in Ihrer Formaldehydabgabe insbesondere bei einer Prüfdauer von 24 Stunden nicht wesentlich unterscheiden. Eine etwas höhere Formaldehydabgabe weisen die PMDI-gebundenen Platten aus UF-Recyclingfasern auf, während die PMDI-gebundenen Platten aus frischen Fasern erwartungsgemäß eine sehr geringe Formaldehydabgabe zeigen.

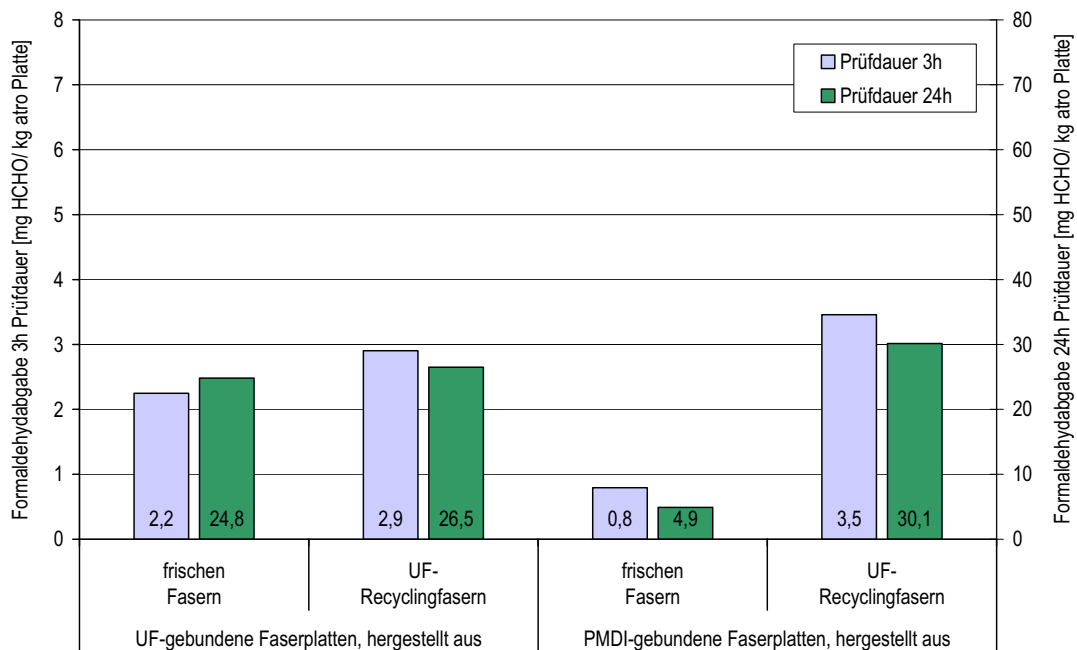


Abb. 4.2.9: Formaldehydabgabe (Flaschenmethode, 3 h- und 24 h-Werte) der aus Recyclingfasern und frischen Fasern hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Laborfaserplatten

Wie schon bei den Holzspanplatten, ist die Formaldehydabgabe der hier untersuchten Holzfaserplatten unabhängig davon, ob als Formaldehydquelle das als Bindemittel der Platte zugegebene Harnstoff-Formaldehydharz oder die Recyclingfasern fungieren, in etwa gleich hoch. Auch bei einer Kombination dieser beiden Formaldehydquellen nimmt die Formaldehydabgabe keine höheren Werte an.

4.2.5 Zusammenfassung

Die dargestellten Untersuchungen haben zusammenfassend folgende Ergebnisse erbracht:

- Aus UF-Recyclingfasern hergestellte Faserplatten weisen eine höhere Dickenquellung auf als die aus frischen Fasern hergestellten Platten. Insbesondere bei der Verleimung der Recyclingfasern mit einem UF-Harz ergibt sich eine besonders hohe Dickenquellung. Die Verleimung der UF-Recyclingfasern mit PMDI führt demgegenüber zu Platten, deren Dickenquellung nur geringfügig über der der Vergleichsplatten aus frischen Fasern liegt. Dies deutet auf einen unterschiedlichen Einfluss der inhärenten Eigenschaften der Fasern auf die Bindung mit UF-Harzen und PMDI-Klebstoffen hin.
- Die Dickenänderung bei Änderung der relativen Luftfeuchte der Faserplatten aus UF-Recyclingfasern ist bei der Verleimung mit UF-Harz und mit PMDI höher als die der Platten aus frischen Fasern. Die Längenänderung bei Änderung der relativen Luftfeuchte zeigt hingegen keinen Einfluss des verwendeten Faserstoffes und Bindemittels. Insofern wirken sich hier nur die faserinhärenten Eigenschaften auf die Längenänderung von Faserplatten aus.
- Holzfaserplatten zeigen eine wesentlich geringere Längenänderung als Holzspanplatten.

- Die Verwendung von UF-Recyclingfasern hat sowohl bei der Verleimung mit UF-Harz als auch beim Einsatz von PMDI als Bindemittel kaum Einfluss auf die Querkzugfestigkeit der hergestellten Platten. Die Biegefestigkeit der UF-gebundenen Platten aus UF-Recyclingfasern ist jedoch deutlich geringer als die der Vergleichsplatten aus frischen Fasern. Dies ist bei PMDI-gebundenen Faserplatten nicht der Fall. Insofern erweist sich hier die Verwendung von PMDI als Bindemittel für die Herstellung von Faserplatten aus UF-Recyclingfasern gegenüber dem UF-Harz als vorteilhaft.
- Aus Recyclingfasern mit UF-Harz als Bindemittel hergestellte Platten weisen eine den UF-gebundenen aus frischen Fasern gefertigten Platten entsprechende Formaldehydabgabe auf.

4.3 Untersuchungen zum Einfluss der Verwendung von Holzfasern für die Deckschichten von aus Frisch- und Recyclingspänen hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Holzspanplatten

Im Zuge der vorangegangenen Untersuchungen wurde festgestellt, dass Holzfaserplatten eine gegenüber den Holzspanplatten geringere Dimensionsänderung in Plattenebene aufweisen (*vgl. Kap. 4.2.4.5*). Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen sollen klären, inwieweit sich die hohe Dimensionsstabilität der Faserplatten auf Platten mit einem dreischichtigen Aufbau bestehend aus einer Mittelschicht aus Holzspänen und Deckschichten aus Holzfasern übertragen lässt. Es wurden hierzu solche dreischichtige Span-Faserplatten sowohl aus frischem Span- und Fasermaterial als auch aus Recyclingspänen und -fasern unter Verwendung eines UF-Harzes und eines PMDI-Klebstoffes hergestellt und auf ihre physikalisch-technologischen Eigenschaften und die Formaldehydabgabe hin untersucht.

4.3.1 Herstellung von UF- und PMDI-gebundenen Span-Faserplatten

Bei der Herstellung dieser Span-Faserplatten wurde wie bei den zuvor gefertigten Holzspanplatten verfahren, mit dem Unterschied, dass für die Deckschichten die bei den zuvor gefertigten Holzfaserplatten eingesetzten industriell erzeugten Kiefernholzfasern bzw. im Labor durch thermohydrolytischen Aufschluss aus MDF gewonnenen Recyclingfasern verwendet wurden (*vgl. Kap. 4.2.1.2*). Für die Mittelschicht der Span-Faserplatten wurden die in *Kap. 4.1.1* beschriebenen frischen Mittelschichtspäne und die durch mechanische Zerkleinerung von UF-gebundenen Holzspanplatten gewonnenen UF-Recyclingspäne verwendet (jeweils die Fraktion $\leq 4\text{mm}$, $>1\text{mm}$). Eine Darstellung der chemisch-

physikalischen Eigenschaften der verwendeten Späne und Fasern findet sich in *Kap. 4.1.2* bzw. *Kap. 4.2.2*.

Als Bindemittel für die Herstellung dieser Platten wurden für die Beleimung der Mittelschichtspäne wie auch der Deckschichtfasern das UF-Harz Kaurit 350 und der PMDI-Klebstoff Desmodur 1520 A20 verwendet. Die Dosierungen der Bindemittel und der übrigen zugegebenen Stoffe sowie die sonstigen Herstellungsbedingungen der im Labor hergestellten Span-Faserplatten sind in *Tab. 4.3.1* aufgeführt.

Tab. 4.3.1: Herstellungsbedingungen der aus Recyclingspänen und -fasern sowie aus frischen Spänen und Fasern hergestellten UF- und PMDI-gebundenen Span-Faserplatten

		UF	PMDI
Bindemittel/ -aufwand [% atro Span bzw. Faser]	DS	Kaurit 350 12 %	Desmodur 1520 A20 5 %
	MS	Kaurit 350 7 %	Desmodur 1520 A20 3,5 %
Härtungsbeschleuniger/ -aufwand [% Festharz]	DS	Ammoniumsulfat 3,4 %	-
	MS		-
Hydrophobierungsmittel/ -aufwand [% atro Span bzw. Faser]	DS	Paraffin (60 %ige Dispersion) 0,5 %	
	MS		
beleimte Feuchte MS/ DS		~ 6 %/ 12 %	~ 8 %/ 12 %
Solldicke nach Schleifen		19 mm (Distanzleisten 20 mm)	
Sollrohdichte		0,690 g/ cm ³	
Presstemperatur		190 °C	
Presszeit		12 s/ mm	

Nach der Beleimung des Span- und Fasermaterials wurde aus diesem ein dreischichtiger Span-Faserkuchen ausgeformt, wobei 60 % der Materialmasse auf die Span-Mittelschicht entfielen und 40 % der Masse sich zu gleichen Teilen auf die Faser-Deckschichten verteilten. Die anschließende Vorverdichtung und der darauf folgende Heißpressvorgang sowie auch die Nachbehandlung der hergestellten Platten (Schleifen und Besäumen) wurden entsprechend der in *Kap. 3.2* beschriebenen Vorgehensweise ausgeführt.

4.3.2 Eigenschaften der hergestellten Span-Faserplatten

Die folgenden Darstellungen geben die Ergebnisse der Untersuchungen wieder, die an den im Labor aus Recyclingspänen und Recyclingfasern sowie aus frischen Spänen und Fasern mit UF-Harz und PMDI als Bindemittel hergestellten Span-Faserplatten vorgenommen wurden. Untersucht wurden die Festigkeitseigenschaften und das Verhalten der Platten bei Einwirkung von Feuchtigkeit. Die Untersuchungen umfassten die Bestimmung der Dickenquellung und Wasseraufnahme nach Lagerung im Wasserbad gemäß EN 317 sowie auch der Dimensionsänderung durch Lagerung bei unterschiedlicher relativer Luftfeuchte in Anlehnung an EN 318. Ferner wurde die Formaldehydabgabe der Platten nach der Flaschenmethode (EN 717-3) ermittelt.

Die *Abb. 4.3.1* zeigt Querschnitte von Probekörpern der aus frischen Holzfasern und Recyclingfasern unter Verwendung eines UF-Harzes bzw. eines PMDI-Klebstoffes als Bindemittel hergestellten Span-Faserplatten.

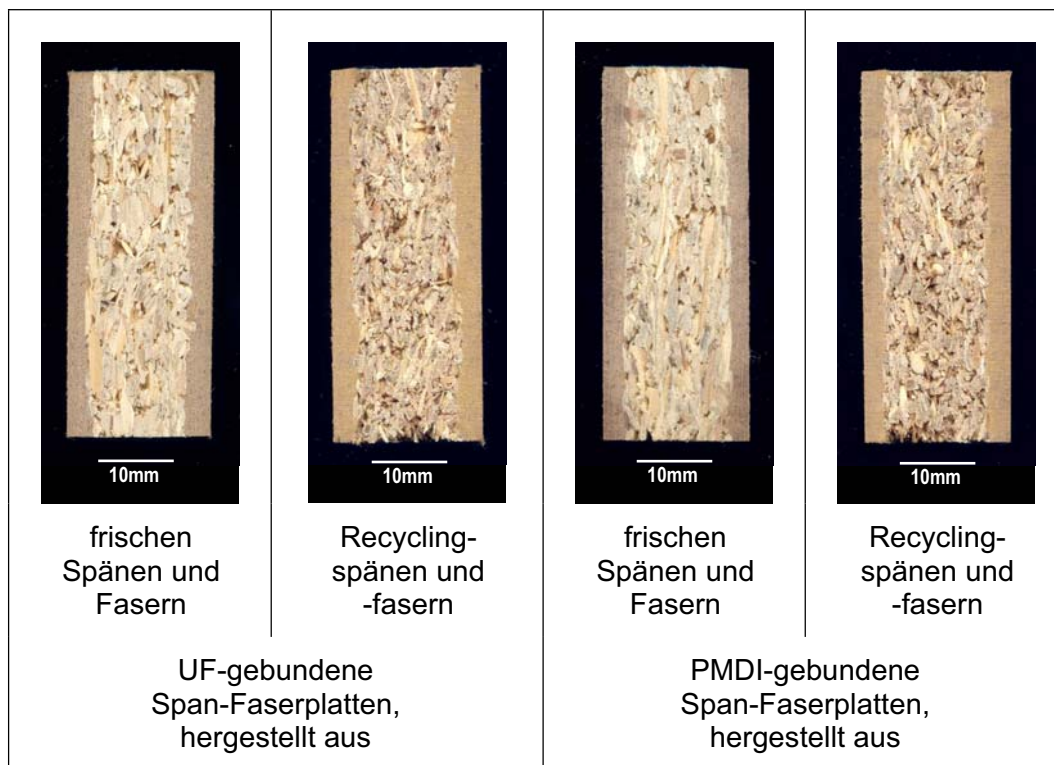


Abb. 4.3.1: Querschnitte von Probekörpern der aus frischen Spänen und Fasern sowie aus Recyclingspänen und -fasern mit UF-Harz und PMDI als Bindemittel gefertigten Span-Faserplatten

4.3.2.1 Rohdichte

Wie der *Tab. 4.3.2* zu entnehmen ist, bestehen zwischen den verschiedenen im Labor hergestellten Span-Faserplatten hinsichtlich der Rohdichte geringe Unterschiede. Im Vergleich mit den unter gleichen Bedingungen gefertigten Holzspanplatten ist die Rohdichte der Span-Faserplatten etwas niedriger (*vgl. Kap. 4.1.4.1*). Die UF-gebundenen Span-Faserplatten aus Recyclingmaterial weisen mit 630 kg/ m^3 die geringste Rohdichte auf, die in Verbindung mit einer relativ großen Streuung der Werte im Einzelfall zu Rohdichten unter 600 kg/ m^3 führen, was bei der Beurteilung der übrigen Eigenschaften dieser Plattenvariante berücksichtigt werden muss.

Tab. 4.3.2: Rohdichte der UF- und PMDI-gebundenen Span-Faserplatten, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern bzw. aus Recyclingmaterial

Rohdichte [g/ cm ³]		$\bar{x}$	s
UF-gebundene Span-Faserplatten, hergestellt aus	frischen Spänen und Fasern	0,665	0,031
	Recyclingspänen und -fasern	0,630	0,039
PMDI-gebundene Span-Faserplatten, hergestellt aus	frischen Spänen und Fasern	0,641	0,022
	Recyclingspänen und -fasern	0,671	0,029

$\bar{x}$: arithmetischer Mittelwert, s: Standardabweichung

Zusätzlich zu der Ermittlung der Rohdichte wurden angesichts des ungewöhnlichen Plattenaufbaus der Span-Faserplatten Rohdichteprofile von diesen erstellt. Hierfür wurden nur Probekörper der aus frischen Spänen und Fasern hergestellten Platten verwendet. Die Abb. 4.3.2 und Abb. 4.3.3 geben je ein Rohdichteprofil einer UF-gebundenen und einer mit PMDI verleimten Span-Faserplatte wieder. Aus dem annähernd gleichen Verlauf beider Diagramme ist zu entnehmen, dass die Wahl des Bindemittels in diesem Fall offensichtlich keinen Einfluss auf die Entwicklung des Rohdichteprofils nimmt. Beide Rohdichteprofile zeigen hochverdichtete Deckschichten von jeweils ca. 3 mm Dicke mit einer maximalen Dichte von über 1000 kg/ m³ und im mittleren Bereich eine annähernd konstante Dichte von ca. 600 kg/ m³. Diese als vorteilhaft zu bezeichnende Rohdichteverteilung über den Plattenquerschnitt ist für die Ausbildung der guten mechanischen Eigenschaften der hergestellten Span-Faserplatten verantwortlich.

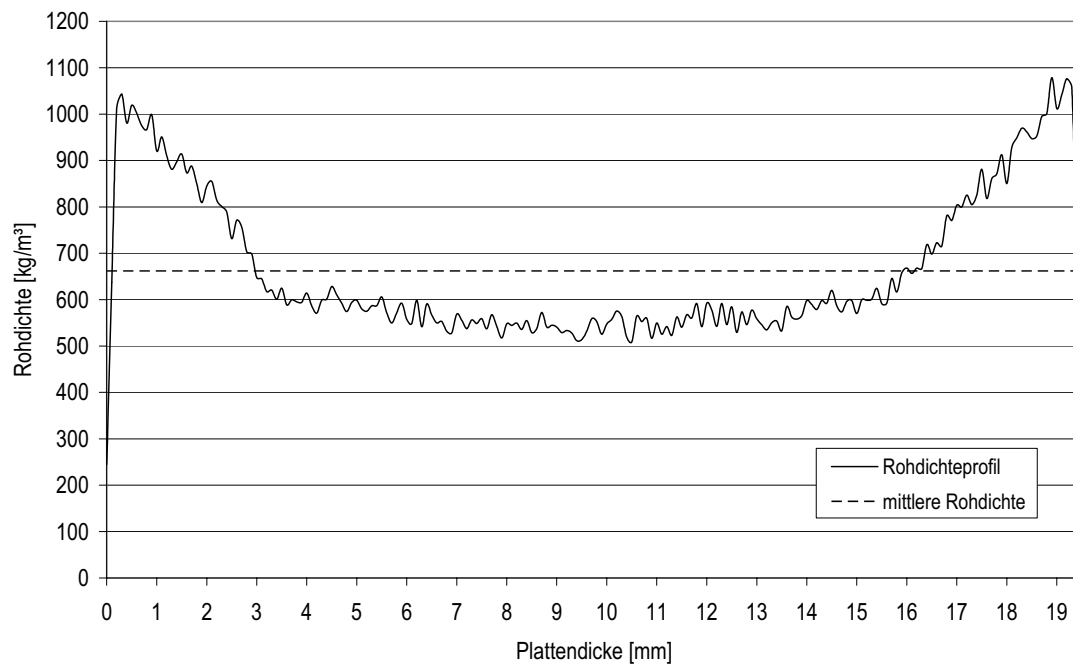


Abb. 4.3.2: Rohdichteprofil und mittlere Rohdichte einer UF- gebundenen Span-Faserplatte, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern

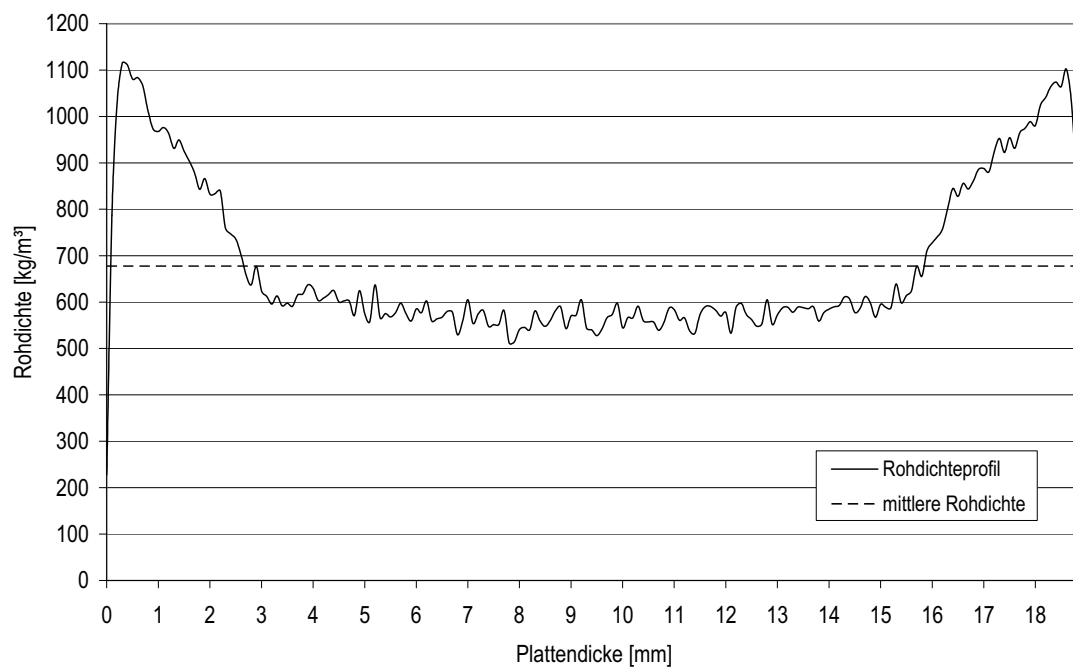


Abb.4.3.3: Rohdichteprofil und mittlere Rohdichte einer PMDI- gebundenen Span-Faserplatte, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern

4.3.2.2 Dickenquellung und Wasseraufnahme

Besonders deutlich sind die positiven Auswirkungen der Verleimung von Recyclingspänen bzw. -fasern mit dem Bindemittel PMDI auf die Dickenquellung (Abb. 4.3.4) und Wasseraufnahme (Abb. 4.3.5) nach 2 und 24 Stunden Wasserlagerung. Bei den PMDI-verleimten Span-Faserplatten kann durch die Verwendung von Recyclingmaterial die Dickenquellung (nach 24 h Wasserlagerung) um 48 % im Vergleich zu den ansonsten identischen Platten aus frischem Material gesenkt werden. Bei der Verleimung mit UF-Harz hat die Verwendung von Recyclingspänen und -fasern hingegen eine Erhöhung der Dickenquellung zur Folge.

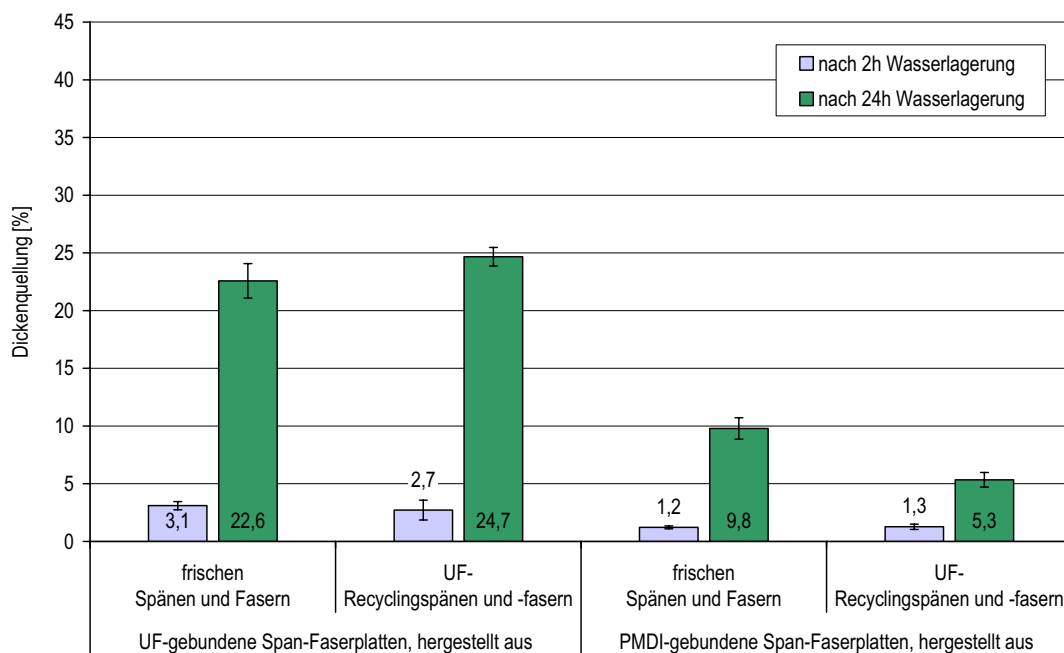


Abb. 4.3.4: Dickenquellung nach 2 h und 24 h Wasserlagerung der UF- und PMDI-gebundenen Span-Faserplatten, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern bzw. aus UF-Recyclingmaterial

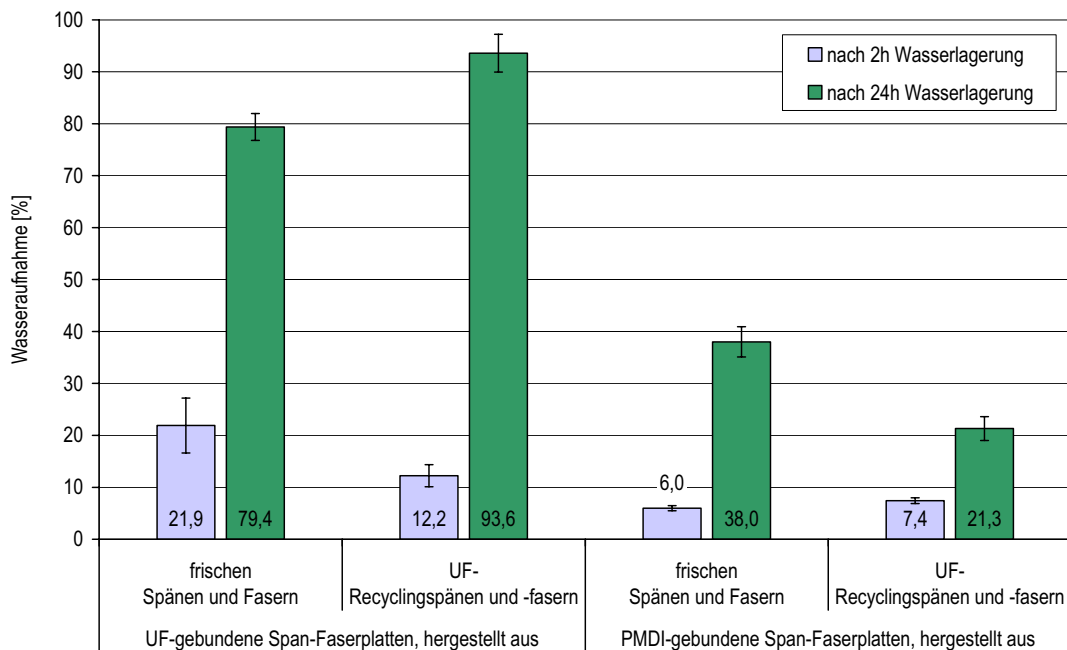


Abb. 4.3.5: Wasseraufnahme nach 2 h und 24 h Wasserlagerung der UF- und PMDI-gebundenen Span-Faserplatten, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern bzw. aus UF-Recyclingmaterial

4.3.2.3 Gleichgewichtsfeuchte

Die Untersuchungen zur Gleichgewichtsfeuchte der im Labor hergestellten Span-Faserplatten ergaben keine ausgeprägten Unterschiede zwischen den Platten aus frischen Spänen und Fasern und denen aus Recyclingmaterial (Abb. 4.3.6).

Gegenüber den entsprechenden Laborspanplatten (vgl. Kap. 4.1.4.3) zeigt sich ein etwas vermindertes Sorptionsverhalten der entsprechenden Span-Faserplatten. Vor allem die Desorption der Span-Faserplatten durch den Klimawechsel von 65 % auf 35 % relativer Luftfeuchte scheint gegenüber den Laborspanplatten etwas verringert zu sein. Dies ist womöglich darauf zurückzuführen, dass Fasern bzw. Faserplatten eine niedrigere Gleichgewichtsfeuchte aufweisen als Spanplatten wie die Untersuchungsergebnisse der hergestellten Faserplatten (vgl. Kap. 4.2.4.3) und u.a.

Ergebnisse von NIEMZ UND KUÇERA (1999) zeigen, die durch die Ergebnisse von ROFFAEL ET AL. (2005) bestätigt werden.

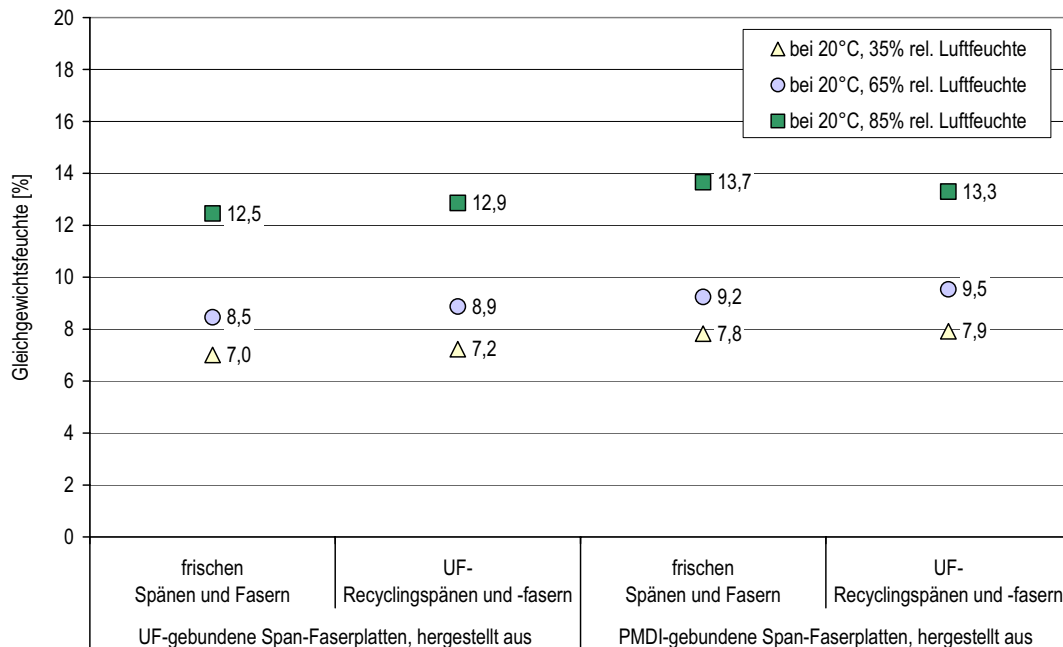


Abb. 4.3.6: Gleichgewichtsfeuchte nach Lagerung bei 65 %, 35 % und 85 % relativer Luftfeuchte der UF- und PMDI-gebundenen Span-Faserplatten, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern bzw. aus UF-Recyclingmaterial

4.3.2.4 Dimensionsstabilität nach Lagerung bei unterschiedlicher relativer Luftfeuchte

Die Abb. 4.3.7 und Abb. 4.3.8 stellen die Längen- und Dickenänderung der hergestellten Span-Faserplatten dar. Die Dimensionsstabilität in Plattenebene (Abb. 4.3.7) ist bei den aus frischem Material hergestellten Span-Faserplatten verglichen mit den entsprechenden dreischichtigen Spanplatten sehr hoch (vgl. Kap. 4.1.4.5). Die PMDI- und die UF-Verleimung führen bei diesem Span- bzw. Fasermaterial zu einer vergleichsweise niedrigen Längenänderung. Bei der Verwendung von UF-Recyclingspänen und -fasern zeigt sich im Vergleich zu frischen Spänen und Fasern eine geringere Dimensionsstabilität. Hier weisen die Platten

mit PMDI-Verleimung eine deutlich niedrigere Längenänderung auf als die mit UF-Harz verleimten. Dies bestätigt die zuvor gewonnenen Ergebnisse, wonach PMDI für die Verleimung von UF-Recyclingspänen als besonders gut geeignet anzusehen ist.

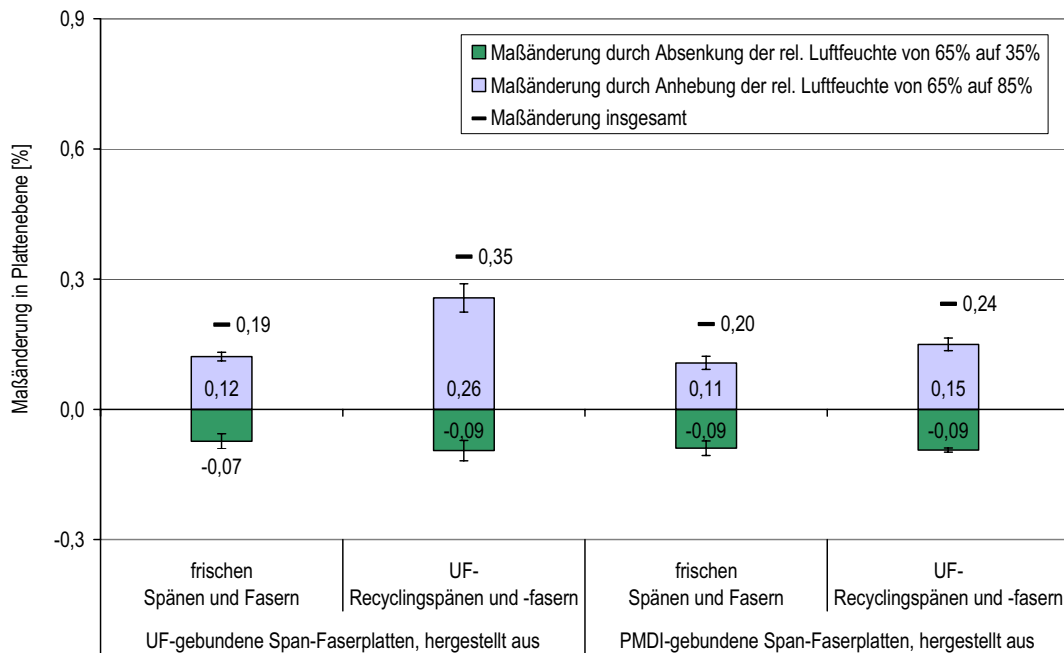


Abb. 4.3.7: Maßänderung in Plattenebene (Längenänderung) nach Lagerung bei 65 %, 35 % und 85 % relativer Luftfeuchte der UF- und PMDI-gebundenen Span-Faserplatten, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern bzw. aus UF-Recyclingmaterial

Verglichen mit den entsprechenden Spanplatten aus Recyclingspänen ist die Längenänderung jedoch deutlich reduziert (*vgl. Kap. 4.1.4.5*). Die der Herstellung dieses Plattentyps zugrunde liegende Annahme, die sehr dimensionsstabilen Faser-Deckschichten könnten die weniger stabilen Span-Mittelschichten in ihrer Längenänderung begrenzen, wird durch die erzielten Ergebnisse bestätigt.

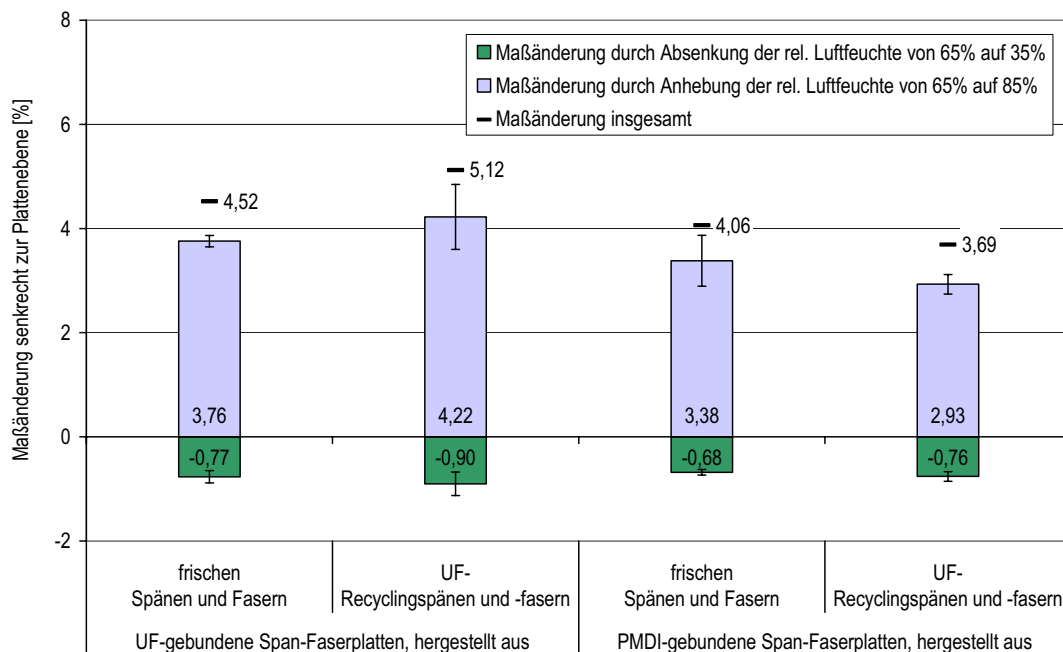


Abb. 4.3.8: Maßänderung senkrecht zur Plattenebene (Dickenänderung) nach Lagerung bei 65 %, 35 % und 85 % relativer Luftfeuchte der UF- und PMDI-gebundenen Span-Faserplatten, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern bzw. aus UF-Recyclingmaterial

Auf die Dickenänderung durch Lagerung bei unterschiedlicher Luftfeuchte (Abb. 4.3.8) wirkt sich der besondere Aufbau der Span-Faserplatten erwartungsgemäß kaum aus. Die PMDI-Verleimung zeigt bei jedem Span- bzw. Fasermaterial eine geringere Dickenänderung, wobei der Unterschied bei den Platten aus Recyclingmaterial besonders deutlich zu Tage tritt.

4.3.2.5 Querkzugfestigkeit

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Querkzugfestigkeit der hergestellten Span-Faserplatten (Abb. 4.3.9) zeigen, dass bei der Verwendung von Recyclingmaterial PMDI als Bindemittel geeigneter ist als UF-Harz. Während die Querkzugfestigkeit der mit UF-Harz gebundenen Recycling-Span-Faserplatten nur 44 % der Festigkeit der Platten aus frischem Material beträgt, zeigen die PMDI-gebundenen Platten 82 % der Festigkeit von vergleichbaren Span-Faserplatten aus frischem Material.

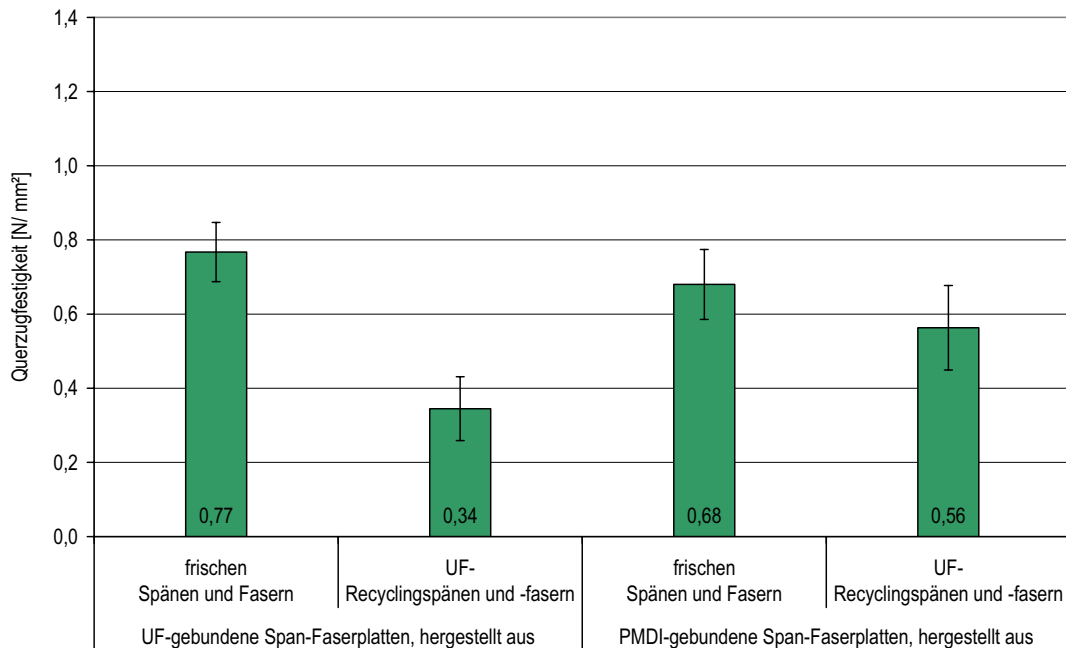


Abb. 4.3.9: Querzugfestigkeit der UF- und PMDI-gebundenen Span-Faserplatten, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern bzw. aus UF-Recyclingmaterial

4.3.2.6 Biegefestigkeit

Bei der Betrachtung der Biegefestigkeit der untersuchten Span-Faserplatten (*Abb. 4.3.10*) fällt auf, dass diese, insbesondere bei den Platten aus frischen Spänen und Fasern, vergleichbar ist mit der Biegefestigkeit der zuvor hergestellten Faserplatten (*vgl. Kap. 4.2.4.7*). Im Vergleich mit den im Rahmen der Untersuchungen verwendeten industriell gefertigten Spanplatten (*vgl. Kap. 4.1.1.1*) wird das hohe Biegefestigkeits-Niveau der Span-Faserplatten deutlich. Der dreischichtige Plattenaufbau mit Faserdeckschichten und einer Spanmittelschicht ist demzufolge hinsichtlich der Biegefestigkeit vorteilhaft. Es zeigt sich auch hier, wenn auch nicht so ausgeprägt, der Einfluss des Bindemittels bei der Verleimung von Recyclingspänen bzw. -fasern. Die Verminderung der Biegefestigkeit der Span-Faserplatten durch die Verwendung von Recyclingmaterial fällt bei der Verleimung mit PMDI weitaus geringer aus als bei der Verwendung von UF-Harz als Bindemittel.

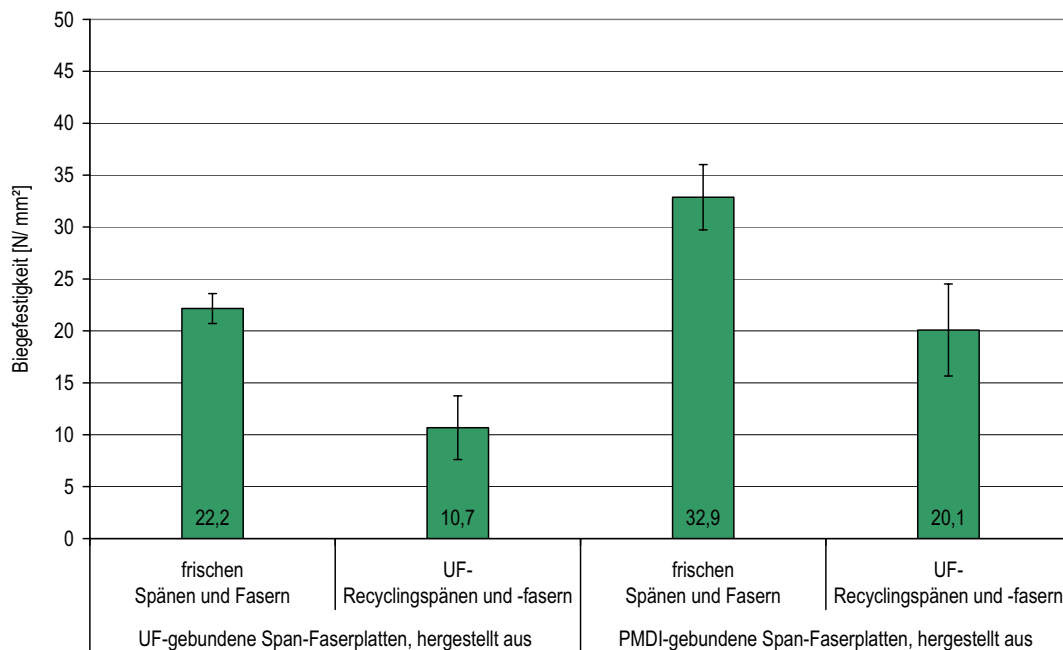


Abb. 4.3.10: Biegefestigkeit der UF- und PMDI-gebundenen Span-Faserplatten, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern bzw. aus UF-Recyclingmaterial

4.3.2.7 Formaldehydabgabe

Die Formaldehydabgabe der im Labor hergestellten Span-Faserplatten wurde nach der Flaschenmethode (EN 717-3) mit einer Prüfdauer von 3 Stunden und 24 Stunden bestimmt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der *Abb. 4.3.11* wiedergegeben. Bei einer Prüfdauer von 3 Stunden weisen die aus frischen und Recyclingspänen hergestellten UF-gebundenen Span-Faserplatten eine etwas höhere Formaldehydabgabe auf als die vergleichbaren Spanplatten (*vgl. Kap. 4.1.4.7*). Die Prüfdauer von 24 Stunden bewirkt hingegen eine gegenüber den Spanplatten deutlich geringere Formaldehydabgabe der Span-Faserplatten. Dies ist womöglich darauf zurückzuführen, dass bei einer Prüfdauer von 3 Stunden bei den in der Prüfflasche herrschenden Bedingungen (40 °C, 100 % rel. Luftfeuchte) der Beitrag des thermohydrolytischen Abbaus des Bindemittels noch nicht deutlich zum Tragen kommt. Erst bei einer verlängerten Prüfdauer von 24 Stunden wird

deutlich, dass das UF-Harz in Spanplatten sorptionsbedingt weitaus stärker der Hydrolyse unterliegt als das in den UF-gebundenen Span-Faserplatten der Fall ist. Hier schränken die relativ hoch verdichteten Faserdeckschichten die Wasserdampfdiffusion ein.

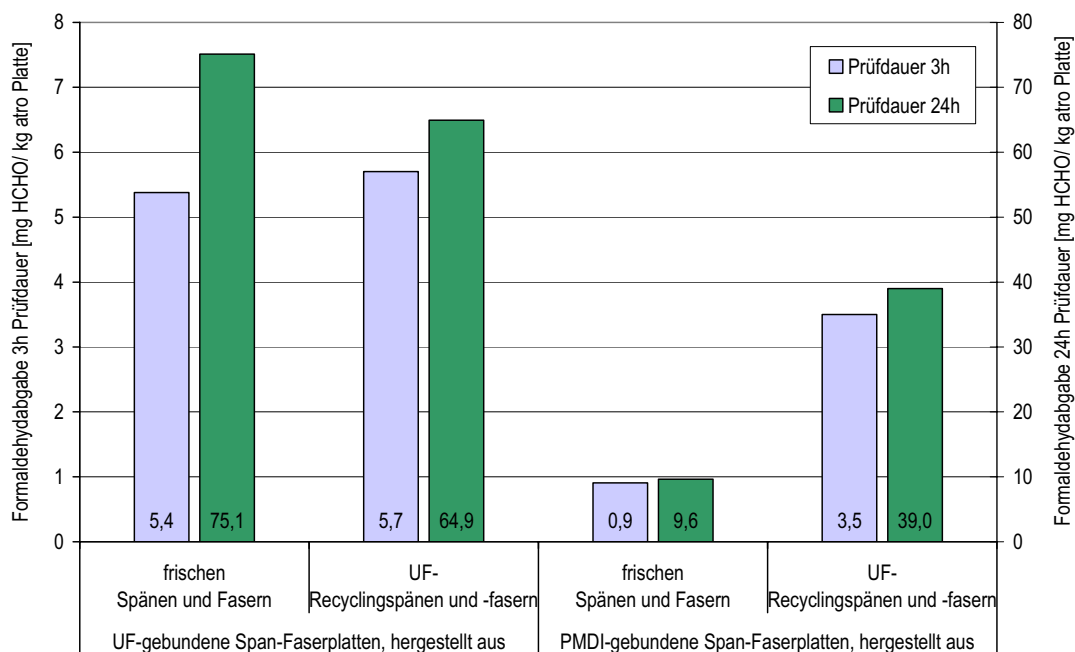


Abb. 4.3.11: Nach der Flaschenmethode (3 h und 24 h Prüfdauer) bestimmte Formaldehydabgabe der UF- und PMDI-gebundenen Span-Faserplatten, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern bzw. aus UF-Recyclingmaterial

4.3.3 Untersuchungen zur Sperrwirkung der Faserdeckschichten

Um die Bedeutung der Faserdeckschichten für die Dimensionsstabilität der Span-Faserplatten zu untersuchen, wurden von einigen Probekörpern dieser Platten mittels einer Kreissäge die Faserdeckschichten entfernt, so dass nur die Spanmittelschichten übrig blieben. Diese Restkörper wurden den verschiedenen Klimatisierungszyklen ausgesetzt und ihre Dimensionsstabilität bestimmt. Die Abb. 4.3.12 und Abb. 4.3.13 geben die Ergebnisse dieser Untersuchungen wieder.

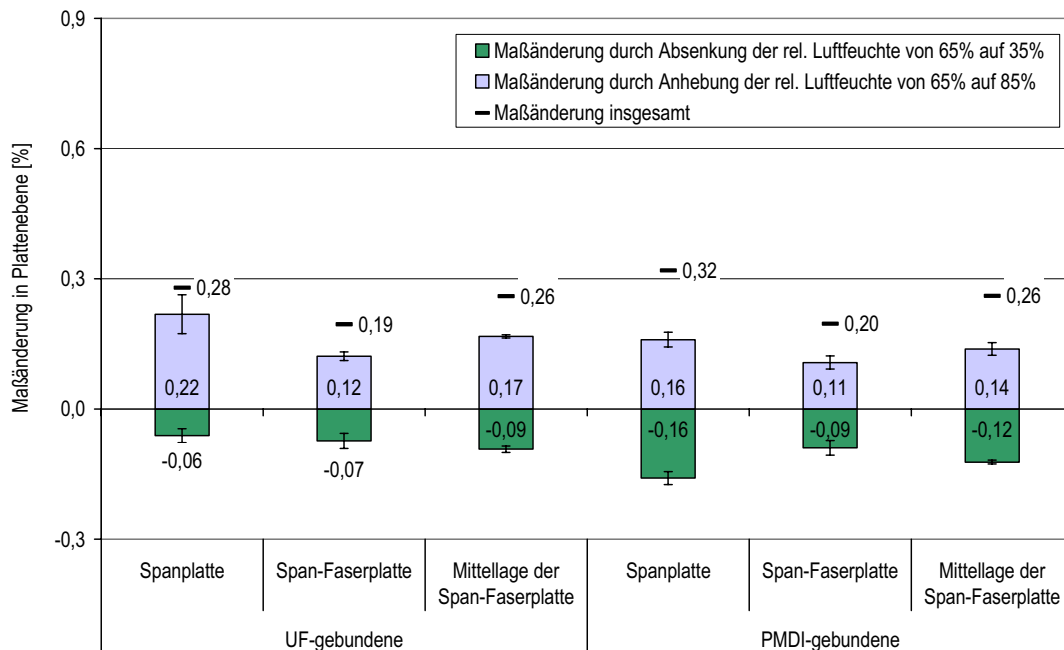


Abb. 4.3.12: Maßänderung in Plattenebene (Längenänderung) nach Lagerung bei 65 %, 35 % und 85 % relativer Luftfeuchte der UF- und PMDI-gebundenen Span- und Span-Faserplatten, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern, sowie der Spanmittelschichten (Faserdeckschichten zuvor entfernt) der UF- und PMDI-gebundenen Spanfaserplatten

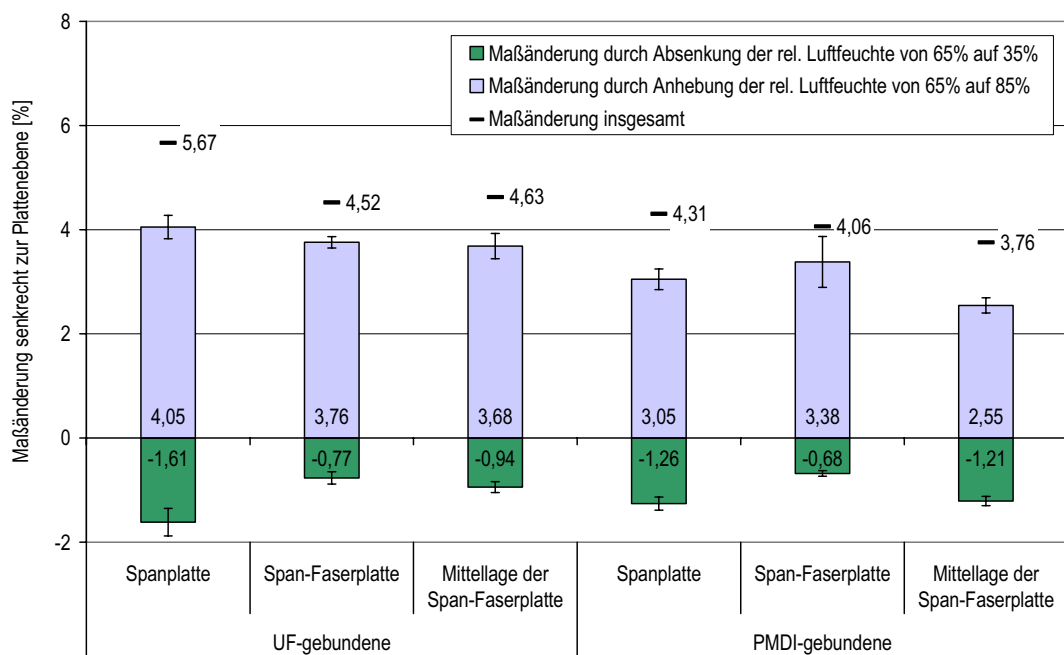


Abb. 4.3.13: Maßänderung senkrecht zur Plattenebene (Dickenänderung) nach Lagerung bei 65 %, 35 % und 85 % relativer Luftfeuchte der UF- und PMDI-gebundenen Span- und Span-Faserplatten, hergestellt aus frischen Spänen und Fasern, sowie der Spanmittelschichten (Faserdeckschichten zuvor entfernt) der UF- und PMDI-gebundenen Spanfaserplatten

Bei den Mittelschichtprobekörpern der Span-Faserplatten ist eine deutlich höhere Längenänderung zu verzeichnen als bei den entsprechenden Platten mit Faserdeckschicht. Dies ist ein Beleg für die aufgrund der bisherigen Beobachtungen angenommene absperrende Wirkung der dimensionsstabilen Faserdeckschichten auf die weniger stabilen Spanmittelschichten.

4.3.4 Zusammenfassung

Die hier dargestellten Untersuchungen liefern zusammenfassend die folgenden Ergebnisse:

- Die hergestellten Span-Faserplatten weisen ein Rohdichteprofil mit hoch verdichteten Faserdeckschichten und einer Spanmittelschicht auf, die über den Querschnitt eine nahezu konstante Rohdichte zeigt.
- Der dreischichtige Aufbau der Span-Faserplatten mit Deckschichten aus hochverdichteten Holzfasern bewirkt eine Reduzierung der Maßänderung in Plattenebene bei Änderung der relativen Luftfeuchte. Weiterhin weisen die Span-Faserplatten eine hohe Biegefestigkeit auf.
- Bestimmte Eigenschaften der zuvor untersuchten Faserplatten, wie die hohe Dimensionstabilität in Plattenebene und die hohe Biegefestigkeit lassen sich durch den hier gewählten Plattenaufbau mit Deckschichten aus Holzfasern und einer Spanmittelschicht auf diese Platten übertragen.

5 Zusammenfassung

Neben Waldindustrie- und Industrierestholz verarbeitet die Holzwerkstoffindustrie bereits seit Anfang der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts Gebrauchtholz. Die in den letzten Jahren eingeleiteten umweltpolitischen Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen (KrW-/AbfG, TA Siedlungsabfall, VerpackV, AltholzV) haben eine Ausweitung der stofflichen und energetischen Verwertung von Gebrauchtholz in der Holzwerkstoffindustrie forciert und wirksam gefördert. Dies hat auch eine lebhafte Forschungstätigkeit ausgelöst, die sich u.a. mit dem Recycling von gebrauchten Holzwerkstoffen wie Holzspan- und Holzfaserplatten beschäftigt. Infolgedessen wurden neue Verfahren zum Recycling von Holzwerkstoffen entwickelt, die sich mittlerweile teilweise im industriellen Einsatz befinden.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss der Verwendung von Recyclingspänen und -fasern auf die physikalisch-technologischen Eigenschaften von Holzspan- und Holzfaserplatten, die unter Verwendung verschiedener Bindemittel hergestellt wurden. Insbesondere die Dimensionstabilität in Plattenebene (Längenänderung) und senkrecht dazu (Dickenänderung) nach Lagerung bei unterschiedlichen relativen Luftfeuchten waren hierbei Gegenstand der Untersuchungen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde weiterhin der Einfluss eines Plattenaufbaus mit Deckschichten aus Holzfasern und einer Mittelschicht aus Holzspänen (Span-Faserplatte) auf die Platteneigenschaften untersucht.

Im ersten Teil der Arbeit wurde untersucht, wie sich die Eigenschaften von Laborspanplatten, die aus Recyclingspänen mit verschiedenen Bindemitteln hergestellt wurden, von solchen unterscheiden, die aus

frischen Spänen gefertigt wurden. Die verwendeten Recyclingspäne wurden durch mechanische Zerkleinerung von Holzspanplatten gewonnen, die mit einem Harnstoff-Formaldehydharz (UF-Harz) und solchen, die mit einem Klebstoff auf Basis von polymerem 4,4'-Diphenylmethandiisocyanat (PMDI) industriell gefertigt wurden. Als Bindemittel für die Labor-spanplatten wurden wiederum ein UF-Harz und ein PMDI-Klebstoff verwendet. Die Ergebnisse in diesem Teil der Arbeit führten zu folgenden Feststellungen:

Die Querzugfestigkeit der aus UF- und PMDI-Recyclingspänen hergestellten Spanplatten ist geringer als die der aus frischen Spänen hergestellten Platten. Dies trifft insbesondere auf die aus UF-Recyclingspänen mit UF-Harz als Bindemittel hergestellten Platten zu, wohingegen bei der Verleimung dieser Späne mit PMDI die Unterschiede vergleichsweise gering ausfielen (*Abb. 5.1 a*).

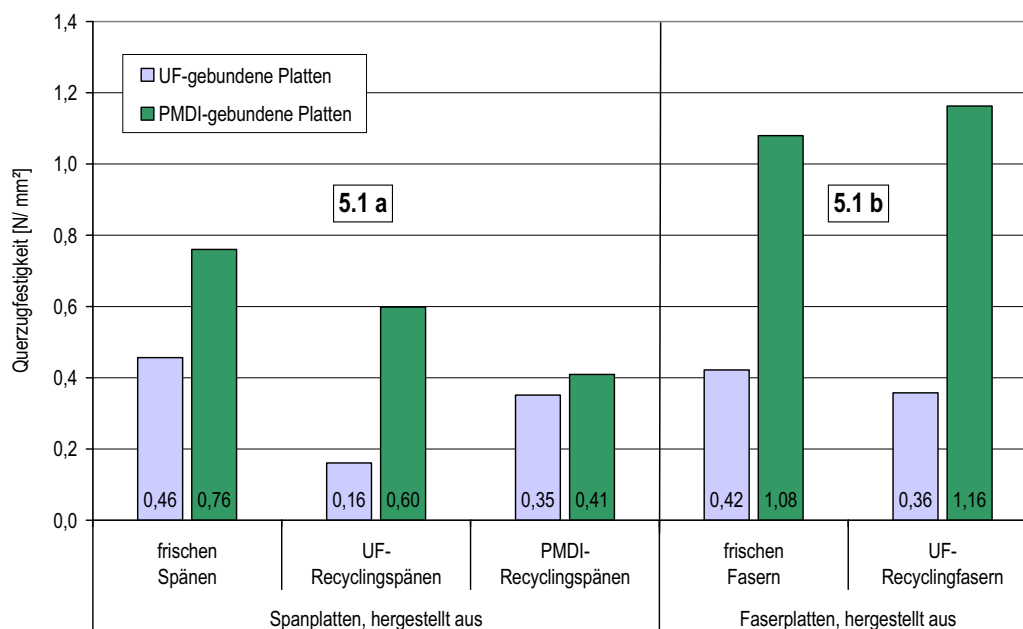


Abb. 5.1: Querzugfestigkeit der UF- und PMDI-gebundenen Spanplatten (5.1 a) und Faserplatten (5.1 b), die aus frischen Spänen und Fasern bzw. aus UF- und PMDI-Recyclingspänen und UF-Recyclingfasern hergestellt wurden

Demgegenüber zeigen die aus UF-Reyclingspänen hergestellten Spanplatten bei der Verwendung von UF-Harz als Bindemittel und vor allem im Falle der PMDI-Verleimung eine deutlich geringere Dickenquellung und Wasseraufnahme nach einer Wasserlagerung als die vergleichbaren Platten aus frischen Spänen (*Abb. 5.2 a*).

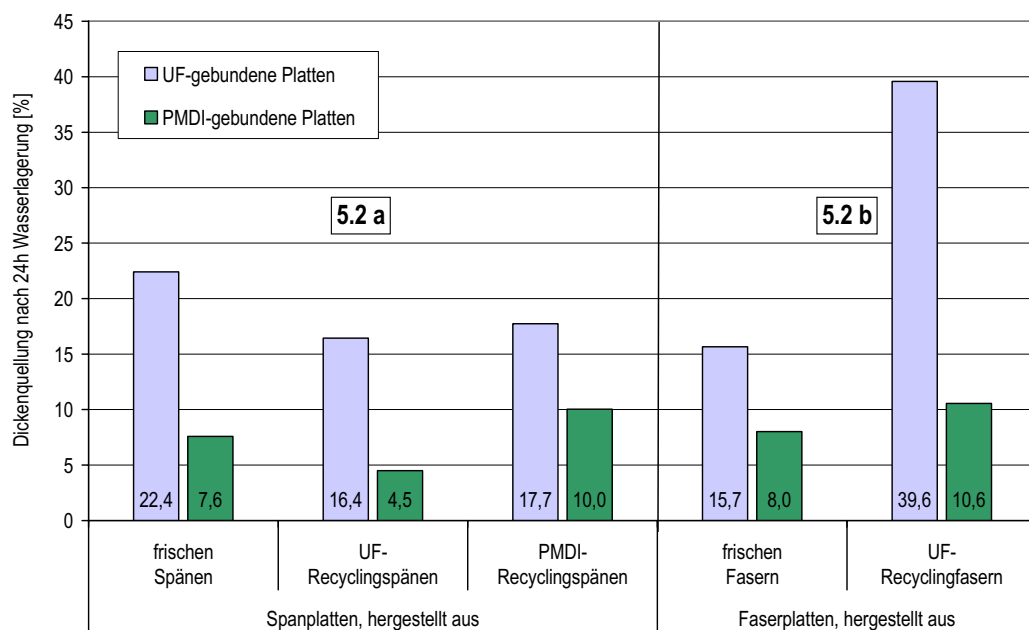


Abb. 5.2: Dickenquellung nach 24 h Wasserlagerung der UF- und PMDI-gebundenen Spanplatten (5.2 a) und Faserplatten (5.2 b), die aus frischen Spänen und Fasern bzw. aus UF- und PMDI-Reyclingspänen und UF-Reyclingfasern hergestellt wurden

Weiterhin ist die Änderung der Gleichgewichtsfeuchte der aus den Reyclingspänen gefertigten Spanplatten bei einem Wechsel der relativen Luftfeuchte geringer als die von Platten, die aus frischen Spänen hergestellt wurden. Dies trifft insbesondere auf die aus PMDI-Reyclingspänen hergestellten Platten zu.

Die Maßänderung der Spanplatten bei Änderung der relativen Luftfeuchte der Umgebungsluft ist bei der Verwendung von UF-Reyclingspänen sowohl in Plattenebene (*Abb. 5.3 a*) als auch senkrecht dazu ausgeprägter

als bei den vergleichbaren Platten aus frischen Spänen. Die aus PMDI-Recyclingspänen hergestellten Platten zeigen bei der Verleimung mit UF-Harz und vor allem bei der Verwendung von PMDI als Bindemittel deutlich geringere Maßänderungen als die aus UF-Recyclingspänen hergestellten Platten.

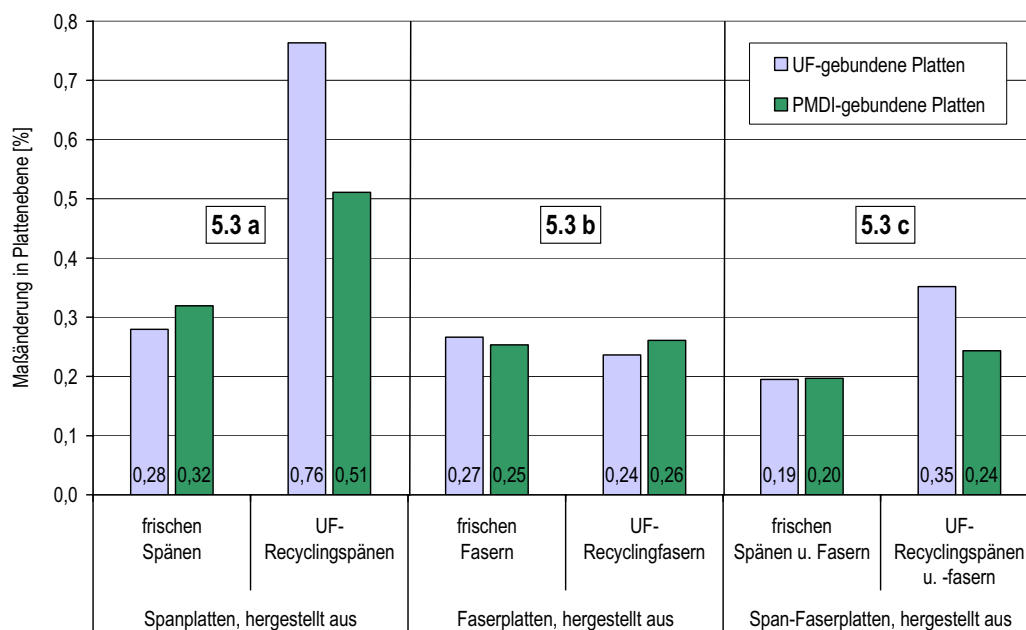


Abb. 5.3: Maßänderung in Plattenebene (Längenänderung) der UF- und PMDI-gebundenen Spanplatten (5.3 a), Faserplatten (5.3 b) und Span-Faserplatten (5.3 c), die aus frischen Spänen und Fasern bzw. aus UF-Recyclingspänen und -fasern hergestellt wurden. Dargestellt ist die Summe der Beträge der Maßänderung bei Adsorption (65% > 85% rel. Luftfeuchte) und Desorption (65% > 35% rel. Luftfeuchte)

Hinsichtlich der Formaldehydabgabe unterscheiden sich die aus UF-Recyclingspänen mit UF-Harz und PMDI als Bindemittel hergestellten Spanplatten kaum von den aus UF-verleimten frischen Spänen gefertigten Platten. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen führt demnach die Verwendung von UF-Recyclingspänen nicht zwangsläufig zu einer erhöhten Formaldehydabgabe.

Weitere Untersuchungen betrafen die Eigenschaften von Holzfaserplatten, die aus Recyclingfasern unter Verwendung von UF-Harz und PMDI als Bindemittel im Labor hergestellt wurden, im Vergleich zu Platten, die aus frischen Fasern gefertigt wurden. Die verwendeten Recyclingfasern wurden durch einen thermohydrolytischen Aufschluss von UF-gebundenen industriell gefertigten mitteldichten Faserplatten (MDF) gewonnen. Als Bindemittel wurden ein UF-Harz und PMDI verwendet. Die Ergebnisse dieser Arbeiten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Verwendung von UF-Recyclingfasern hat sowohl bei der Verleimung mit UF-Harz als auch beim Einsatz von PMDI als Bindemittel kaum Einfluss auf die Querkzugfestigkeit der hergestellten Platten (*Abb. 5.1 b*). Die Biegefestigkeit der UF-gebundenen Platten aus UF-Recyclingfasern ist jedoch deutlich geringer als die der Vergleichsplatten aus frischen Fasern. Dies war bei PMDI-gebundenen Faserplatten nicht festzustellen.

Die Dickenquellung (*Abb. 5.2 b*) der aus UF-Recyclingfasern hergestellten Faserplatten ist höher als die der aus frischen Fasern hergestellten Platten. Insbesondere bei der Verleimung der Recyclingfasern mit einem UF-Harz stellt sich eine besonders hohe Dickenquellung nach einer Wasserlagerung ein. Die Verleimung der UF-Recyclingfasern mit PMDI führt demgegenüber zu Platten, deren Dickenquellung nur geringfügig über der der Vergleichsplatten aus frischen Fasern liegt.

Faserplatten, die aus UF-Recyclingfasern hergestellt wurden, zeigen bei der Verleimung mit UF-Harz und mit PMDI eine höhere Dickenänderung bei Änderung der relativen Luftfeuchte als Platten, die aus frischen Fasern hergestellt wurden. Demgegenüber zeigt die Längenänderung (*Abb. 5.3 b*) bei Änderung der relativen Luftfeuchte keinen Einfluss des verwendeten Faserstoffes und Bindemittels. Verglichen mit den zuvor untersuchten Holzspanplatten weisen die Holzfaserplatten im Allgemeinen eine wesentlich geringere Längenänderung auf.

Die aus Recyclingfasern mit UF-Harz als Bindemittel hergestellten Platten weisen eine den UF-gebundenen aus frischen Fasern gefertigten Platten entsprechende Formaldehydabgabe auf.

Aus den Ergebnissen der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die verwendeten Recyclingspäne und -fasern sich hinsichtlich ihrer Verleimbarkeit mit den verschiedenen Bindemittel deutlich von frischen direkt aus dem Holz gewonnenen Spänen unterscheiden. Insbesondere die industrieübliche erneute Verleimung von Recyclingmaterial, das aus UF-gebundenen Span- und Faserplatten gewonnen wurde, mit einem UF-Harz wirkte sich negativ auf einige der physikalisch-technologischen Eigenschaften der so erzeugten Span- und Faserplatten aus, wohingegen dieser Effekt bei der Verleimung des UF-Recyclingmaterials mit PMDI weitaus geringer ausgeprägt bzw. kaum feststellbar war. Weiterhin ging aus den Ergebnissen der Untersuchungen zur Dimensionsstabilität in der Plattenebene (Längenänderung) hervor, dass Holzfaserplatten eine höhere Dimensionsstabilität in der Plattenebene aufweisen als Holzspanplatten (*Abb. 5.3*).

Im dritten Teil dieser Arbeit sollte untersucht werden, inwieweit Faserdeckschichten, die auf eine Spanmittelschicht aufgebracht werden, in der Lage sind, absperrend auf die Spanmittelschicht zu wirken und ihre höhere Dimensionstabilität auf den Plattenverbund zu übertragen. Die hierzu im Labor hergestellten dreischichtigen Span-Faserplatten wurden zum einen aus frischen Fasern und Spänen und zum anderen aus dem schon zuvor verwendeten Recyclingspänen und -fasern unter Verwendung von UF-Harz und PMDI als Bindemittel gefertigt. Es wurden bei diesen Untersuchungen die folgenden Ergebnisse erzielt:

Die hergestellten Span-Faserplatten weisen ein Rohdichteprofil mit hochverdichteten Faserdeckschichten und einer Spanmittelschicht auf, die

über den Querschnitt eine nahezu konstante Rohdichte zeigt. Hieraus resultiert eine hohe Biegefestigkeit der Span-Faserplatten, die vergleichbar mit der der zuvor untersuchten Faserplatten ist.

Der dreischichtige Aufbau der Span-Faserplatten mit Deckschichten aus hochverdichteten Holzfasern bewirkt eine Reduzierung der Maßänderung in Plattenebene bei Änderung der relativen Luftfeuchte. Die Längenänderung der Span-Faserplatten liegt im Bereich derer von Faserplatten (*Abb. 5.3 c*).

Es konnte anhand der erzielten Untersuchungsergebnisse gezeigt werden, dass sich bestimmte Eigenschaften der zuvor untersuchten Faserplatten, wie die hohe Dimensionstabilität in Plattenebene und die hohe Biegefestigkeit, durch den hier gewählten Plattenaufbau mit Deckschichten aus Holzfasern und einer Spanmittelschicht auf diese Verbundplatten übertragen lassen.

6 Literatur

- ANONYMUS (2005)
Spanplatten europaweit auf Rekordkurs.
Holzzentralblatt 131: 273
- BEECH, J. C. (1975)
The Thickness Swelling of Wood Particleboard.
Holzforschung 29, (1): 11-18
- BOEHME, C. UND WITTKE, B. (2002)
Erfahrungen der Industrie mit dem WKI-Verfahren zum Recycling von Holzwerkstoffen. In: 2. Fachtagung Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie, Tagungsband, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie (Hrsg.), Göttingen: 44-55
- BÖHNER, G. UND ROFFAEL, E. (1987)
Sorptionsverhalten von UF-Spanplatten vor und nach einer Trocknung bei 103°C.
Holz als Roh- und Werkstoff 45: 438
- BURMESTER, A. (1971A)
Zur Vergütung von Holz mit Formaldehyd – Erste Mitteilung: Einfluß verschiedener Parameter auf den Vergütungsgrad.
Holz als Roh- und Werkstoff 29: 51-56
- BURMESTER, A. (1971B):
Zur Vergütung von Holz mit Formaldehyd – Zweite Mitteilung: Kombinierte Behandlung mit Tannin und Formaldehyd.
Holz als Roh- und Werkstoff 29: 97-102
- BURMESTER, A. (1971C)
Zur Vergütung von Holz mit Formaldehyd – Dritte Mitteilung: Behandlung von reaktiviertem Kernholz.
Holz als Roh- und Werkstoff 29: 184-188
- BURMESTER, A. (1975)
Zur Dimensionsstabilisierung von Holz.
Holz als Roh- und Werkstoff 33: 333-335
- CHRISTENSEN, G. UND KELSEY, K. (1959)
Die Geschwindigkeit der Wasserdampfsorption durch Holz.
Holz als Roh- und Werkstoff 17: 178-188

- DEPPE, H.-J. (2003)
Altholz wird für die Holzwerkstoffindustrie knapp.
Holzzentralblatt 129: 69-72
- DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (HRSG.) (1999)
DIN-Taschenbuch 60. Holzfaserplatten, Spanplatten, Sperrholz:
Normen, Richtlinien.
6. Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich
- DÖRY, L. (2004)
Current challenges and opportunities for the European wood-based
panel industry. Vortrag, gehalten anlässlich des 4th European
Wood-Based Panels Symposium, Hannover, 15.-17.09.2004
- ERBREICH, M. (2004)
Die Aufbereitung und Wiederverwendung von Altholz zur
Herstellung von mitteldichten Faserplatten (MDF).
Diss. Universität Hamburg
- ERNST, K. (1967)
Möglichkeiten zur Verminderung der Quellung bei Spanplatten.
Holztechnologie 8: 41-43
- ERNST, K., ROFFAEL, E. UND WEBER, A. (1998)
Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie.
Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen
- FLEISCHER, O. (2001)
Untersuchungen zur Mobilisierung von Formaldehyd und anderen
ökologisch relevanten Stoffen beim thermohydrolytischen Recycling
von Harnstoff-Formaldehyd-Harz-gebundenen Spanplatten und
Altmöbeln. Diss. Techn. Universität Braunschweig,
Mensch-und-Buch-Verlag, Berlin
- FRANKE, R. UND ROFFAEL, E. (1998A)
Zum Recycling von Span- und MDF-Platten. Teil 1: Über die
Hydrolyseresistenz von ausgehärteten Harnstoff-
Formaldehydharzen (UF-Harzen) in Span- und mitteldichten
Faserplatten (MDF).
Holz als Roh- und Werkstoff 56: 79-82
- FRANKE, R. UND ROFFAEL, E. (1998B)
Zum Recycling von Span- und MDF-Platten. Teil 2: Einfluß der
thermischen Behandlung von zerkleinerten UF-gebundenen Span-
und MDF-Platten sowie Kiefernspänen auf die Formaldehyd- und
Ammoniakabgabe.
Holz als Roh- und Werkstoff 56: 381-385

- GEIMER, R. L. (1982)
Dimensional stability of flakeboards as affected by board specific gravity and flake alignment.
Forest Products Journal 32, (8): 44-52
- GREUBEL, D. UND PAULITSCH, M. (1977)
Untersuchungen über die Dimensionsänderungen von Spanplatten in Plattenebene. 3. Mitteilung: Einfluß von Rohstoffzusammensetzung und verfahrenstechnischen Variablen auf die Dimensionsänderung phenolharzgebundener Spanplatten.
Holz als Roh- und Werkstoff 35: 413-420
- GRUPPO MAURO SAVIOLA (2005)
Internet: URL <http://www.sadepan.com> (Stand: 29.06.2005)
- HALLIGAN, A. F. (1970)
A Review of Thickness Swelling in Particleboard.
Wood Science and Technology 4:301-312
- HÜSTER, H. G. (1999)
Beiträge zum Recycling von harstoffformaldehydharzgebundenen Holzspanplatten unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von Tanninen. Diss. Georg-August-Universität Göttingen, Shaker Verlag Aachen, ISBN 3-8265-7200-9
- KHARAZIPOUR, A. , ROFFAEL, E. (1997)
Recycling von Holzwerkstoffen nach einem neuen Verfahren.
In: Kharazipour, A. und Roffael, E. (Hrsg.). Recyclingkonzepte in der Holzwerkstoffindustrie. Schriftenreihe Wald, Holz und Holzwerkstoffe. Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen: 15-29
- KIRCHNER, R. (2000)
Recycling von Holzwerkstoffen durch das Verfahren der thermohydrolytischen Spaltung.
Diss. Georg-August-Universität Göttingen
- KIRCHNER, R. UND KHARAZIPOUR A. (2002)
Recycling von Holzwerkstoffen durch das Verfahren der thermohydrolytischen Spaltung – Die kontinuierliche Prozesstechnologie. In: 2. Fachtagung Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie, Tagungsband, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie (Hrsg.), Göttingen: 72-81
- KLAUDITZ, W., STEGMANN, G. (1951)
Über die grundlegenden chemischen und physikalischen Vorgänge bei der Wärmevergütung von Holzfaserplatten.
Holzforschung 5, (3): 68-74

- KOLLMAN, F. UND SCHNEIDER, A. (1958):
Einrichtungen zur praxisnahen und wissenschaftlich exakten
Messung von Sorptionseigenschaften von Holz und
Holzwerkstoffen.
Holz als Roh- und Werkstoff 16: 117-122
- KOSSATZ, G., DREWES, H., KRATZ, W., MEHLHORN, L. (1982):
Sorptionsverhalten von Holzwerkstoffen in verschiedenen
Umgebungsklimaten. In: Ehlbeck, J. und Steck, G. (Hrsg.).
Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis.
Bruderverlag, Karlsruhe: 75-82
- LEHMANN, W. F. (1972)
Moisture-stability relationship in wood-base composition boards.
Forest Products Journal 22, (7): 53-59
- LEHMANN, W. F. (1974):
Properties of Structural Particleboards.
Forest Products Journal 24, (1): 19-26
- MANTAU, U., WIERLING, R. UND WEIMAR, H. (2003A)
Holzwerkstoffindustrie in Deutschland.
Holzzentralblatt 129: 231, 234
- MANTAU, U., WEIMAR, H. UND LABER, J. (2003B)
Aufkommen und Vertrieb von Sägenebenprodukten.
Holzzentralblatt 129: 1405-1406
- MARUTZKY, R. (2001)
Gebrauchtholz-Recycling – Endlich auf dem richtigen Weg?
RECYCLING magazin 56, (6):8-11
- MARUTZKY, R. (2003)
Neue Wettbewerbssituation bei Holzsortimenten.
Holzzentralblatt 129: 180-181
- MARUTZKY, R. (2003)
Altholz als Rohstoff und Energieträger.
Holzzentralblatt 129: 1409
- MICHANICKL, A. (1996)
Chemisch-Technologische Untersuchungen zur Wiederverwendung
von Holzwerkstoffen aus Altmöbeln und Produktionsrückständen
der Holzwerkstoffindustrie zur Span- und Faserplattenherstellung.
Diss. Universität Hamburg

- MICHANICKL, A. UND BOEHME, C. (1995)
Verfahren zur Wiedergewinnung von Spänen und Fasern aus
Holzwerkstoffreststücken, Altmöbeln, Produktionsrückständen,
Abfällen und anderen holzwerkstoffhaltigen Materialien.
Patent DE-OS 19509152 A1
- MÖLLER, A. (1994)
Plattenförmiger oder geformter Holzwerkstoff.
Patent EP 0664738 B1
- NAVI, P. UND GIRARDET, F. (2000)
Effects of Thermo-Hydro-Mechanical Treatment on the Structure
and Properties of Wood.
Holzforschung 54, (3): 287-293
- NIEMZ, P. UND KUÇERA, L. J. (1999)
Gleichgewichtsfeuchte bei Holzwerkstoffen.
Holzzentralblatt 125: 100
- NIEMZ, P. UND POBLETE, H. (1995)
Untersuchungen zur Gleichgewichtsfeuchte von MDF und
Spanplatten.
Holz als Roh- und Werkstoff 53: 368
- NIEMZ, P. UND POBLETE, H. (1996)
Untersuchungen zur Dimensionsstabilität von mitteldichten
Faserplatten (MDF) und Spanplatten.
Holz als Roh- und Werkstoff 54: 141-144
- NOACK, D. (1969)
Dimensionsstabilisierung von Holz mit Polyäthylenglykol.
Holzzentralblatt 95: 997-998, 1000
- NOACK, D. UND SCHWAB, E. (1977)
Beziehungen zwischen den Rohstoff-Eigenschaften und den
Anforderungen der Verwendung. Teil 2: Eigenschaften und
Verwendung von plattenförmigen Holzwerkstoffen.
Holz als Roh- und Werkstoff 35: 421-429
- ONISKO, W. UND PAWLICKI, J. (1985)
Untersuchungen über die hydrophobierende Wirkung von
Formaldehyd auf Kiefern-Defibratorstoff.
Holzforschung und Holzverwertung 37: 4-6
- PALADIN, R. (2002)
Cleaning up urban forest. In: 2. Fachtagung Umweltschutz in der
Holzwerkstoffindustrie, Tagungsband, Institut für Holzbiologie und
Holztechnologie (Hrsg.), Göttingen: 31-43

- PAULITSCH, M. (1975)
Untersuchungen über die Dimensionsänderungen von Spanplatten in Plattenebene. 1. Mitteilung: Untersuchungsverfahren und bisherige Ergebnisse.
Holz als Roh- und Werkstoff 33: 142-146
- PAWLICKI, J. (1985)
Untersuchungen zum Einfluß von Formaldehyd auf die physikalischen Eigenschaften von Holzfaserplatten.
Holzforschung und Holzverwertung 37: 112-114
- PFLEIDERER (1995)
Verfahren zum Recycling von Holzwerkstoffen.
Patente EP 0581039 B1, DE-OS 4224629 A1
- POPPER, R. UND BARISKA, M. (1972)
Die Acylierung des Holzes – Erste Mitteilung: Wasserdampf-Sorptionseigenschaften.
Holz als Roh- und Werkstoff 30: 289-294
- POPPER, R. UND BARISKA, M. (1973)
Die Acylierung des Holzes – Zweite Mitteilung: Thermodynamik der Wasserdampf-Sorption.
Holz als Roh- und Werkstoff 31: 65-70
- POPPER, R. UND BARISKA, M. (1975)
Die Acylierung des Holzes – Dritte Mitteilung: Quellungs- und Schwindungseigenschaften.
Holz als Roh- und Werkstoff 33: 415-419
- RANTA, L. (1978)
Untersuchungen über die Dimensionsänderungen von Spanplatten in Plattenebene. 4. Mitteilung: Orientierende Versuche zur Verminderung der linearen Flächenänderung durch verfahrenstechnische Optimierung.
Holz als Roh- und Werkstoff 36: 37-44
- RANTA, L. UND MAY, H.-A. (1978)
Zur Messung von Rohdichteprofilen an Spanplatten mittels Gammastrahlen.
Holz als Roh- und Werkstoff 36: 467-474
- ROFFAEL, E. (1975)
Messung der Formaldehydabgabe. Praxisnahe Methoden zur Ermittlung der Formaldehydabgabe harnstoffharzgebundener Spanplatten für das Bauwesen.
Holz-Zentralblatt 101, (111): 1403-1404

- ROFFAEL, E. (1978)
Einfluß der Lagerung von harnstoffformaldehydharzgebundenen Spanplatten auf ihre Formaldehydabgabe.
Adhäsion 22, (6): 180-182
- ROFFAEL, E. (1997)
Stand der Kenntnisse beim Recycling von Holzwerkstoffen.
In: Kharazipour, A. und Roffael, E. (Hrsg.). Recyclingkonzepte in der Holzwerkstoffindustrie. Schriftenreihe Wald, Holz und Holzwerkstoffe. Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Göttingen: 4-14
- ROFFAEL, E., HENNECKE, U., BEHN, C. UND SCHNEIDER, T. (2005)
Zur Veränderung des Holzes während des thermomechanischen Holzaufschlusses bei der Herstellung von mitteldichten Faserplatten (MDF).
Holztechnologie 46, (1):
- ROFFAEL, E., KHARAZIPOUR, A. UND NONNINGER, K. (1996)
Verfahren zur Herstellung von Holzspan- und Faserplatten.
Patent DE-OS 4428119 A1
- ROFFAEL, E. UND SCHNEIDER, A. (1978)
Zum Sorptionsverhalten von Holzspanplatten. Teil 1: Einfluß des Bindemitteltyps und des Bindemittelaufwands auf die Gleichgewichtsfeuchtigkeit.
Holz als Roh- und Werkstoff 36: 393-396
- ROFFAEL, E. UND SCHNEIDER, A. (1979)
Zum Sorptionsverhalten von Holzspanplatten. Teil 2: Einfluß der Holzart auf die Gleichgewichtsfeuchtigkeit.
Holz als Roh- und Werkstoff 37: 259-264
- ROFFAEL, E. UND RAUCH, W. (1972)
Einfluß der Rohdichte auf das Quellungsverhalten von phenolharzgebundenen Spanplatten.
Holz als Roh- und Werkstoff 30: 178-181
- SANDBERG, A. G. (1963)
Verfahren zur Wiedergewinnung von Spanmaterial aus mit ausgehärteten Bindemitteln durchsetzten Abfällen, Sägespänen, Müll usw., zur Herstellung von Spanplatten und ähnlichen gelemten oder gepreßten Erzeugnissen.
Patent DE-AS 1201045

- SATTLER, H. (1997)
Deutung hygrischer Dimensionsänderungen. Stand der Erkenntnisse und Problemstellung – verstärkte Forschungsaktivitäten.
Holz- und Kunststoffverarbeitung 32: 48-51
- SCHLIPPHAK, G. (1965)
Das Sandberg-Verfahren zur Rückgewinnung von Spänen aus Spanplattenabfällen.
Holz als Roh- und Werkstoff 23: 154-155
- SCHNEIDER, A. (1960)
Neue Diagramme zur Bestimmung der relativen Luftfeuchtigkeit über gesättigten wässrigen Salzlösungen und wässrigen Schwefelsäurelösungen bei verschiedenen Temperaturen.
Holz als Roh- und Werkstoff 18: 269-272
- SCHNEIDER, A. (1969)
Beiträge zur Dimensionsstabilisierung des Holzes mit Polyäthylenglykol – Erste Mitteilung: Grundlegende Untersuchungen zur Dimensionsstabilisierung des Holzes mit Polyäthylenglykol.
Holz als Roh- und Werkstoff 27: 209-224
- SCHNEIDER, A. (1973)
Über das Sorptionsverhalten von mit Phenol- und Harnstoffharz verleimten Spanplatten.
Holz als Roh- und Werkstoff 31: 425-429
- SCHNEIDER, T., ROFFAEL, E., WINDEISEN, E. UND WEGENER, G. (2004)
Einfluß der Aufschlusstemperatur auf lösliche Kohlenhydrate bei der TMP-Herstellung.
Holz als Roh- und Werkstoff 62: 321-322
- SCHWAB, E. UND R. SCHÖNEWOLF (1980)
Beurteilung und Prüfung des Quellungsverhaltens von Spanplatten.
Holz als Roh- und Werkstoff 38: 209-215
- SKAAR, C. (1972)
Water in wood.
Syracuse wood science series Vol. 4,
Syracuse University Press, ISBN 0-8156-5034-5
- SUCHSLAND, O. (1972)
Linear Hygroscopic Expansion of selected Commercial Particleboards.
Forest Products Journal 22, (11): 28-32

- SUNDIN, B. UND ROFFAEL, E. (1991)
Bestimmung der Formaldehydabgabe von Holzwerkstoffen nach der Flaschenmethode.
Holz-Zentralblatt 117: 597 - 598
- TOMEK, A. (1966)
Die Heißvergütung von Holzspänen, ein neues Verfahren zum Hydrophobieren von Spanplatten.
Holztechnologie 7, (3): 157-160
- VEREIN DER ZELLSTOFF- UND PAPIER-CHEMIKER UND -INGENIEURE (1957)
Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens (Quellwertes) von Zellstoffen.
Merkblatt IV/33/57, Verein Zellcheming, Darmstadt
- VEREIN DER ZELLSTOFF- UND PAPIER-CHEMIKER UND -INGENIEURE (1973)
Prüfung von Zellstoff, Papier und Pappe – Bestimmung des Stickstoffgehaltes Teil 1: Titrimetrische Verfahren.
Merkblatt IV/54/73, Verein Zellcheming, Darmstadt
- VITAL, B. R., WILSON, J. B. UND KANAREK, P. H. (1980)
Parameters Affecting Dimensional Stability of Flakeboard and Particleboard.
Forest Products Journal 30, 12: 23-29
- WANGAARD, F. UND GRANADOS, L. (1967)
The effect of extractives on water sorption by wood.
Wood science und technology 1, (4): 253-277
- WATKINSON, P. J. UND GOSLIGA, N. L. VAN (1990)
Effect of humidity on physical and mechanical properties of New Zealand wood composites.
Forest Products Journal 40, (7/8): 15-20

7 Anhang

Anhang 1: Zusammenstellung der chemisch-physikalischen Kennwerte der im Rahmen der Untersuchungen hergestellten Recyclingspäne und -fasern sowie der verwendeten frischen Späne und Fasern

Herkunft des Materials Art des Aufschlusses	UF-Spanplatte mechanische Zerkleinerung		PMDI-Spanplatte mechanische Zerkleinerung		industriell hergestellte frische Späne		MDF thermo-hydrolytisch, 130°C/ 1h, Flotte 6:1, 1% NaOH	industriell hergestellte frische Fasern
	MS	DS	MS	DS	MS	DS		
Mittelschicht- (MS)/ Deckschichtspäne (DS)								
≤ 4 mm; > 2 mm	38,5	-	48,6	-	35,7	-		
Siebanalysen Massenanteile der Faktionen [%]	61,5	-	51,4	-	64,3	-		n.b.
≤ 2 mm; > 1 mm								
≤ 1 mm; > 0,5 mm	-	80,6	-	75,4	-	57,9		
≤ 0,5 mm; > 0,2 mm	-	19,4	-	24,6	-	42,1		
kaltwässrige Extrakte	5,06	5,05	5,45	5,43	4,71	4,85	6,61	3,85
pH-Wert								
alkalische Pufferkapazität [mMol NaOH/ 100g atro Späne]	1,49	1,63	1,29	1,82	1,23	1,22	0,27	3,27
Stickstoffgehalt [% atro Späne]	2,15	2,63	0,55	0,75	0,24	n.b.	4,60	0,05
Formaldehydabgabe [mg/ kg atro Späne] (Flaschenmethode, 24 h Prüfdauer)	130,0	145,1	10,6	13,0	33,3	n.b.	200,1	19,8
Wasserrückhaltevermögen (WRV-Wert) [%]	57,9	55,8	53,3	53,0	68,9	57,2	78,3	89,2
bei 35% rel. Luftfeuchte	6,9		7,0		7,6		6,6	6,7
Gleichgewichts- feuchte [%]	8,8	n.b.	9,5	n.b.	10,3	n.b.	9,5	9,1
bei 65% rel. Luftfeuchte								
bei 85% rel. Luftfeuchte	13,4		13,4		16,5		16,2	15,2

n.b. : nicht bestimmt

Anhang 2: Zusammenstellung der Messwerte von Plattendicke, Rohdichte, Querzugfestigkeit und Biegefestigkeit der im Labor gefertigten Span-, Faser- und Span-Faserplatten sowie des für die Herstellung von Recyclingspänen und -fasern verwendeten Ausgangsmaterials

	Plattendicke [mm]		Rohdichte [g/ cm³]		Querzugfestigkeit [N/ mm²]		Biegefestigkeit [N/ mm²]		
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
Ausgangsmaterial	UF-gebundene Spanplatte	16,3	0,0	0,706	0,008	0,67	0,03	14,2	0,8
	PMDI-gebundene Spanplatte	16,4	0,0	0,728	0,013	0,89	0,09	14,5	1,9
	UF-gebundene Faserplatte	7,1	0,0	0,838	0,011	0,77	0,11	44,9	2,8
UF-gebundene Spanplatten, hergestellt aus	frischen Spänen	19,5	0,1	0,678	0,030	0,46	0,04	n.b.	n.b.
	UF- Recyclingspänen	19,0	0,4	0,649	0,022	0,16	0,03	n.b.	n.b.
	PMDI- Recyclingspänen	19,5	0,1	0,657	0,008	0,35	0,02	n.b.	n.b.
PMDI-gebundene Spanplatten, hergestellt aus	frischen Spänen	20,0	0,1	0,673	0,022	0,76	0,08	n.b.	n.b.
	UF- Recyclingspänen	19,5	0,1	0,676	0,031	0,60	0,11	n.b.	n.b.
	PMDI- Recyclingspänen	19,1	0,1	0,700	0,017	0,41	0,08	n.b.	n.b.
UF-gebundene Faserplatten, hergestellt aus	frischen Fasern	6,6	0,1	0,864	0,054	0,42	0,05	21,9	3,0
	UF- Recyclingfasern	6,4	0,1	0,825	0,033	0,36	0,04	8,3	1,3
PMDI-gebundene Faserplatten, hergestellt aus	frischen Fasern	6,9	0,1	0,854	0,039	1,08	0,09	29,2	5,9
	UF- Recyclingfasern	6,8	0,2	0,827	0,059	1,16	0,11	30,4	6,0
UF-gebundene Span-Faserplatten, hergestellt aus	frischen Spänen und Fasern	18,5	0,2	0,665	0,031	0,77	0,08	22,2	1,4
	UF-Recyclingspänen und -fasern	19,0	0,2	0,630	0,039	0,34	0,09	10,7	3,1
PMDI-gebundene Span-Faserplatten, hergestellt aus	frischen Spänen und Fasern	18,7	0,2	0,641	0,022	0,68	0,09	32,9	3,1
	UF-Recyclingspänen und -fasern	18,9	0,1	0,671	0,029	0,56	0,11	20,1	4,4

$\bar{x}$: arithmetischer Mittelwert, s : Standardabweichung, n.b. : nicht bestimmt

Anhang 3: Zusammenstellung der Messwerte von Dickenquellung und Wasseraufnahme der im Labor gefertigten Span-, Faser- und Span-Faserplatten sowie des für die Herstellung von Recyclingspänen und -fasern verwendeten Ausgangsmaterials

	Dickenquellung [%]				Wasseraufnahme [%]				
	2h WL		24h WL		2h WL		24h WL		
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
Ausgangsmaterial	UF-gebundene Spanplatte	6,1	0,2	10,5	0,4	19,6	0,6	33,7	1,0
	PMDI-gebundene Spanplatte	2,3	0,6	4,6	0,6	6,8	0,4	17,8	0,9
	UF-gebundene Faserplatte	1,6	0,7	6,5	0,9	4,2	0,1	16,2	0,7
	frischen Spänen	5,6	0,9	22,4	3,1	22,6	2,4	58,7	4,1
UF-gebundene Spanplatten, hergestellt aus	UF-Recyclingspänen	4,5	0,3	16,4	1,5	15,6	1,6	49,2	3,0
	PMDI-Recyclingspänen	3,0	0,2	17,7	2,0	15,0	2,0	58,8	3,5
PMDI-gebundene Spanplatten, hergestellt aus	frischen Spänen	1,2	0,1	7,6	1,0	4,9	0,4	23,0	1,9
	UF-Recyclingspänen	1,3	0,1	4,5	0,5	5,6	0,4	18,4	1,4
	PMDI-Recyclingspänen	2,0	0,1	10,0	0,5	5,1	0,3	29,7	1,5
UF-gebundene Faserplatten, hergestellt aus	frischen Fasern	4,3	1,0	15,7	2,2	7,7	1,1	32,3	4,6
	UF-Recyclingfasern	12,5	1,4	39,6	2,5	30,1	6,3	86,8	6,5
PMDI-gebundene Faserplatten, hergestellt aus	frischen Fasern	2,0	0,4	8,0	0,9	4,7	0,9	23,1	5,1
	UF-Recyclingfasern	2,2	0,2	10,6	1,3	4,2	0,9	30,4	4,7
UF-gebundene Span-Faserplatten, hergestellt aus	frischen Spänen und Fasern	3,1	0,4	22,6	1,5	21,9	5,3	79,4	2,6
	UF-Recyclingspänen und -fasern	2,7	0,9	24,7	0,8	12,2	2,1	93,6	3,6
PMDI-gebundene Span-Faserplatten, hergestellt aus	frischen Spänen und Fasern	1,2	0,1	9,8	0,9	6,0	0,5	38,0	2,9
	UF-Recyclingspänen und -fasern	1,3	0,2	5,3	0,6	7,4	0,6	21,3	2,3

$\bar{x}$: arithmetischer Mittelwert, s : Standardabweichung, WL : Wasserlagerung

Anhang 4: Zusammenstellung der Messwerte von Längenänderung und Dickenänderung der im Labor gefertigten Span-, Faser- und Span-Faserplatten sowie des für die Herstellung von Recyclingspänen und -fasern verwendeten Ausgangsmaterials

	Längenänderung [%]			Dickenänderung [%]		
	rel. LF 65% > 35%		gesamt	rel. LF 65% > 35%		gesamt
	$\bar{x}$	s		$\bar{x}$	s	
Ausgangsmaterial	UF-gebundene Spanplatte	-0,16	0,03	0,21	0,04	0,37
	PMDI-gebundene Spanplatte	-0,15	0,02	0,20	0,01	0,34
	UF-gebundene Faserplatte	-0,11	0,00	0,12	0,00	0,23
UF-gebundene Spanplatten, hergestellt aus	frischen Spänen	-0,06	0,02	0,22	0,04	0,28
	UF-Recyclingspänen	-0,19	0,01	0,58	0,02	0,76
	PMDI-Recyclingspänen	-0,15	0,01	0,30	0,02	0,46
PMDI-gebundene Spanplatten, hergestellt aus	frischen Spänen	-0,16	0,02	0,16	0,02	0,32
	UF-Recyclingspänen	-0,19	0,01	0,32	0,02	0,51
	PMDI-Recyclingspänen	-0,09	0,02	0,26	0,05	0,35
UF-gebundene Faserplatten, hergestellt aus	frischen Fasern	-0,12	0,00	0,14	0,01	0,27
	UF-Recyclingfasern	-0,12	0,01	0,12	0,02	0,24
	PMDI-gebundene Faserplatten, hergestellt aus	-0,11	0,04	0,14	0,01	0,25
UF-gebundene Span-Faserplatten, hergestellt aus	frischen Spänen und Fasern	-0,14	0,01	0,12	0,01	0,26
	UF-Recyclingspänen und -fasern	-0,07	0,02	0,12	0,01	0,19
	PMDI-Recyclingspänen und -fasern	-0,09	0,02	0,26	0,03	0,35
PMDI-gebundene Span-Faserplatten, hergestellt aus	frischen Spänen und Fasern	-0,09	0,02	0,11	0,02	0,20
	UF-Recyclingspänen und -fasern	-0,09	0,00	0,15	0,01	0,24
	PMDI-Recyclingspänen und -fasern	-0,09	0,00	0,15	0,01	0,24

$\bar{x}$: arithmetischer Mittelwert, s : Standardabweichung, rel. LF : relative Luftfeuchte, gesamt : Σ der Beträge der Maßänderung (35 % > 85 % rel. LF)

Anhang 5: Zusammenstellung der Messwerte der Gleichgewichtsfeuchte der im Labor gefertigten Span-, Faser- und Span-Faserplatten sowie des für die Herstellung von Recyclingspänen und -fasern verwendeten Ausgangsmaterials

		Gleichgewichtsfeuchte [%] bei 20 °C und					
		65% rel. LF		35% rel. LF		85% rel. LF	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Ausgangsmaterial	UF-gebundene Spanplatte	9,5	0,0	6,9	0,0	14,5	0,1
	PMDI-gebundene Spanplatte	10,0	0,2	7,0	0,1	14,9	0,3
	UF-gebundene Faserplatte	7,9	0,1	6,5	0,1	12,0	0,1
UF-gebundene Spanplatten, hergestellt aus	frischen Spänen	9,5	0,1	7,6	0,1	14,2	0,4
	UF-Recyclingspänen	8,5	0,1	6,5	0,0	13,0	0,1
	PMDI-Recyclingspänen	8,5	0,1	6,4	0,1	11,7	0,1
PMDI-gebundene Spanplatten, hergestellt aus	frischen Spänen	9,1	0,2	6,2	0,1	13,3	0,1
	UF-Recyclingspänen	9,1	0,0	6,8	0,0	12,9	0,1
	PMDI-Recyclingspänen	8,3	0,5	7,1	0,3	12,6	0,1
UF-gebundene Faserplatten, hergestellt aus	frischen Fasern	7,2	0,3	5,2	0,2	11,1	0,4
	UF-Recyclingfasern	6,7	0,2	4,5	0,2	10,6	1,0
PMDI-gebundene Faserplatten, hergestellt aus	frischen Fasern	7,1	0,3	5,1	0,2	10,5	0,4
	UF-Recyclingfasern	6,8	0,2	4,6	0,1	10,8	0,3
UF-gebundene Span-Faserplatten, hergestellt aus	frischen Spänen und Fasern	8,5	0,0	7,0	0,1	12,5	0,0
	UF-Recyclingspänen und -fasern	8,9	0,5	7,2	0,1	12,9	0,4
PMDI-gebundene Span-Faserplatten, hergestellt aus	frischen Spänen und Fasern	9,2	0,1	7,8	0,1	13,7	0,5
	UF-Recyclingspänen und -fasern	9,5	0,9	7,9	0,9	13,3	1,0

$\bar{x}$: arithmetischer Mittelwert, s : Standardabweichung, rel. LF : relative Luftfeuchte

Anhang 6: Zusammenstellung der Messwerte der Formaldehydabgabe (Flaschenmethode) der im Labor gefertigten Span-, Faser- und Span-Faserplatten sowie des für die Herstellung von Recyclingspänen und -fasern verwendeten Ausgangsmaterials

		Formaldehydabgabe (Flaschenmethode) [mg HCHO/ kg]	
		3h-Wert	24h-Wert
Ausgangsmaterial	UF-gebundene Spanplatte	4,2	48,6
	PMDI-gebundene Spanplatte	1,3	7,5
	UF-gebundene Faserplatte	3,3	37,7
UF-gebundene Spanplatten, hergestellt aus	frischen Spänen	3,3	28,3
	UF-Recyclingspänen	3,7	40,8
	PMDI-Recyclingspänen	5,8	70,1
PMDI-gebundene Spanplatten, hergestellt aus	frischen Spänen	2,5	20,7
	UF-Recyclingspänen	4,3	44,5
	PMDI-Recyclingspänen	0,3	2,5
UF-gebundene Faserplatten, hergestellt aus	frischen Fasern	2,2	24,8
	UF-Recyclingfasern	2,9	26,5
PMDI-gebundene Faserplatten, hergestellt aus	frischen Fasern	0,8	4,9
	UF-Recyclingfasern	3,5	30,1
UF-gebundene Span-Faserplatten, hergestellt aus	frischen Spänen und Fasern	5,4	75,1
	UF-Recyclingspänen und -fasern	5,7	64,9
PMDI-gebundene Span-Faserplatten, hergestellt aus	frischen Spänen und Fasern	0,9	9,6
	UF-Recyclingspänen und -fasern	3,5	39,0

Die Formaldehydabgabe wurde nach der Flaschenmethode (EN 717-3) mit einer Prüfdauer von 3h und 24h bestimmt.

Lebenslauf

Name	Claus Behn
Geburtsdatum	25.04.1972
Geburtsort	Berlin
Familienstand	verheiratet

Schulbildung

1978 – 1982	Hermann-Billung-Schule in Hermannsburg
1982 – 1984	Orientierungsstufe Hermannsburg
1984 – 1992	Christian-Gymnasium Hermannsburg
Mai 1992	Allgemeine Hochschulreife

Wehrdienst

Juli 1992 – Juni 1993	4./PzArtLBtl 95 in Munster
-----------------------	----------------------------

Universitäre Ausbildung

1993 – 1999	Studium der Forstwissenschaften an der Georg-August-Universität Göttingen
Januar 1999	Abschluss: Dipl.-Forstwirt

Wissenschaftliche Tätigkeit

Juli 1999 – Mai 2000	wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Holzbiologie und Holztechnologie
Juni 2000 – Mai 2002	Stipendium der Stiftung Industrieforschung
seit Juni 2002	wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrbereich Holzchemie und Holztechnologie des Instituts für Holzbiologie und Holztechnologie der Georg-August-Universität Göttingen

