Hubert Vos

Entwicklung von leichten Holzwerkstoffen aus *Abies grandis* (Küstentanne) und *Fagus sylvatica* (Buche)

Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Entwicklung von leichten Holzwerkstoffen aus *Abies grandis* (Küstentanne) und *Fagus sylvatica* (Buche)

Dissertation

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

vorgelegt von

HUBERT VOS

geboren in Kranenburg / Nordrhein-Westfalen

Göttingen, Oktober 2009

Themenbearbeitung am Büsgen-Institut

Abteilung Molekulare Holzbiotechnologie und Technische Mykologie

der Georg-August-Universität Göttingen

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.
1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2010
Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2009

978-3-86955-464-8

1. Gutachter: Prof. Dr. A. KHARAZIPOUR

2. Gutachter: Prof. Dr. E. ROFFAEL

Tag der mündlichen Prüfung: 29.01.2010

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2010
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, 2010
Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86955-464-8

Vorwort

Die vorliegende Dissertation wurde am Büsgen-Institut der Georg-August-Universität Göttingen (Projektleitung: Prof. Dr. A. KHARAZIPOUR) in enger Zusammenarbeit mit der Firma Pfleiderer Holzwerkstoffe GmbH & Co. KG, Neumarkt (Projektleitung: Dr. NONNINGER) angefertigt. Gefördert wurde diese Arbeit vom BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) über den PROJEKTTRÄGER JÜLICH im Rahmen des Förderprogramms „Forschung für nachhaltige Waldwirtschaft“.

Als aller erstes möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Alireza KHARAZIPOUR danken für die stete Unterstützung, das entgegengebrachte Vertrauen während meiner Promotion und für die großzügigen Freiheiten bei der Auswahl meiner Themenschwerpunkte. Herrn Prof. Dr. Edmone ROFFAEL danke ich für die Begutachtung dieser Dissertation.

Für die sehr gute Kooperation mit der Firma Pfleiderer Holzwerkstoffe GmbH & Co. KG geht mein Dank an Herrn Dr. NONNINGER sowie an Carsten KOWALSKI. Insbesondere bedanke ich mich bei der Werksleitung des Spanplattenwerks Gütersloh (PFLEIDERER INDUSTRIE), Herrn Peter BECKERT und Herrn Mathias MEUSERT, für die sehr erfolgreiche Zusammenarbeit. Den Mitarbeitern des Labors Gütersloh, Herrn Jürgen SIEG und Herrn Dieter LANGHORST, danke ich für die Bereitstellung aller notwendigen Daten. Auch den Mitarbeitern des MDF-Werks Nidda (PFLEIDERER INDUSTRIE) möchte ich für die erfolgreiche Durchführung zweier Produktionsversuche danken.

Für die Untersuchungen und Berichterstattung zur Zerspanbarkeit von Holzwerkstoffen danke ich dem INSTITUT FÜR WERKZEUGMASCHINEN UND FERTIGUNGSTECHNIK, Braunschweig (IWF).

Nicht missen möchte ich die Zeit mit meinen hilfsbereiten Arbeitskollegen der AG Kharazipour. Insbesondere danke ich hier Dr. Christian SCHÖPPER, Nina RITTER, Dr. Cora MÜLLER, Dr. Kai LUDWIG, Dr. Christian BOHN, Michael REICHEL, und Dr. Lars KLOESER für die Hilfsbereitschaft und fachliche Unterstützung während meiner Promotion. Allen hier nicht Genannten danke ich für die schöne Zeit in Göttingen nach Dienstschluss! Einen Gruß sende ich an Dorothea FRAGNER, Dr. Claus BEHN und Banyat CHERIDIM, die für ein angenehmes Büroklima gesorgt haben.

Zuletzt möchte ich meinen Eltern danken für die bedingungslose Unterstützung während meines Studiums und meiner Promotion. An dieser Stelle danke ich auch meiner Oma Helga und meiner Oma Martha für die großzügigen Finanzspritzen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

1.1 Ziele der Arbeit 5

1.1.1 Labor- und Technikumsmaßstab 6

1.1.2 Industrielle Produktionsversuche 7

2 Grundlagen 9

2.1 Zur Baumart Abies grandis 9

2.2 Strukturmerkmale des Holzes und der Holzwerkstoffe und ihr Einfluss auf die Qualität der Platten 12

2.3 Einfluss des Rohdichteprofils auf die Platteneigenschaften 14

2.4 Prinzipien der Herstellung leichter Holzwerkstoffe 17

2.5 Industrielle Spanbeleimung 18

2.6 Span- und Mitteldichten Faserplatten; Klassifizierung, Verwendung und Anforderungen 19

3 Material und Methoden 24

3.1 Chemische Analysen 24

3.1.1 Bestimmung des Ligningehaltes nach Halse 24

3.1.2 Besimmung des Pentosangehaltes nach DIN 54361 (Spektrometer- Methode) 25

3.1.3 Kaltwasserextraktion 25

3.1.4 Heißwasserextraktion 26

3.1.5 pH-Wert und Pufferkapazität 26

3.1.6 Ethanol- Cyclohexan Extraktion 26

3.1.7 Bestimmung des Aschegehalts 27

3.2 Bestimmung Partikeleigenschaften 27

3.2.1 Span-und Fasergrößenverteilung 27

3.2.2 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen 28

3.2.3 Schüttgewicht, Streudichte und Verdichtungsverhältnis 28

3.3 Bestimmung der mechanisch- technologischen Eigenschaften 28

3.3.1 Probenentnahme, Zuschnitt und Probenumfang 28

3.3.2 Bestimmung der Rohdichte und des Rohdichteprofils 29

3.3.3 Bestimmung der Querzugfestigkeit 30

3.3.4 Bestimmung der Biegefestigkeit und des Biege-Elastizitätsmoduls 30

3.3.5 Bestimmung der Abhebefestigkeit 30

3.3.6 Bestimmung der Dickenquellung nach Wasserlagerung 31

3.3.7 Bestimmung der Formaldehydabgabe nach der Perforatormethode ... 31
3.3.8 Anforderungen an Span- und Mitteldichte Faserplatten ... 20

3.4 Bindemittel und Additive im Technikumsmaßstab ... 31

3.5 Untersuchungen zur Herstellung von dreischichtigen, UF- Harz gebundenen Spanplatten aus Küstentanne und Buche im Pilotmaßstab ... 32

3.5.1 Material ... 33
3.5.2 Herstellung von dreischichtigen Spanplatten aus Küstentanne und Buche im Pilotmaßstab ... 35

3.6 Untersuchungen zur Herstellung von UF- Harz gebundenen MDF im Pilotmaßstab. 40

3.6.1 Untersuchungsmaterial ... 40
3.6.2 Herstellung von Pilot-MDF aus Küstentanne und Buche ... 41
3.6.3 Versuchsanordnung und Herstellungsarameter für MDF im Pilotmaßstab ... 44

3.7 Ermittlung des holz- und spanspezifischen Pressdrucks bei der Herstellung einschichtiger, UF-Harz gebundener Spanplatten aus Küstentanne; Einflussnahme auf das Rohdichteprofil sowie auf die Querzug- und Biegefestigkeit ... 45

3.8 Industrielle Produktionsversuche zur Herstellung von dreischichtigen, UF-Harz gebundenen Spanplatten aus Küstentannenholz ... 47

3.8.1 Ausgangsmaterial ... 47
3.8.2 Industrielle Herstellung von dreischichtigen Spanplatten aus Küstentanne ... 47

3.9 Ermittlung des holzspezifischen Energieverbrauchs bei der Zerspanung ... 57

3.10 Industrielle Produktionsversuche zur Herstellung von UF- Harz gebundenen, Mitteldichten Faserplatten aus Küstentanne ... 61

3.10.1 Industrielle Herstellung von MDF aus Küstentanneholz ... 61

3.11 Beschichtungsfähigkeit industriell hergestellter Span- und Mitteldichter Faserplatten aus Küstentanne ... 65

3.11.1 Direktbeschichtung ... 65

3.12 Bestimmung der Zerspanbarkeit bei der Fräs- und Schleifbearbeitung ... 68

4 Ergebnisse und Diskussion ... 70

4.1 Chemische Eigenschaften der verwendeten Span- und Fasermaterialien ... 70

4.2 Eigenschaften von dreischichtigen Spanplatten aus Küstentanne und Buche im Pilotmaßstab ... 75

4.2.1 Charakterisierung des verwendeten Spanmaterials ... 75
4.2.2 Mechanisch-technologische Eigenschaften ... 80

4.3 Eigenschaften von MDF aus Küstentanne und Buche im Pilotmaßstab ... 93

4.3.1 Charakterisierung der verwendeten Holzfasern ... 93

4.3.2 Mechanisch-technologische Eigenschaften 95

4.4 Holz-und spanspezifischer Pressdruck bei der Herstellung einschichtiger, UF-Harz gebundener Spanplatten aus Küstentanne; Einflussnahme auf das Rohdichteprofil sowie auf die Querzug- und Biegefestigkeit 103

4.4.1 Charakterisierung der verwendeten Späne 103

4.4.2 Spezifischer Pressdruck, Verdichtungsverhältnis und Rohdichteprofil 104

4.4.3 Querzug- und Biegefestigkeit 109

4.5 Ergebnisse der industriellen Produktionsversuche zur Herstellung von dreischichtigen Spanplatten aus Küstentanne 113

4.5.1 Siebanalysen und Schüttgewichte 114

4.5.2 Eigenschaften von industriell hergestellten, dreischichtigen Spanplatten aus Küstentannenschneidspänen 124

4.6 Holzspezifischer Energieverbrauch bei der Zerspanung 143

4.7 Ergebnisse der industriellen Produktionsversuche zur Herstellung von UF- Harz gebundenen, Mitteldichten Faserplatten aus Küstentanne 147

4.8 Beschichtungsfähigkeit industriell hergestellter Span- und Mitteldichter Faserplatten aus Küstentanne 153

4.8.1 Direktbeschichtung 153

4.9 Zerspanbarkeit von Span- und Mitteldichten Faserplatten bei der Fräs- und Schleifbearbeitung 155

4.9.1 Fräsuntersuchungen 155

4.9.2 Schleifuntersuchungen 161

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen 164

6 Ausblick 173

7 Literaturverzeichnis 177

8 Abkürzungsverzeichis 191

9 Abbildungsverzeichnis 193

10 Tabellenverzeichnis 197

11 Bildverzeichnis 198

12 Anhang 199

12.1 Untersuchungen zur Zerspanbarkeit 199

1. Einleitung

Die Herausforderungen an die Holzwerkstoffindustrie für die Zukunft sind vielfältig und existentiell. Die Notwendigkeit neue, wirtschaftlichere Technologien zu etablieren geht Hand in Hand mit dem Erfordernis innovative Produkte mit speziellen Einsatzgebieten zu entwickeln. Eine besondere Herausforderung stellt dabei der optimale Einsatz von Rohstoffen und Energie an die langfristig orientierte Unternehmensplanung dar. Die Reduzierung der Energie- und Rohstoffkosten mittels neuer Technologien und Produktentwicklungen sichert das Bestehen der einzelnen Unternehmen. Dies nicht zuletzt hinsichtlich eines steigenden Kostendrucks und stark wachsender Anlagenkapazitäten (SCHÖLER, 2005). Nach MICHANICKL (2005) können die wesentlichen Herausforderungen der Holzwerkstoffindustrie auf die Bereiche Technik, Produkte, Märkte, Konkurrenz, Rohstoffe und Energie bezogen werden.

In den ersten Jahren dieses Jahrzehnts wurden in der europäischen Holzwerkstoffindustrie umfangreiche Investitionsmaßnahmen getätigt (MICHANICKL, 2005), wodurch dieser Industriezweig in der Welt heute als technisch führend gilt. Aufgrund neuer, technischer Entwicklungen treten allerdings vermehrt Konkurrenzprodukte gegenüber klassischen Holzwerkstoffen auf, die zum einen zu Veränderungen der europäischen und weltweiten Märkte und zum anderen zu einem steigenden Preis- und Entwicklungsdruck in der Holzwerkstoffindustrie führen. Nicht nur bestehende Märkte gehen verloren, auch die Wachstums-Marktanteile sind betroffen. Dabei sind die Entwicklung und die großtechnische Produktion leichter Holzverbundwerkstoffe, wie zum Beispiel die Wabenplatte, an der klassischen Holzwerkstoffindustrie bis auf wenige Ausnahmen vorbeigegangen. Damit wurde ein großer Wachstumsmarkt bisher kaum beachtet. Verstärkend wirkt sich das bereits erreichte Niveau der Rohstoffkosten (Holz und Bindemittel) auf die Konkurrenzsituation aus, die vor allem die Spanplatte durch andere Werkstoffe angreifbar machen.

Größere Flexibilität zeigen hier mittelständische Holzwerkstoffhersteller, die verschiedene Variationen leichter Verbundwerkstoffe anbieten. Aktuelle Angebote für leichte, klassische Holzwerkstoffe gehen hingegen einher mit stark reduzierten Festigkeitseigenschaften. Diese Platten werden für Anwendungen mit geringen mechanischen Beanspruchungen verwendet. Die Einschränkungen einer Rohdichtereduzierung in der Spanplattenindustrie liegen in der Verwendung schwerer, inhomogener Spanmaterialien aus

unterschiedlichen Holzausgangsstoffen. Die Potentiale für eine Rohdichtereduzierung bei der MDF-Herstellung sind hingegen höher einzuschätzen.

Über die Jahrzehnte ist die mittlere Rohdichte der durchschnittlichen Spanplatte von anfänglich 570 kg/m³ in den fünfziger Jahren auf über 700 kg/m³ in den siebziger Jahren gestiegen (CLAD, 1982). Auch heute liegen die durchschnittlichen Rohdichten noch im Bereich von 620 kg/m³ bis 700 kg/m³. Die Gründe für den Anstieg liegen in der Verknappung von Holz und dem dadurch notwendig gewordenen vermehrten Einsatz von für die Spanplattenindustrie minderwertigeren Holzsortimenten, wie Recyclingholz und Nebenprodukten der Sägeindustrie. Die Erhöhung der Rohdichte wurde zur Kompensation der auftretenden Defizite hinsichtlich der Festigkeitseigenschaften vorgenommen (KEHR, 1974). Über die Jahrzehnte stieg die Substitution des Waldholzes durch andere Holzsortimente und einhergehend stieg damit die durchschnittliche Plattenrohdichte. Parallel wurden effizientere, schnell laufende Beleimmischer etabliert, die die Nutzung von kleinen, rieselfähigen Spangemischen ermöglichten (ENGELS, 1983).

Diese Entwicklung begünstigte zusätzlich die Entstehung höherer Schüttgewichte, die neben ungünstigeren Spangeometrien eine wesentliche Ursache zur Erhöhung der Plattenrohdichte waren und noch heute sind. Weiterhin erforderte die Anwendung neuer Verfahren zur Oberflächenveredelung eine höhere Oberflächengüte der als Träger dienenden Spanplatte. Dies förderte besonders die Herstellung von Spanplatten mit Feinstdeckschichten mit niedrigen Festigkeitseigenschaften, die über Rohdichterhöhungen kompensiert wurden (KEHR und JENSEN, 1970; ENZENSBERGER, 1969). Bei ENGELS (1983) ist eine Gegenüberstellung der durchschnittlichen Schüttgewichte üblicher Spanmaterialien aus dem Jahre 1956 mit denen aus dem Jahre 1977 zu finden. Er stellte fest, dass sich das Schüttgewicht der Deck- und Mittelschichtspäne in diesem Zeitraum um durchschnittlich 60 kg/m³ erhöht hatte. Damit lagen die Schüttgewichte bei ungefähr 100 kg/m³ Mittelschichtspäne beziehungsweise 125 kg/m³ für Deckschichtspäne. Vor allem die stark reduzierte Nutzung von Flachspänen führte zu dieser Entwicklung.

SCHÖLER (2005) verweist auf die Entwicklung der anlagenbezogenen Tagesproduktion, dessen Volumen seit Anfang der siebziger Jahre von 1000 m³ auf teilweise über 2000 m³ hergestellte Holzwerkstoffe gestiegen ist. Die durchschnittliche, jährliche Produktionsmenge einer Spanplattenlinie liegt bei 750.000 m³, einer MDF-Linie bei 450.000 m³ und einer OSB-Linie bei 500.000 m³ (MICHANICKL, 2007). Die hohen Anlagenkapazitäten führen zu einem enormen Rohstoffbedarf, der wiederum die Verwendung unterschiedlicher

Rohstoffe notwendig gemacht hat um diesen Bedarf zu decken. Für gleichbleibende Plattenqualitäten werden die Ausgangsstoffe zu einer weitestgehend homogenen Grundmasse aufbereitet. Wie bereits erwähnt werden dadurch die Festigkeitseigenschaften der Ausgangsstoffe sehr stark minimiert.

Weiterhin sind vor dem Hintergrund steigender Anlagenkapazitäten die steigenden absoluten Herstellungskosten genauer zu betrachten. Die Holzwerkstoffindustrie ist eine energieintensive Industrie. Etwa 25 % bis 30 % der Herstellungskosten sind Energiekosten bei einer jährlichen Steigerungsrate der Energiekosten von 3 % bis 5 % (KOCK, 2005). Davon sind etwa 10 % bis 30 % allein der Zerkleinerung des Holzes zuzurechnen. Dabei ist die Zerfaserung energieaufwändiger als die Zerspanung und die Direktzerspanung von Rundholz kostenintensiver als die Aufbereitung über Hackschnitzel zu Spänen. Einsparpotentiale auf diesem Sektor würden daher große Auswirkungen bei den Herstellungskosten bewirken.

Eine Möglichkeit der Kostenreduktion ist die Optimierung und Weiterentwicklung klassischer Holzwerkstoffe zur Bereitstellung alternativer Produkte für alte und neue Anwendungsbereiche. Holzwerkstoffe mit geringem spezifischem Gewicht könnten hier eine Lösungsmöglichkeit darstellen. Neben den Vorteilen des Produktes selbst sind auch die Möglichkeiten der Reduzierung von Rohstoff- und Energiekosten die entscheidenden Argumente zu solchen Bestrebungen, gerade auch im Hinblick auf die Kosten, die durch die Zerkleinerung des Holzes entstehen. Die zunehmende Rohstoffverknappung fordert zudem eine optimale Nutzung der eingesetzten Holzgüter. Das Thema Rohdichtesenkung bei klassischen Holzwerkstoffen ist nicht neu und wird in der Literatur immer wieder behandelt (CLAD, 1982; ERNST, 1979). Die Ausführungen beziehen sich durchweg auf technische Verbesserungen des Produktionsprozesses bei gegebenen Ausgangsrohstoffen oder behandeln eine grundlegende Veränderung der Formstruktur des Plattenwerkstoffes. Die Frage nach den geeigneten Anforderungen an den Rohstoff selbst steht dabei zumeist im Hintergrund.

Die produktorientierten Anforderungen an Technologie und Rohstoff stehen bei leichten Platten im Mittelpunkt für neue Konzeptionen. Die verstärkte Einbeziehung der spezifischen Holzeigenschaften bei der Span- und Faseraufbereitung ist bei dieser Entwicklung unumgänglich. Die wichtigsten Ansprüche, die an den Rohstoff Holz gestellt werden müssen sind zum einen die grundsätzliche Eignung für die Herstellung von leichten Holzwerkstoffen und zum anderen die Verfügbarkeit und die damit verbundenen Anschaffungskosten.

Nach THOLE (2009) bestehen drei unterschiedliche Prinzipien der Rohdichtereduzierung. Hiernach wird zwischen einer Erhöhung des intrapartikulären Porenraums, des interpartikulären Porenraums und einer Veränderung der Formstruktur unterschieden. Im Bereich der Span- und Faserwerkstoffe sind diese drei Prinzipien von der Entwicklungsseite her realisierbar oder sind bereits in der industriellen Produktion umgesetzt worden. Allen leichten Holzverbundwerkstoffen zugleich ist die Veränderung der Mittellage zur Reduktion der Rohdichte. Verschiedene Lösungen sind dabei industriell umgesetzt worden. Die technischen Probleme dieser Plattenwerkstoffe liegen bei den mechanischen Eigenschaften, den Schmalflächen und in der Montage und Verbindung dieser Platten. Diese Probleme wurden bis dato nur unzureichend gelöst oder bedürfen aufwändiger Technologien für Kanten, Beschläge und Montage (THOLE, 2009; PETUTSCHNIGG, 2004, 2005). Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Leichtbau von Seiten der Produzenten eine Absichtserklärung darstellt. Das Gewicht einer Konstruktion aus funktionalen oder ökonomischen Gründen zu reduzieren oder zu minimieren, ohne die Tragfähigkeit, die Steifigkeit oder andere Funktionen der Konstruktion zu schmälern, ist hier der zentrale Aspekt (WIEDEMANN, 1996).

Leichte, lignocellulosehaltige Rohstoffe haben den Vorteil, dass die daraus erzeugten Einzelpartikel, bei einer hohen intrapartikulären Porosität, sehr gute Festigkeiten aufweisen. Dies führt zu hohen Festigkeiten der Plattenwerkstoffe, da der Raum zwischen den Partikeln klein gehalten wird und somit höhere Festigkeiten in der Mittelschicht bestehen. Auf diesem Sektor haben sich bereits zahlreiche Rohstoffe aus Lignocellulosen etabliert, wie zum Beispiel Hanf- und Kenafschäben. Leichte Holzarten, wie zum Beispiel die Pappel, haben sich trotz positiver Eigenschaften zur Herstellung leichter Werkstoffe nicht durchsetzen können. Die Grenzen der Rohdichtesenkung bei klassischen Holzwerkstoffen liegt im Bereich der holzeigenen Rohdichte, da hier die hohe Interporosität zu geringen festigkeitsbildenden Partikelkontakten führt. Je geringer die Rohstoffdichte, desto niedriger können demnach die Werkstoffdichten sein.

Die hohen Festigkeitseigenschaften von Lignocellulosen sind begründet in der chemischen Zusammensetzung und dem strukturellen Aufbau der Zellwand (KHARAZIPOUR, 1996). Nach KHARAZIPOUR (1996) ist die Kombination von Cellulose, als Komponente der Zugfestigkeit, mit Lignin als Inkrustration und Hemicellulose als Kompatibilizer, die eine feste Verbindung zwischen den Komponenten ermöglicht, die Ursache für hohe Stabilität bei gleichzeitig maximaler Elastizität der Lignocellulosen. Die Verwendung dieser hervorragenden technischen Potentiale können zur Herstellung leichter und kostengünstiger Holzwerkstoffe eingesetzt werden. Die grundlegenden Zusammenhänge und

Gesetztmäßigkeiten zwischen Spanstruktur, Plattenrohdichte und Platteneigenschaften (KLAUDITZ, 1952, 1955, 1958) bleiben dabei unberührt.

Untersuchungen an der Universität Göttingen haben gezeigt, dass thermo-mechanischer Holzstoff (TMP) aus Küstentanne sowie Späne aus Küstentanne für die Herstellung von Mitteldichten Faserplatten (MDF) beziehungsweise Spanplatten mit geringer Rohdichte eingesetzt werden können (RITTER, 2007; MARTUNIS, 2008; MÖHRING, 2007; VOS, 2005; VOS und KHARAZIPOUR, 2008). Im Rahmen des Förderprogramms „Forschung für nachhaltige Waldwirtschaft“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wurden im Rahmen dieser Arbeit vertieft Untersuchungen zum Einsatz von Küstentannen- und Buchenholz zur Herstellung von leichten MDF- und Spanplatten durchgeführt.

In den vergangenen Jahrzehnten gab es immer wieder Anbauempfehlungen für die große Küstentanne (SCHUMACHER, 1967; OTTO, 1991; NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 1996). Begründet wurden diese Empfehlungen unter anderem mit der guten ökologischen Integrationsfähigkeit und dem enormen Wuchspotential. Neuere Untersuchungen an der NORDWESTDEUTSCHEN FORSTLICHEN VERSUCHSANSTALT (NW-FVA) bestätigen der Küstentanne diese Eigenschaften. Die NW-FVA spricht der Küstentanne, neben der Douglasie, das Potenzial zu, zu einer der wichtigsten fremdländischen Baumarten in Deutschland zu werden. Somit kann diese Baumart bei einer positiven Weichenstellung für einen verstärkten Anbau eine bedeutende Alternative zu den bereits etablierten Nadelhölzern in Deutschland werden. Trotz der derzeit noch nachrangigen Marktbedeutung der Küstentanne, muss die Forst- und Holzwirtschaft auf die möglichen Fragen und Probleme hinsichtlich der Eigenschaften, Verwendung und Vermarktung des Holzes vorbereitet sein (WELLHAUSEN, 2003).

1.1 Ziele der Arbeit

Die vorliegende Arbeit hat den Einsatz von Küstentannen- und Buchenholz zur experimentellen Herstellung von hochwertigen Span- und Mitteldichten Faserplatten (MDF) zum Ziel. Dabei werden erstmalig gezielte Untersuchungen zur Verwendung von Küstentannenholz für die Holzwerkstoffherstellung durchgeführt. Diese Versuche sollen aufzeigen, ob die große Küstentanne auch über eine ausschließliche Massenergänzung hinaus als Ressource für die Herstellung von hochwertigen, leichten Holzwerkstoffen einsetzbar ist.

Die enge Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie soll hier zu aussagekräftigen Kernergebnissen führen. Erste, richtunggebende Untersuchungen im Labor- und Pilotmaßstab sollen dabei potentielle Möglichkeiten des Küstentannenholzes für realisierbare Produktionsversuche unter industriellen Bedingungen aufzeigen. Die relevanten Produktionsdaten aller verwirklichten Industrieversuche werden zur Beurteilung der Verwendbarkeit des Holzes herangezogen. Die Auswertungen sollen kennzeichnende Holzeigenschaften der Küstentanne herausstellen und neue Entwicklungsansätze liefern, die sodann auf Technikumsebene eingehender verfolgt werden können.

1.1.1 Labor- und Technikumsmaßstab

Zur Beurteilung der speziellen Eignung des Holzes werden vorerst Literaturhinweise über die grundsätzlichen verwendungsrelevanten Eigenschaften der Küstentanne herangezogen. Dabei sollen vor allem Erkenntnisse aus der holzbe- und -verarbeitenden Industrie erste Orientierungsansätze geben. Die Reihenfolge der Schwerpunktsetzung der Untersuchungen richtet sich nach der industriellen Abfolge der Span- und Faserplattenherstellung. So ist stets ein Praxisbezug gegeben.

Die Bearbeitbarkeit des Küstentannenholzes soll hier über die Zerspanung und Zerfaserung charakterisiert werden. Sie zeigt sich zum einen im Bearbeitungswiderstand und zum anderen in der Partikelqualität nach der Zerkleinerung. Die Ermittlung und Bewertung dieser Einflussgrößen stellt einen wesentlichen Kern dieser Arbeit dar. Über chemische und morphologische Analysen sollen die entscheidenden holzspezifischen Partikelparameter herausgestellt werden. Die Bedeutung der Holzrohdichte und des Schüttgewichts der Späne für die späteren mechanisch-technologischen Eigenschaften der daraus hergestellten Platten soll in diesem Zusammenhang über Pressdruckmessungen gezeigt werden.

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Entwicklung leichter Span- und Faserplatten aus Küstentannenholz sowie neuartiger Holzwerkstoffe aus Küstentannenholz in Kombination mit Buchenholz, die hier als Sandwichplatten bezeichnet werden. Das Buchenholz soll hier ausschließlich in der Mittelschicht verwendet werden. Mögliche gesundheitsgefährdende Buchenschleifstäube können so vermieden werden. Zudem soll in diesem Zusammenhang die Bedeutung der Deckschicht für die Querzugfestigkeit erläutert werden, gerade auch im Hinblick auf eine sinnvolle Rohdichtesenkung der Platten. Dabei sollen allein die spezifischen Eigenschaften des Küstentannenholzes zu leichten

Holzwerkstoffen mit hohen Festigkeitseigenschaften führen. Es soll gezeigt werden, wie geringe Holzrohdichten in Verbindung mit geeigneten Spanstrukturen für Deck- und Mittelschicht zur Herstellung von leichten Spanplatten mit hohen Festigkeiten eingesetzt werden können. Eine Beimischung von anderen, holzfremden Füllmaterialien ist in diesem Projekt nicht vorgesehen.

1.1.2 Industrielle Produktionsversuche

Bei der Durchführung der industriellen Produktionsversuche mit Küstentannenholz ist es zunächst von primärer Bedeutung, einen reibungslosen Ablauf in allen Produktionsabschnitten zu gewährleisten. Dabei sollen alle auftretenden Schwierigkeiten dokumentiert und wenn möglich direkt oder in nachfolgenden Produktionsversuchen ausgebessert werden. Besonderes Augenmerk liegt hier in den Bereichen der Zerkleinerung, also Zerspanung und Zerfaserung, sowie im Beleimungssektor und in den Produktionsabschnitten der Streumaschinen, Vorpresse und Presse, die sensible Bereiche in der Span- und Faserplattenproduktion darstellen.

Die Zerspanung und Zerfaserung haben einen besonderen Stellenwert hinsichtlich aller weiterführenden Untersuchungen, die während der industriellen Fertigung sowie in anschließenden im Labor- und Pilotmaßstab getätigten Versuchen, durchgeführt werden. Die Qualität der Späne und Fasern ist nicht nur ausschlaggebend für die Qualität der daraus herzustellenden Span- und Mitteldichten Faserplatten, sie soll auch rückwirkend die Bearbeitbarkeit des eingesetzten Holzes der Küstentanne dokumentieren. Ein Vergleich mit anderen Holzarten, wie Fichte und Kiefer, unter Berücksichtigung aller für die Zerspanung und Zerfaserung wesentlichen Holzparameter, soll die Eigenschaften des Küstentannenholzes weiter beleuchten. Zerspaner und Refiner werden dafür mit produktionsüblichen Grundeinstellungen gefahren. Die Bearbeitbarkeit soll zusätzlich über den Energiebedarf der Zerspanung ermittelt werden.

Im weiteren Versuchsverlauf dienen diese Rohpartikel als Ausgangspunkt für alle späteren qualitativen und quantitativen Partikelbeschreibungen während des Produktionsprozesses. Durch den ausschließlichen Einsatz von Waldholz sollen so Produktionsbereiche ermittelt werden, die zu gewünschten und unerwünschten Veränderungen der Partikelgüte führen. Vertiefend soll dies bei der industriellen Spanplattenproduktion stattfinden, da hier eine gezielte aber auch eine unkontrollierte

Nachzerkleinerung und Separierung der Holzpartikel ein typisches Charakteristikum darstellt. Die Frage, wie sich Fördertechnik, Trockner, Siebmaschinen beziehungsweise Sicht-Systeme und Beleimungssysteme auf die Spangüte auswirken, soll hier von entscheidender Bedeutung sein.

Darüber hinaus stehen die zuvor genannten Produktionsbereiche unter besonderer Beobachtung. Kann eine kontinuierliche Produktion unter ausschließlicher Verwendung einer Holzart mit geringer Rohdichte und geringem Schüttgewicht gewährleistet werden? Darüber hinaus soll überprüft werden, ob die daraus produzierten Platten die positiven Festigkeitseigenschaften der Labor- und Pilotspanplatten bestätigen können.

Nicht nur die verwertungsorientierten Untersuchungen an Küstentanne sind Bestandteil der industriellen Produktionsversuche, auch hier stellt die sukzessive Kombination mit anderen Holzarten und Spangemischen einen wesentlichen Bereich der Untersuchungen dar. Vorrangig wird hier das im Projekt eingebundene Buchenholz verwendet. Von industrieller Seite kann es zudem von Bedeutung sein, ob durch die geringe Beimischung von Küstentannenspänen eine Verbesserung der Platteneigenschaften erreicht werden kann.

Auch sollen Vor- und Nachteile für die weiterverarbeitende Industrie aufgezeigt werden. Orientierend wird dazu die Zerspanbarkeit einiger ausgesuchter Span- und Faserplatten bei der Fräs- und Schleifbearbeitung untersucht. Zudem sollen Beschichtungsversuche mit HPL-Schichtstoffen und Melaminpapieren Hinweise auf eine spätere Verwendbarkeit in der Möbelindustrie liefern.

2 Grundlagen

2.1 Zur Baumart Abies grandis

Die ursprüngliche Heimat der Küstentanne (*Abies grandis*) ist der Nordwesten Nordamerikas. Hier unterscheidet man zwischen zwei Hauptverbreitungsgebieten, dem Küstenverbreitungsgebiet und dem Inlandsverbreitungsgebiet (MERKBLATT, 1984).

- Vorkommen der Küstenform: Südöstliches British-Columbia; östlich von Vancouver Island; Flachland, Küstengebirge sowie die Kaskaden des westlichen Washingtons; West-Oregon und dem nordwestlichen Kalifornien.
- Vorkommen der Inlandsform: Südliches British-Columbia; Östliches Washington; Zentral-Idaho; Westliches Montana sowie nördliches Oregon.

Aufgrund der ausgedehnten Areale der Inlands- und der Küstenform ergibt sich eine Vielzahl von Klimarassen (STRATMANN, 1988), darüber hinaus bestehen zahlreiche Vergesellschaftungen mit anderen Baumarten.

Im Gegensatz zur Inlandsform bevorzugt die Küstenform ein atlantisches Klima mit hoher Luftfeuchtigkeit und geringen Extremtemperaturen und sie ist wenig winterhart. Durch spätes Austreiben und schnelles Verholzen bestehen allerdings geringe Gefährdungen durch Spät- und Frühfrosteinflüsse (MERKBLATT, 1984). Sie wächst in nicht zu heißen und nicht zu trockenen Lagen, kürzere Trockenperioden kann sie gut ertragen. Ihre besten Wachstumsbedingungen findet sie in unteren Hanglagen, Senken und Schluchten. Die Inlandsform hingegen ist an das kontinentale Klima gewöhnt, dass heißt sie toleriert sowohl extreme Winter als auch längere Trockenzeiten mit hohen Temperaturen.

So vielseitig wie die klimatischen Bedingungen sind auch die Ansprüche der Küstentanne an die Bodenverhältnisse in den Verbreitungsgebieten. Nach RIEBEL (1994) ist eine leichte Bevorzugung frischer, tiefgründiger und lehmiger Böden zu erkennen. Starke Probleme zeigt sie hingegen bei verdichteten und stauwasserbildenden Böden.

Zur Beurteilung der Verwendbarkeit des Holzes für die Holzwerkstoffherstellung wurden zunächst Literaturangaben über die grundsätzlichen verwendungsrelevanten Eigenschaften der Küstentanne herangezogen. Erkenntnisse aus der holzbe- und verarbeitenden Industrie wurden dabei besonders berücksichtigt.

Nach SCHUMACHER (1967) liegt das durchschnittliche Höhenwachstum der Küstentanne bei 1,35 m pro Jahr. Demgegenüber wird im „Merkblatt für fremdländische Baumarten“ (MERKBLATT, 1984) das durchschnittliche Höhenwachstum mit 25 cm bis 73 cm angegeben. Hierbei wird allerdings auf eine starke Stagnation des Wachstums mit zunehmendem Alter hingewiesen. Nach RIEBEL (1994) kulminiert die Küstentanne in einem Alter zwischen 40 und 50 Jahren. Grundsätzlich kann jedoch auf ein starkes und schnelles Höhenwachstum geschlossen werden. Dies zeigen auch die Angaben von KRAMER (1976), die sich auf Versuchsflächen in den neuen Bundesländern beziehen. Dort wurden auf besseren Sandböden bei einem Bestandesalter von 38 Jahren Höhen von bis zu 14,5 m und auf geringen Sanden von bis zu 12,5 m erreicht. Deutlicher wird die Leistungsfähigkeit durch die von STRATMANN (1988) zusammengetragenen Informationen über Anbauten in verschiedenen Bundesländern. So verweist er auf einen Anbauversuch im Sauerland, wo 83-jährige Küstentannen Höhen von über 35 m erreicht haben. Den Gesamtvorrat gibt SCHUMACHER (1967) mit 444 Vfm/ha für einen 40 Jahre alten Bestand an. In Norddeutschland beziffert man den durchschnittlichen Gesamtzuwachs für 40-jährige Bestände (dGz 40) mit 16-20 Efm/ha, in England mit 18-28 Efm/ha für das Alter 50 (MERKBLATT, 1984). Nach KRAMER (1976) erreichen deutsche Bestände vergleichbare Werte, daher bezeichnet er die Küstentanne als die leistungsfähigste Nadelbaumart Westeuropas.

Nach MÜLLER (1938) besitzen die Fasern der Küstentanne eine durchschnittliche Länge von 3,2 mm. Er bezieht sich hier auf Untersuchungen aus den USA, die im Auftrag der bayrischen Versuchsanstalt und der Münchner Ministerialforstabteilung durchgeführt wurden. Damit weist sie ähnliche Werte wie die gemeine Fichte (*Picea abies*) auf. Hinsichtlich der Jahrringbreiten bestehen unterschiedliche Angaben in der Literatur. KNIGGE (1960) führt Ergebnisse aus über 4000 Messungen an 9 Stämmen in Norddeutschland an. Die durchschnittliche Jahrringbreite gibt er mit 5,04 mm an. Die Einzelwerte variieren dabei von 0,32 mm bis 15,71 mm. RIEBEL (1994) verweist auf Messungen in Baden-Württemberg, die eine durchschnittliche Jahrringbreite von 5,0 mm ergeben. SCHWAB UND STRATMANN (1983) geben mit 3,6 mm deutlich geringere Werte für Stämme aus dem Forstamt Syke an. Die Jahrringbreiten stimmen hinsichtlich des Dickenwachstums mit den Angaben aus der Literatur überein. Das Dickenwachstum wird hier mit 3 mm bis 11 mm pro Jahr angegeben.

MÜLLER (1938), RIEBEL (1994) sowie SCHWAB UND STRATMANN (1983) beschreiben weitere Informationen zu den oben genannten Untersuchungen hinsichtlich der Normalrohdichte und der Darrdichte des Küstentannenholzes. Dabei liegen die Normalrohdichten zwischen 0,40 g/cm³ und 0,47 g/cm³ und die Darrdichten bei 0,36 g/cm³

bis 0,45 g/cm³. Die Werte zu den Normal- und Darrdichten der Küstentanne sind vergleichbar mit denen der Fichte und der Weißtanne (HAPLA, 2002; NIEMZ, 1993; SELL, 1989). Dies gilt auch für das Quell- und Schwindverhalten des Küstentannenholzes. Bei einem Vergleich der Rohdichten bzw. Darrdichten mit den Werten der Jahrringbreiten ist festzustellen, dass bei einer durchschnittlich höheren Jahrringbreite die Dichte durchschnittlich niedriger ist.

Die Ergebnisse der mechanisch-technologischen Prüfungen zeigen eine weitgehende Übereinstimmung der Küstentanne mit den Eigenschaften von Fichte und Weißtanne. Dies gilt sowohl für die Druckfestigkeit, mit Werten zwischen 30,8 N/mm² und 46,4 N/mm² (HAPLA, 2002; NIEMZ, 1993; FRÜHWALD u.A., 1981; SCHWAB UND STRATMANN, 1983), als auch für die Biegefestigkeit, die in der Literatur mit Werten zwischen 60 N/mm² und 80 N/mm² angegeben wird (RIEBEL, 1994; ERIKSON, 2000). Auch beim Biege-Elastizitätsmodul können bei Werten zwischen 8.500 N/mm² bis 11.350 N/mm² keine erheblichen Unterschiede zwischen den drei Baumarten festgestellt werden (FRÜHWALD, 1981; SELL, 1989; HAPLA, 2002).

Eine wichtige Voraussetzung für eine wirtschaftliche Weiterverarbeitung des Holzes ist eine leichte Bearbeitbarkeit. Dem Küstentannenholz wird aufgrund eines gleichmäßigen Faserverlaufs, der niedrigen Rohdichte und einer uniformen Textur ein geringer Bearbeitungswiderstand zugesprochen (JOHNSON und BRUNDAGE, 1934). Auch nach MÜLLER (1938) ist das Küstentannenholz leicht zu bearbeiten. Neben einer gleichmäßigen Textur und einer geringen Rohdichte spielt für ihn das weiche Holz eine zusätzliche Rolle. Gleiche Aussagen treffen ALDEN (1997) und SACHSSE (1991).

Sehr gute Eigenschaften zeigt die Küstentanne bei Oberflächenbehandlungen. Fehlende Harzkanäle sowie der gleichmäßige anatomische Aufbau geben dem Holz ein gutes Haltevermögen für Farben und Lacke (KNIGGE, 1960). Auch ALDEN (1997) und SACHSSE (1991) bestätigen diese guten Farbhalteeigenschaften. Nach SELL (1989) ist die Oberflächenbehandlung bei der Fichte (*Picea abies*) weniger problematisch als bei Kiefernarten, jedoch stuft er die Eigenschaften schlechter ein als bei Tannenarten. Hinsichtlich der Verleimbarkeit weist das Holz der Küstentanne ausgezeichnete Eigenschaften auf (SACHSSE, 1991; ALDEN, 1997; MÜLLER, 1938). Wiederum werden diese Eigenschaften mit der gleichmäßigen Textur und durch das Fehlen von Harzkanälen begründet. Damit verfügt das Holz der Küstentanne über sehr gute Voraussetzungen für die Herstellung von Holzwerkstoffen.

Da die Küstentanne in Deutschland derzeit noch keine große Marktrelevanz besitzt, beziehen sich die Verwendungsmöglichkeiten des Holzes auf den amerikanischen Markt. Dort erfährt sie große Wertschätzung in der Zellstoff- und Papierindustrie. Sowohl im Sulfit- als auch im Sulfatverfahren ergeben sich relativ hohe Ausbeuten (KNIGGE, 1960). Zudem ist der Zellstoff leicht bleichbar und für unterschiedliche Papiersorten verwendbar. Die Vorteile liegen dabei in der Faserlänge, der Harzfreiheit und der hellen Holzfarbe (SCHUMACHER, 1967; KRAMER, 1976; CAESAR, 1979; FOILES et al., 1990). Ein weiterer Einsatzbereich der Küstentanne liegt in der Kistenherstellung. Die helle Farbe, das geringe Gewicht und das Fehlen von Flecken und Harztaschen machen sie zu einem begehrten Rohstoff in diesem Bereich. Zudem ist das Holz im getrockneten Zustand völlig geruchlos (SCHUMACHER, 1967; KNIGGE, 1960; KRAMER, 1976; SACHSSE, 1991). Des Weiteren findet die Küstentanne Verwendung im Bau- und Konstruktionsholzbereich sowie für Verkleidungen und Vertäfelungen. Über den Einsatz von Küstentannenholz in der Holzwerkstoffindustrie beziehungsweise der Holzwerkstoffforschung ist zurzeit nichts bekannt.

2.2 Strukturmerkmale des Holzes und der Holzwerkstoffe sowie ihr Einfluss auf die Qualität der Platten

Holz und Holzwerkstoffe können in drei Strukturebenen unterteilt werden; in eine Makro-, eine Mikro- und eine Submikrostruktur. Alle drei Strukturebenen haben gleichermaßen Einfluss auf die Eigenschaften des Holzes beziehungsweise der daraus hergestellten Holzwerkstoffe (NIEMZ, 1993). In Abbildung 2.2-1 sind die wesentlichen Strukturmerkmale von Holz und Holzwerkstoffen dargestellt. Die einzelnen Merkmale haben dabei unterschiedlich starken Einfluss auf die Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen. Nach NIEMZ (1993) entspricht der mikroskopische und submikroskopische Aufbau der Holzwerkstoffe im Wesentlichen dem des nativen Holzes. Faserdeformationen, Veränderungen der Porenstruktur sowie das Grenzflächenverhalten Holz/Klebstoff und die Klebeverbindungen zwischen den Partikeln sind Parameter, die zusätzlich bestimmend für die Qualität der Holzwerkstoffe sind. Die Grenzfläche (Interphase) zwischen Holzoberfläche und Bindemittel ist dabei meist das kritische Element (DUNKY und NIEMZ, 2002).

Im makroskopischen Bereich von Holz sind vor allem die Jahrringbreite, der Früh- und Spätholzanteil, der Faser-Last-Winkel und die Ausbildung von Reaktionsholz bedeutsam. Im mikroskopischen Bereich besitzen unter anderem die Gewebeanteile, die Zell-

beziehungsweise Faserabmessungen sowie der Faserverlauf eine entscheidende Rolle. Dabei findet eine Beeinflussung der submikroskopischen Merkmale über die mikroskopischen zu den makroskopischen Merkmalen statt, die dann weitestgehend die mechanisch-physikalischen Eigenschaften des Holzes bestimmen.

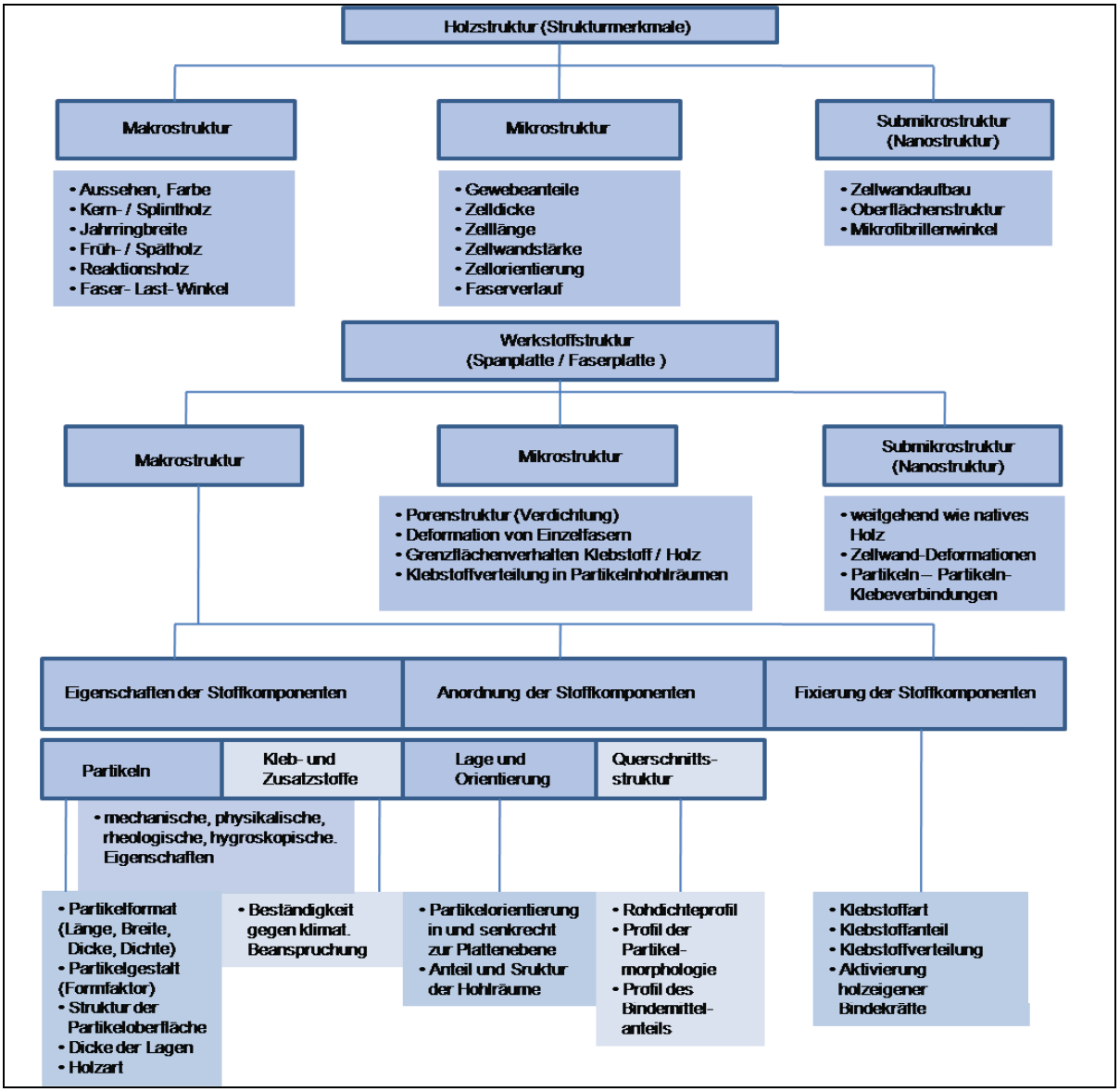

Abbildung 2.2-1: Strukturmerkmale von Holz, Spanplatten und Mitteldichten Faserplatten (MDF) in Anlehnung an NIEMZ (1993) und WALTHER (2005).

Das Holz, der Bindemitteltyp und die Herstellungsbedingungen sind die Kern-Einflussgrößen für die Eigenschaften der Holzwerkstoffe. Abbildung 2.2-1 verdeutlicht, dass im Wesentlichen die Partikelformate und die Klebstoffparameter die Eigenschaften von Span- und Faserplatten bestimmen. Bezüglich der Spanplatten wären dies Spanlänge, Spanbreite sowie Spandicke und der daraus zu berechnende Schlankheitsgrad der Späne. Die Beschaffenheit der Spanoberfläche hat hier ebenfalls einen großen Einfluss. Die

Spangeometrie ist abhängig von den Herstellungsbedingungen; so spricht man zum Beispiel von Schneid- oder Schlagspänen. Aber auch innerhalb der Schneidspäne bedingt der Einsatz unterschiedlicher Zerspanertypen, wie zum Beispiel Messerringzerspaner und Messerwellenzerspaner, ganz unterschiedliche Spangeometrien, die damit auch verschiedene Einflussmechanismen auf die späteren Spanplatteneigenschaften haben. Ferner sind Holzart und Holzfeuchte während der Zerspanung die entscheidenden Größen für die Ausbildung der Spangröße und der Spanstruktur.

Das Schüttgewicht gibt Informationen über das Volumen des locker gestreuten Spanmaterials bei einem bestimmten Gewicht und wird in kg/m³ angegeben. Wie oben erwähnt, basiert das Schüttgewicht, beziehungsweise die Streudichte der Späne auf der Rohdichte des nativen Holzes und auf der Spangeometrie. Wichtig ist das Schüttgewicht für die Überwachung von Bunkerfüllständen und die Regelung der Fahrgeschwindigkeiten bei der Beleimung sowie bei der Streuung und der Verpressung von Spanplatten. Zusätzlich müssen hiernach gegebenenfalls die Distanzen der Vorpresse und des Presseneinlaufs eingestellt werden. Zudem gibt das Schüttgewicht Informationen über das zu erwartende Verdichtungsverhältnis der Späne in den herzustellenden Platten.

Die Spangeometrie und die Spandimensionen sind zwei der wichtigsten Parameter bezüglich der Eigenschaften der daraus hergestellten Spanplatten. Länge, Breite und Dicke werden als allgemeine Dimensionsmerkmale zur Bewertung von Spänen herangezogen (MAY UND STEGMANN, 1966). Da diese Dimensionen sehr gut miteinander korrelieren, stellt die Siebanalyse ein geeignetes Mittel zur Charakterisierung der Späne dar (MAY UND KESERÜ., 1982). Abhängig von den Spandimensionen sind Spanvolumen und Spanoberfläche, die wiederum die Leimverteilung sowie das Schüttgewicht und die Späneverdichtung in der Platte mitbestimmen. Daher kommt der Spanherstellung eine besondere Bedeutung zu. Die Spanmaterialien sollen möglichst die Holzeigenschaften in die Platte übertragen, dazu gehört in diesem Zusammenhang auch die Rohdichte des Holzes.

2.3 Einfluss des Rohdichteprofils auf die Platteneigenschaften

Bei der Herstellung von Span- und MDF-Platten entstehen aufgrund des Pressvorgangs, der Zusammensetzung der Holzpartikel, der Partikelfeuchten in den einzelnen Schichten sowie der Beleimungsparameter charakteristische Dichteprofile im Querschnitt zur Platte. Der Aufbau des Rohdichteprofils verläuft im Idealfall symmetrisch zur Mittelachse und besitzt

zwei Rohdichtemaxima nah der Oberfläche an der Plattenober- und Unterseite sowie ein Rohdichteminimum im mittleren Bereich des Plattenquerschnitts (DUNKY und NIEMZ, 2002). Bei dreischichtigen Spanplatten bilden sich demnach die Rohdichtemaxima im Bereich der Deckschicht und das Minimum im Zentrum der Mittelschicht aus (Abbildung 2.3-1). Der Dichteverlauf in der Mittelschicht ist in der Regel flach. Bei ungeschliffenen Platten bestehen Oberhalb der Rohdichtemaxima oftmals sogenannte Lockerzonen, die als Schleifzugabe bei der Herstellung berücksichtigt werden müssen. Sie entstehen aufgrund frühzeitiger Aushärtung des Bindemittels bevor die entsprechende Verdichtung durch Schließen der Presse stattgefunden hat (PLATH, 1971).

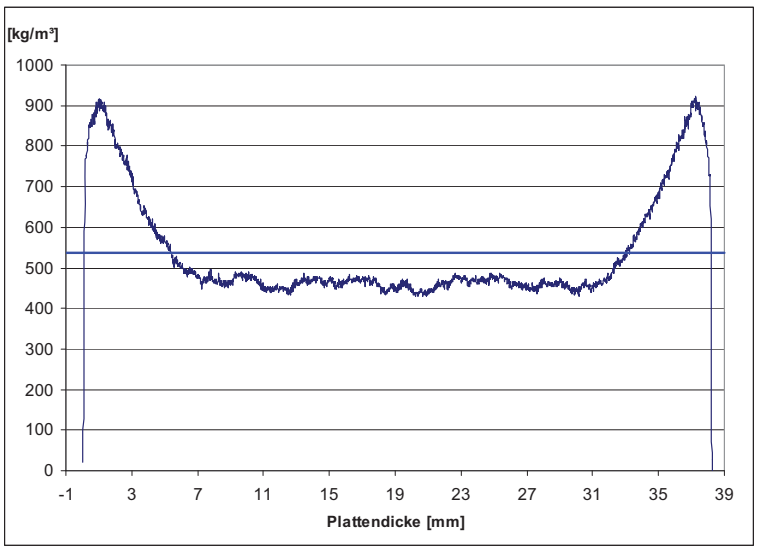

Abbildung 2.3-1: Rohdichteprofil einer 38 mm dicken, dreischichtigen Spanplatte (geschliffen) mit einer mittleren Rohdichte von 536 kg/m³; Hergestellt im kontinuierlichen Pressverfahren (ContiRoll, SIEMPELKAMP).

Das Rohdichteprofil beeinflusst nahezu alle mechanischen und hygroskopischen Eigenschaften der Span- und Mitteldichten Faserplatten. So können bei gleichen Ausgangsmaterialien allein durch Veränderung des Rohdichteprofils sämtliche Eigenschaften der Platten beeinflusst werden. Ein sehr deutlicher Zusammenhang besteht zum Beispiel zwischen dem Rohdichteprofil und der Biegefestigkeit. Dabei korreliert die Biegefestigkeit mit der Dichte im Decklagenbereich. Je höher die Rohdichtemaxima im Außenbereich des Plattenquerschnitts sind, desto höher sind auch die Biegefestigkeiten. Ähnliche Zusammenhänge bestehen zwischen der Dichte im Bereich der Mittellagen der Plattenwerkstoffe und der Querzugfestigkeit. Untersuchungen nach BOEHME (1986, 1991) konnten den Einfluss des Rohdichteprofils auf die 2 Stunden- und 24 Stunden-Dickenquellung nachweisen. Nach SOINÉ (1984) ist das Rohdichteprofil das wichtigste

Qualitätsmerkmal von Spanplatten, aus und von dem die wesentlichen mechanisch-technologischen Werte ableitbar und abhängig sind.

Das Rohdichteprofil wird neben den Partikeln selbst durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren bestimmt (RANTA und MAY, 1978; THOLE 2000). Daher ist es möglich durch Veränderungen der Herstellungsbedingungen das Rohdichteprofil zu beeinflussen und so bestimmte Festigkeitseigenschaften hervorzuheben.

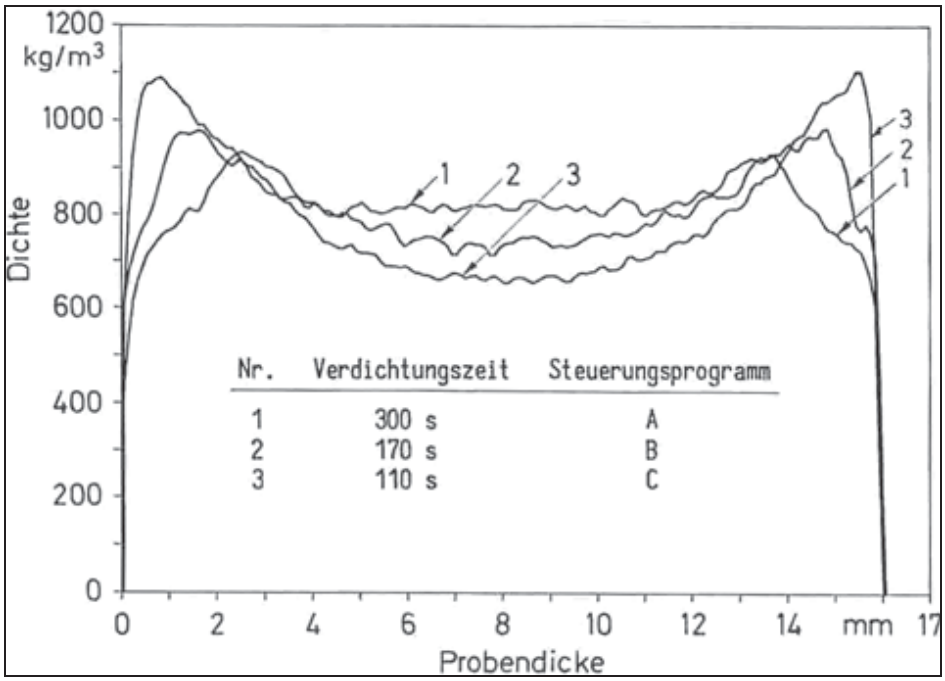

Abbildung 2.3-2: Ausbildung verschiedener Rohdichteprofile bei unterschiedlichen Verdichtungszeiten (Quelle: BUCHHOLZER, 1990).

Die Abbildung 2.3-2 zeigt die Rohdichteprofile von im Labor hergestellten MDF-Platten mit unterschiedlichen Verdichtungszeiten. Die Grafik verdeutlicht, dass sich mit längerer Verdichtungszeit ein flacheres Profil einstellt. Nach BUCHHOLZER (1990) bewirken kurze Verdichtungszeiten hohe Verdichtungen der Deckschicht mit hohen Biegefestigkeiten, führen jedoch zu Einbußen in der Dichte und der Querzugfestigkeit der Mittelschicht. Lange Verdichtungszeiten können zu frühzeitigem Aushärten der Leimbrücken in den äußeren Deckschichtbereichen führen, die zu Lockerzonen und damit zu hohen Schleifzugaben führen können (BUCHHOLZER, 1990; PLATH, 1971). Auch die Feuchte der beleimten Späne beziehungsweise Fasern und der damit verbundene Wärmeübertrag in der Platte bestimmen das Rohdichteprofil. Obwohl MDF-Platten zumeist aus einheitlichen Fasern bestehen, kann aufgrund unterschiedlicher Verdichtung zwischen Deckschicht (Beplankung) und Mittelschicht unterschieden werden.

2.4 Prinzipien der Herstellung leichter Holzwerkstoffe

Nach THOLE (2009) sind Leichtwerkstoffe per Definition isotrope oder anisotrope Werkstoffe, deren Rohdichte geringer ist als die Rohdichte der verwendeten Rohstoffe. Unter der Nutzung der mikro- und makroskopischen Struktur der verwendeten Rohstoffe oder Halbzeuge entstehen durch hohe inter- oder intrapartikuläre Porenräume beziehungsweise durch eine Formstruktur die gewünschten mono-, bi- oder tridirektionalen Eigenschaftsorientierungen.

Das bedeutet, dass ein hoher Porenraum entweder innerhalb oder zwischen den Partikeln besteht beziehungsweise eine bestimmte dreidimensionale Formstruktur, wie zum Beispiel bei der Röhrenplatte, angewandt wird.

Ein großer Porenraum zwischen den Partikeln verringert die Anzahl der festigkeitsbildenden Kontaktflächen. Zur Füllung dieses Porenraums werden mehrere Verfahren eingesetzt. Dazu gehören unter anderem die Anwendung von Polymer-, Naturstoff- und Metallschäumen. Darüber hinaus können auch leichte Partikel verwendet werden, wie zum Beispiel Popcorn aus Mais (KHARAZIPOUR, 2008). Als Beispiele für eine Veränderung der Formstruktur der Werkstoffe können Röhrenspanplatten und Wabenplatten angeführt werden. Allen Verfahren gleich ist die Veränderung der Mittelschicht beziehungsweise der Mittellage zur Reduzierung der Rohdichte. Als Decklagen werden je nach Anwendungsbereich zumeist harte oder zumindest geschlossene Beplankungen eingesetzt, wie zum Beispiel Hartfaserplatten, Laminate, Sperrholz und Folien. Diese Beplankungen sollen die elasto-mechanischen Eigenschaften gegenüber der „Trägerplatte“ verbessern (PLATH, 1972). Abbildung 2.4-1 gibt eine Übersicht der verschiedenen Prinzipien der Rohdichtesenkung bei Holzwerkstoffen und ihre Umsetzung in Forschung und Industrie.

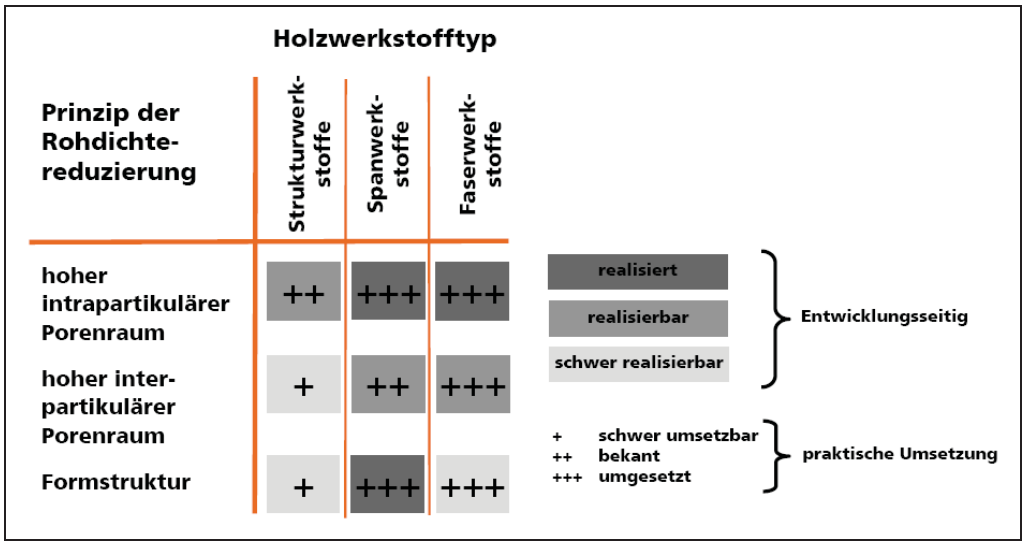

Abbildung 2.4-1: Prinzipien der Rohdichtereduzierung bei Holzwerkstoffen und ihre Umsetzung in Forschung und Industrie (THOLE, 2009).

2.5 Industrielle Spanbeleimung

Die derzeit übliche industrielle Spanbeleimung erfolgt über schnell laufende, einen Spanring (Ringhaufwerk) bildende Mischer, sogenannte Ringmischer. Dabei wird das Mischgut so stark in Umfangsrichtung beschleunigt, dass trotz der Abbremsung durch die Trogwand und der Schleppströmungen sowie eventueller Abhebeimpulse der Mischerwerke das Mischgut als geschlossener Ring umläuft (ENGELS, 1978). Dazu wird eine Mindestdrehzahl, auch kritische Drehzahl genannt, des Mischgutes erreicht. Nach ENGELS (1978) muss daher der Mischer mit der drei- bis fünffachen kritischen Drehzahl betrieben werden. Bei der Beleimung der Späne unterscheidet man zwischen der Innen- und der Außenbeleimung. Die Innenbeleimung erfolgt durch Schleuderröhrchen über die Hohlwelle des Mischwerkzeugs. Bei dem heute häufiger verbreiteten Verfahren der Außenbeleimung ragen von außen Röhrchen in den Mischer. Die Außenbeleimung ist einfacher und vermindert die Verschmutzung. Eine ausführliche Beschreibung der Bau- und Funktionsweise von Ringmischern findet sich bei ENGELS (1978).

Ein wesentlicher Vorteil der Ringmischer liegt in der Effizienz der Leimabgabe und Leimverteilung. Letzteres wird über das Verstreichen von Leim durch sich berührende Flächen verschieden schnell bewegter Festkörper (Späne und Mischwerkzeuge) erreicht. Dieser Mechanismus wird auch als Wischeffekt bezeichnet (ENGELS, 1959, 1978, 1983; OLDEMEYER, 1984; DEPPE U. ERNST, 2000; HELLER, 1995).

Der Nachteil dieser Bau- und Funktionsweise der Mischer liegt in einer zum Teil starken und unerwünschten Nachzerkleinerung der Späne während des Beleimungsvorganges (THOLE, 2001). OLDEMEYER (1984) unterteilt den Mischer in drei Bereiche in denen eine Spanzerstörung stattfinden kann. Dazu gehört der Bereich der Spanbeschleunigung, in welcher der überwiegende Teil der Spanzerstörung stattfindet. Die Beschleunigung der Späne von „Fallgeschwindigkeit“ auf „Umlaufgeschwindigkeit“, sowie die Umlenkung von der Vertikalen in die Horizontalen bedingen eine starke Beanspruchung von Maschinenteilen und Spänen. Der zweite Bereich ist die Leimzugabe. Aufgrund der direkten Leimzufuhr in den Spanring stehen die Leimrohre wie Hindernisse im Spanring. Letzterer Bereich ist die Nachmischzone, in der es durch starke Reibungen (Wischeffekt) zu weiteren Zerkleinerungen der Späne kommen kann.

2.6 Span- und Mitteldichten Faserplatten; Klassifizierung, Verwendung und Anforderungen

In der industriellen Spanplattenproduktion sind hauptsächlich 3 Verfahren gebräuchlich. Dazu gehören das Flachpressverfahren, das Strangpressverfahren (mit und ohne Röhren) und das Kalanderverfahren. Strang- und Kalanderpressen werden fast ausschließlich zur Herstellung von Nischenprodukten, wie Röhrenspanplatten oder Dünnspanplatten, genutzt. Die Massenproduktion von Standardplatten erfolgt im Flachpressverfahren. Typisch für die heutige Spanplattenherstellung ist ein kontinuierlicher Fertigungsablauf, wobei eine endlose Spanplatte entsteht (GRETEN, 1984; SOINÉ, 1984). Die Spanplatten werden zunächst ausschließlich nach Ihrem Verwendungszweck hin eingeteilt (DIN EN 312, 2003). Das Herstellungsverfahren hat dabei keine Bedeutung. Die Unterteilung erfolgt in Platten zur Verwendung im Feucht- oder Trockenbereich und für tragende oder nichttragende Zwecke (vgl. Kap. 2.6.1.1).

Der Faserplattenherstellung geht die Bereitstellung von Faserstoff voraus. Für die Faserplattenindustrie werden im thermomechanischen Aufschluss (TMP) hoher Druck, hohe Temperaturen und Scherkräfte eingesetzt, um das Mittellamellen-Lignin zu plastifizieren und die Holzfasern voneinander zu trennen (KLABUNDE et al., 1999). Die Beleimung der Fasern erfolgt zumeist nach dem Blow-Line-Verfahren. Dabei wird das Bindemittel in das im Eingangsbereich des Rohrtrockners endende Blasrohr hinter dem Refiner auf den Faserstrom gesprüht (BUCHHOLZER, 2000). Neben dem Blow-Line-Verfahren(Nassbeleimung) kommen noch die Mischer-Beleimung (Trockenbeleimung), die kombinierte Nass-/Trockenbeleimung

und die Imail-Kammerbeleimung (Trockenbeleimung) zum Einsatz (BUCHHOLZER, 2000). Für eine effizientere Beleimung werden weitere Methoden nach dem Trockenverfahren entwickelt (BUCHHOLZER, 2002).

Nach DIN EN 316 (1999) werden Faserplatten nach verschiedenen Herstellungsverfahren klassifiziert. Hier wird zwischen Faserplatten nach dem Nassverfahren und dem Trockenverfahren unterschieden. Die Unterschiede liegen in der Faserfeuchte im Stadium der Plattenformung (Vliesbildung). Dabei liegt die Faserfeuchte während der Vliesbildung im Nassverfahren bei über 20 % und im Trockenverfahren bei entsprechend weniger als 20 % Faserfeuchte.

Mitteldichte Faserplatten (MDF) werden per Definition im Trockenverfahren hergestellt. Alle weiteren Kriterien zur Klassifizierung der Faserplatten gehen von ihrem Herstellungsverfahren aus.

2.6.1 Anforderungen an Span- und Mitteldichte Faserplatten

Die Anforderungsprofile an die Holzwerkstoffe sind aufgrund der verschiedenen Anwendungsgebiete sehr unterschiedlich und vielseitig. Das Europäische Komitee für Normung (CEN) gibt Merkmale mit Mindestwerten für die verschiedenen Holzwerkstoffe an, die sich zumeist nach dem Verwendungszweck richten, wie zum Beispiel für Anwendungen im Trocken- beziehungsweise im Feuchtbereich.

Diese Normen sind anerkannte Richtwerte für den internationalen Markt, die einer dynamischen Entwicklung unterliegen. Dies liegt zumeist an der Erschließung neuer Anwendungsgebiete für Holzwerkstoffe sowie an den gestiegenen Anforderungen an bestimmte Plattenmerkmale, wie zum Beispiel die Notwendigkeit der Senkung der bindemittelabhängigen Formaldehydabgabe bei Span- und Mitteldichten Faserplatten.

2.6.1.1 Spanplatten

Die Anforderungen an kunstharzgebundene, unbeschichtete Spanplatten sind in der DIN EN 312 (2003) aufgeführt. Diese Werte beziehen sich auf Produkteigenschaften und sind keine charakteristischen Werte, die für konstruktive Berechnungen verwendet werden können (DIN

EN 312, 2003). Spanplatten können nach dieser Norm als P1- bis P7-Platten bezeichnet werden:

P 1 Platten für allgemeine Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich

P 2 Platten für Inneneinrichtungen (einschließlich Möbel) zur Verwendung im Trockenbereich

P 4 Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich

P 6 Hoch belastbare Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich

In der Tabelle 2-1 sind die Mindestanforderungen für alle Spanplatten zur Verwendung im Trockenbereich aufgeführt, sortiert nach Plattentypen und Dickenbereichen.

Tabelle 2-1: Anforderungen an Spanplatten zur Verwendung im Trockenbereich nach DIN EN 312, 2003

		Plattentyp											
		P1			P2			P4			P6		
		Dickenbereich [mm]			Dickenbereich [mm]			Dickenbereich [mm]			Dickenbereich [mm]		
		> 6-13	> 13-20	> 32-40	> 6-13	> 13-20	> 32-40	> 6-13	> 13-20	> 32-40	6-13	> 13-20	> 32-40
Biegefestigkeit	N/mm²	12,5	11,5	7	13	13	8,5	16	15	9	20	18	14
Biege- E- Modul	N/mm²				1800	1600	1200	2300	2300	1500	3150	3000	2200
Querzugfestigkeit	N/mm²	0,28	0,24	0,14	0,4	0,35	0,2	0,4	0,35	0,2	0,6	0,5	0,3
Abhebefestigkeit	N/mm²				0,8	0,8	0,8						
Dickenquellung	%							16	15	14	14	14	13

Alle Spanplatten müssen allgemeinen Mindestanforderungen genügen, die vor Auslieferung aus dem Herstellwerk überprüft werden müssen (DIN EN 312). Unter anderem gibt diese Norm Grenzwerte für maximale Grenzabmaße, maximale Abweichungen der Rohdichte von der mittleren Rohdichte und Grenzwerte der Plattenfeuchte an. Weiterhin wird hier die maximale Formaldehydabgabe nach DIN EN 13986 der Platten für E1- und E2-Platten deklariert. Platten der Emissionsklasse E1 dürfen einen Perforatorwert von 8 mg HCHO/100 g Spanplatte nicht überschreiten.

Aufgrund der im Rahmen dieser Dissertation verwendeten Bindemittel sind ausschließlich die Anforderungsprofile für Platten zur Verwendung im Trockenbereich, hier P1-, P2-, P4- und P6-Platten, von Interesse. Der Schwerpunkt aller Versuche liegt in der

Erfüllung der Mindestwerte für P2-Platten, d. h. „*Platten für Inneneinrichtungen (einschließlich Möbel) zur Verwendung im Trockenbereich*“.

2.6.1.2 Mitteldichte Faserplatten

Mitteldichte Faserplatten (MDF) werden nach dem Trockenverfahren hergestellt und sind von Mitteharten Faserplatten nach dem Nassverfahren zu unterscheiden. Die Anforderungen an Mitteldichte Faserplatten nach dem Trockenverfahren (MDF) zur Verwendung im Trockenbereich zeigt die Tabelle 2-2. Auch diese Werte beziehen sich auf Produkteigenschaften und sind keine charakteristischen Werte, die für konstruktive Berechnungen verwendet werden können (DIN EN 622-5, 2006).

Tabelle 2-2: Anforderungen an Mitteldichte Faserplatten (MDF) zur Verwendung im Trockenbereich nach DIN EN 622-5 : 2004

		Plattentyp										
		MDF			MDF.LA			L-MDF			UL-MDF	
		Dickenbereich [mm]			Dickenbereich [mm]			Dickenbereich [mm]			Dickenbereich [mm]	
		> 6-9	> 9-12	> 12-19	> 6-9	> 9-12	> 12-19	> 6-9	> 9-12	> 12-19	> 9- 12 450/500 kg/m³	> 12- 19 450/500 kg/m³
Biegefestigkeit	N/mm²	23	22	20	29	27	25	19	19	17	12,8 / 18	11,4 / 16
Biege- E- Modul	N/mm²	2700	2500	2200	3000	2800	2600	1700	1700	1600	1000 / 1400	930 / 1300
Querzugfestigkeit	N/mm²	0,65	0,6	0,55	0,7	0,65	0,6	0,43	0,43	0,43	0,25 / 0,35	0,25 / 0,35
Dickenquellung	%	17	15	12	17	15	12	20	16	14	18	14

Dabei sind:

DIN EN 622-5 Faserplatten; Anforderungen, Teil 5: Anforderungen an Platten nach dem Trockenverfahren (MDF)

Typ MDF MDF für allgemeine Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich

Typ MDF.LA MDF für tragende Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich

Typ L-MDF Leicht-MDF zur Verwendung im Trockenbereich

Typ UL-MDF Ultraleicht-MDF zur Verwendung im Trockenbereich

Neben den Verwendungszwecken, wie sie bei Spanplatten bestehen, werden bei MDF-Platten zusätzliche Plattentypen nach DIN EN 622-5 (2004) aufgeführt. Dazu gehören Unterdeckplatten für Dachdeckungen und Wände (MDF-RWH) mit eigenem Anforderungsprofil. Weitere Ergänzungen dieser Norm sind Anforderungsprofile für Leicht-

MDF (L-MDF) und Ultraleicht-MDF (UL-MDF) mit festgelegten Rohdichtemaxima von 650 kg/m³ beziehungsweise 550 kg/m³.

3 Material und Methoden

3.1 Chemische Analysen

3.1.1 Bestimmung des Ligningehaltes nach HALSE

Die hier verwandte Methode zur Bestimmung des Ligninanteils beruht auf dem Verfahren nach HALSE (1926). Für jede Einzelbestimmung wird 1 g atro Holzprobe eingewogen. Dazu wird zunächst der Feuchtegehalt der Holzprobe ermittelt und anschließend die Menge lutro Holzprobe errechnet und eingewogen die 1g atro Holzmehl ergeben. Das abgewogene Material wird in einem 500 ml Erlenmeyerkolben mit Schliff gegeben und mit 50 ml rauchender Salzsäure (37 %ig) versetzt. Der Kolben wird nun verschlossen und 15 min stehen gelassen. Anschließend werden 5 ml konzentrierte Schwefelsäure (95 % – 97 %) hinzugegeben und vorsichtig mittels Schwenkbewegungen vermischt. Die Suspension wird nun über Nacht unter einem Abzug stehen gelassen.

Zur weiteren Vorbereitung wird ein Glasfiltriertiegel (Duran G3/D2) gereinigt und bei 105 °C über Nacht darrgetrocknet. Nach Abkühlung im Exsikkator werden die Tiegel auf drei Stellen hinter dem Komma gewogen.

Am Folgetag wird die Säure-Holzlösung in ein 1000 ml Becherglas gegeben und mit destilliertem Wasser bis zur 500 ml Marke aufgefüllt. Der Erlenmeyerkolben muss gründlich nachgespült werden um Ligninverluste zu vermeiden. Die Lösung wird 10 Minuten gekocht. Und zeitgleich werden in einem weiteren 1000 ml Becherglas 400 ml bis 500 ml destilliertes Wasser erhitzt.

Nach der Kochung wird die Suspension durch den Filtriertiegel abgegossen. Der sich im Tiegel befindliche Lignin/Asche-Rückstand wird so lange mit dem erhitzten Wasser nachgespült bis das Filtrat neutral ist (pH 7). Dazu muss nach jeder pH-Messung das Filtrat verworfen werden. Der Filtriertiegel wird für 24 Stunden mit dem Überstand bei 105 °C gedarrt.

Nach der Darrung werden die Tiegel für 30 Minuten im Exsikkator abgekühlt und anschließend gewogen. Die Differenz zur atro Einwaage ist der Ligninanteil. Der Ligninanteil wird prozentual zur Einwaage angegeben.

3.1.2 Bestimmung des Pentosangehaltes nach DIN 54361 (Spektrometer-Methode)

Das Prinzip zur Bestimmung des Pentosangehaltes beruht auf der Ermittlung der Furfurolmenge, die während des Kochens von Pentosan mit Bromwasserstoffsäure entsteht. Für jede Einzelanalyse werden 2 g atro Holzprobe in einen 500 ml Rundkolben eingewogen. Zuvor muss eine Feuchtebestimmung der Holzproben durchgeführt werden. Dazu werden 200 ml 3,2 M Bromwasserstoffsäure hinzugegeben (362,06 ml 48 %ige HBr auf 1000 ml mit deionisiertem Wasser aufgefüllt). Zusammen mit einem wassergekühlten Tropftrichter wird der Rundkolben in einen Heizpilz mit höchster Stufe gestellt.

Nachdem 90 ml der Flüssigkeit überdestilliert sind (circa 30 min), werden 90 ml deionisiertes Wasser in den Tropftrichter gegeben und direkt fließend in den Rundkolben gelassen, so dass der Rand des Kolbens gespült wird. Nachdem weitere 90 ml abdestilliert sind wird der Vorgang wiederholt. Nach Erhalt von 240 ml Destillat wird die Destillation abgebrochen. Die 240 ml Destillat werden in einen 250 ml Messkolben gegeben und bis zum Eichstrich mit deionisiertem Wasser aufgefüllt. Mittels Pipette werden 5 ml der Lösung entnommen, in einen 100 ml Messkolben pipettiert und auf 100 ml mit Wasser aufgefüllt. Mit der erhaltenen Verdünnung (1:20) wird nun mittels Spektroskopie die Furfurolkonzentration des Destillates bestimmt. Bei einer Wellenlänge von 277,5 nm wird die Extinktion Photometer gemessen.

3.1.3 Kaltwasserextraktion

Für die Kaltwasserextraktion werden 5 g atro Probenmaterial in einen 500 ml Erlenmeyerkolben gegeben. Nach der Zugabe von 150 ml destilliertem Wasser wird der Kolben mit einem Glasstopfen verschlossen und für 24 Stunden bei 120 rpm geschüttelt. Anschließend wird das Extrakt über vorher gedarrten und abgewogenen Faltenfiltern abfiltriert. Der Probenrückstand wird mit Filter bei 105 °C über Nacht gedarrt und anschließend gewogen. Der Anteil der kaltwasserlöslichen Extraktstoffe an der Gesamtprobe wird wie folgt berechnet:

$$E = \frac{(m1 - m2)}{m1} * 100$$

E = Extraktstoffgehalt (%)
m1 = Einwaage (atro) [g]
m2 = Masse des extrahierten Materials [g]

3.1.4 Heißwasserextraktion

Zur Ermittlung der im heißen Wasser löslichen Extraktstoffe werden 2 g atro Probenmaterial in einen 250 ml Rundkolben mit Schliff eingewogen. Die Probe wird mit 100 ml destilliertem Wasser versetzt und 2 Stunden unter Rückflusskühlung gekocht. Mittels der zuvor gedarrten und abgewogenen Faltenfilter wird die Suspension abgefiltert und der Filterrückstand mit heißem Wasser gespült. Für 24 Stunden werden Filter und Probenrückstand bei 105 °C gedarrt und abgewogen. Der prozentuale Anteil an heißwasserlöslichen Extrakten wird nach der Formel der Kaltwasserextraktion berechnet.

3.1.5 pH-Wert und Pufferkapazität

Der pH-Wert wird bei der Kalt- und Heißwasserextraktion direkt aus dem Filtrat mittels pH-Elektrode ermittelt. Für einen genauen Wert wird die Elektrode für 4 Minuten in die Lösung gehalten. Die Pufferkapazität wird ebenfalls an beiden Filtraten gemessen. Dazu werden 20 ml des Filtrats mit 0,01 M NaOH-Lösung unter Verwendung des Titrators („TitroLine easy“, SCHOTT INSTRUMENTS GmbH, Mainz) bis zum Neutralpunkt titriert. Die Pufferkapazitäten (mmol NaOH/100g atro Fasern) werden aus der verbrauchten Menge an Natron-Lauge in ml errechnet. Bei einer Einwaage von 5 g atro (Kaltwasserextraktion) und 150 ml Wasser entspricht 1 ml eingesetzte Lauge 1,5 mmol NaOH/100 g atro Holzprobe. Bei 2 g atro (Heißwasserextraktion) entspricht 1 ml Lauge 2,5 mmol NaOH/100 g atro Holzprobe.

3.1.6 Ethanol-Cyclohexan Extraktion

Unter Verwendung von 200 ml Ethanol-Cyclohexan-Lösung (Verhältnis 1:2 (v/v)) und 3 g atro Holzprobe wird mit Hilfe einer Soxhlet-Apparatur die Probe für 6 Stunden extrahiert. Anschließend werden die Extrakte im Vakuumrotationsverdampfer eingeengt und im Vakuum-Exsikkator für 24 Stunden getrocknet. Das Gewicht des Extraktes wird auf die atro Einwaage bezogen.

3.1.7 Bestimmung des Aschegehalts

Die Veraschung der Holzproben erfolgt bis zur Massekonstanz in einem Muffelofen bei Temperaturen von 550 - 600 °C. Dafür werden 5g atro je Holzprobe verwendet. Nach dem Veraschen müssen die Probenrückstände für 1,5 Stunden im Exsikkator abgekühlt und anschließend gewogen werden. Der Aschegehalt wird prozentual auf die atro Einwaage bezogen.

3.2 Bestimmung Partikeleigenschaften

3.2.1 Span- und Fasergrößenverteilung

3.2.1.1 Späne (Siebanalysen)

Die Siebanalysen der verwendeten Spanmaterialien werden mit einer Siebmaschine vom Typ AS 200 (RETSCH GMBH, Haan, Deutschland) in Anlehnung an Vorgaben der DIN 66 165 durchgeführt. Das Spanmaterial wird bei diesem Verfahren in 13 unterschiedliche Fraktionen getrennt. Die Maschenweiten zur Fraktionierung der Proben sind in folgende Abstufungen unterteilt: 0,2 mm, 0,4 mm, 0,5 mm, 0,6 mm, 0,8 mm, 1,0 mm, 1,25 mm, 2,0 mm und 3,15 mm, 4,0 mm, 8,0 mm und 10,0 mm. Für eine exaktere Betrachtung kann sich die Zusammensetzung der Siebe vereinzelt verändern, worauf explizit hingewiesen wird.

3.2.1.2 Fasern (MORFI)

Zu Beginn der Morfi-Messung werden etwa 2,1 g atro des Faserstoffs in Wasser gelöst und in das Analysegerät MORFI LB-01 eingefüllt. Das System verdünnt in einer ersten Stufe die Faserstoffsuspension auf 0,3 g/L für die Durchführung einer Splitteranalyse. Die Fasersuspension strömt durch eine Messzelle und wird von einem optischen System gemessen. Das System besteht aus einer CCD-Kamera und einer Lichtquelle. Die Aufnahmen werden sofort von einem integrierten PC verarbeitet. Das System nimmt anschließend für die Analyse der Fasern und Feinstoffe eine weitere Verdünnung auf 0,03 g/L vor. Die Messung erfolgt analog zur Messung der Splitter. Nach Ablauf der Messung werden die Ergebnisse auf dem PC angezeigt und das System führt vor Beginn des nächsten Versuchs eine vollständige Reinigung durch.

3.2.2 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen

Die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen werden mit dem Raterelektronenmikroskop Typ EM 515 (FA PHILIPS, Deutschland) durchgeführt. Hierzu müssen die Proben auf kleine Probenteller aufgeklebt werden. Nach dem Aufkleben der Proben erfolgt das Bedampfen der Proben mit Gold. Das hierzu verwendete Gerät ist der Sputter, Typ Emscope Sc 500, das die Proben unter Vakuum mit einer Goldschicht von 40 nm bis 50 nm überzieht. Anschließend können die Proben unter dem Rasterelektronenmikroskop betrachtet und analysiert werden.

3.2.3 Schüttgewicht, Streudichte und Verdichtungsverhältnis

Das Schüttgewicht der verwendeten Späne- und Fasern gibt das spezifische Gewicht des locker gestreuten Span- und Fasermaterials an und wird in Anlehnung an die DIN EN 12580 ermittelt. Dazu werden mit Hilfe eines 20 l fassenden Behälters von jeder Probe 5 Wiederholungen durchgeführt. Dabei wird das Gewicht des gefüllten Zylinders von dessen Leergewicht subtrahiert. Aus diesen Werten wird anschließend ein Mittelwert gebildet. Auch hier werden die ermittelten Schüttgewichte als Diskussionspunkt den mechanisch-technologischen Darstellungen der entsprechenden Span- und Faserplatten zugeordnet und diskutiert.

Einen vergleichbaren Wert zum Schüttgewicht stellt die Streudichte dar. Sie gibt das spezifische Gewicht des fertig gestreuten Span- bzw. Faserkuchens an. Bei mehrschichtigen Platten sind die unterschiedlichen Span- und Fasersortimente zu berücksichtigen. Aus der Streudichte kann das Verdichtungsverhältnis der Späne und Fasern in der Platte ermittelt werden. Das Verdichtungsverhältnis kann zum Einen aus der Relation der Streuhöhe zur Plattenstärke oder aus dem Verhältnis der Streudichte zur Plattendichte ermittelt werden.

3.3 Bestimmung der mechanisch-technologischen Eigenschaften

3.3.1 Probenentnahme, Zuschnitt und Probenumfang

Die Probeentnahme, deren Zuschnitt, die Angabe sowie die Aufbereitung der Prüfergebnisse ist durch die EN 326-1 (1994) vorgegeben. Alle hier durchgeführten Untersuchungen für Platten, die sowohl im Labor- und Pilotmaßstab sowie im Industriemaßstab hergestellt werden, finden in Anlehnung an diese Norm statt.

Tabelle 3-1: Probenumfang der einzelnen Prüfverfahren und Versuchsserien

Prüfverfahren	EN- Norm	Anzahl Prüfkörper pro Platte	Anzahl Platten	Maße Prüfkörper Länge x Breite [mm]
Rohdichte/Rohdichteprofil	EN 323	10	2 * 3	50mm * 50mm
Querzugfestigkeit	EN 319	10	2 * 3	50mm * 50mm
Abhebefestigkeit	EN 311	10	2 * 3	50mm * 50mm
Dickenquellung	EN 317	10	2 * 3	50mm * 50mm
Biegefestigkeit, Biege- E-Modul	EN 310	6	2 * 3	((20 * Nenndicke[mm])+ 50mm) * 50mm
Formaldehydgehalt	EN 120	2 * 100 g atro	2	25mm * 25mm

Differenzen liegen in der Probenzahl pro Platte und im Einschnittmuster bei der Probenherstellung. Die Entnahme der Prüfkörper erfolgt nach Zufallskriterien, so dass für jeden Teil der Platte die gleiche Wahrscheinlichkeit besteht, ausgewählt zu werden. Restriktionen liegen im Plattenformat, so dass für die Prüfung der Biegefestigkeit und des Biege-Elastizitätsmoduls nach EN 310 (1993) ausschließlich Proben parallel zur Plattenlängsachse geprüft werden können. Die Anzahl der für jedes Prüfverfahren verwendeten Prüfkörper pro Platte sind in der Tabelle 3-1 aufgeführt

Für eine statistisch gesicherte Datengrundlage der mechanisch-technologischen Eigenschaften der Versuchsserien werden aus zwei unabhängigen Produktionsreihen jeweils 3 Platten gleichen Typs herangezogen. Dies bedeutet, dass für die Prüfung von Querzugfestigkeit, Abhebefestigkeit, Dickenquellung und Rohdichte jeweils 60 Einzelproben gemessen werden. Für den 3-Punkt-Biegeversuch sind es 36 Einzelproben. Des Weiteren wird die Formaldehydabgabe nach der Perforator-Methode gemessen. Hier wird eine Doppelmessung aus jeweils 3 Platten durchgeführt. Bei der Angabe der Prüfergebnisse wird aus den Mittelwerten der einzelnen Platten ein Gesamtmittelwert gebildet und dargestellt.

3.3.2 Bestimmung der Rohdichte und des Rohdichteprofils

Die Rohdichte ist definiert als Masse pro Volumen und wird in kg/m³ angegeben. Das Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte wird nach den Vorgaben der EN 323 (1993) durchgeführt. Dazu wurden aus jeder Platte 10 Proben entnommen und die jeweilige Rohdichte bestimmt. Die Rohdichte einer Platte ist das arithmetische Mittel der Rohdichten aller Prüfkörper, die aus einer Platte entnommen werden.

Zur Bestimmung des Rohdichteprofils wurde das Labor-Dichtemessgerät DA-X (Fa. GRECON, Alfeld) eingesetzt. Das Messgerät arbeitet mit einem auf Röntgenstrahlen basierenden, berührungslosen Messverfahren. Zur Aufnahme der Dichteverteilung über den Dickenquerschnitt wird der Linearschlitten mit dem Probenmagazin kontinuierlich durch das Meßsystem geführt. Je nach Dichteverteilung des Materials durchdringt dabei mehr oder weniger Röntgenstrahlung die Proben. Diese wird vom Messwertaufnehmer erfasst, ausgewertet und zum Visualisierungsrechner weitergeleitet.

3.3.3 Bestimmung der Querzugfestigkeit

Die Querzugfestigkeit ist definiert als die Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene. Bei der Durchführung wird jede Probe zwischen zwei prismatischen Jochen aus Aluminium eingeklebt, in die Einspannvorrichtung der Prüfmaschine eingesetzt und bis zum Bruch belastet. Dabei werden aus jeder Platte 10 Prüfkörper untersucht. Der Quotient aus der Bruchlast und der Solltrennfläche bildet die Querzugfestigkeit. Die Prüfung erfolgt nach den Vorschriften der EN 319 (1993). Nach dieser Norm ist die Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene einer Platte das arithmetische Mittel der Ergebnisse aller aus dieser Platte entnommenen Prüfkörper.

3.3.4 Bestimmung der Biegefestigkeit und des Biege-Elastizitätsmoduls

Die Bestimmung der Biegefestigkeit und des Biege-Elastizitätsmoduls erfolgt durch Aufbringen einer Last in der Mitte eines an zwei Punkten aufliegenden Prüfkörpers (DIN EN 310; 1993). Der Elastizitätsmodul wird unter Berücksichtigung des linearen Bereiches des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms berechnet. Die Biegefestigkeit (f_m) eines jeden Prüfkörpers wird durch Bestimmung des Verhältnisses von Biegemoment bei Bruchlast zum Widerstandsmoment seines vollen Querschnittes bestimmt.

3.3.5 Bestimmung der Abhebefestigkeit

Die Decklagen-Abhebefestigkeit kann als Querzugfestigkeit der Deckschicht gesehen werden. Für die Prüfung werden 10 Prüfkörper von jeder Platte herangezogen. Dabei wird ein kreisrunder Metallstempel auf die Plattenoberfläche geklebt und die Last bis zum Ausreißen des Stempels aus der Oberfläche auf der Prüfmaschine gemessen. Die Abhebefestigkeit wird als Quotient aus Bruchlast und Verleimungsfläche errechnet. Die Prüfung der

Abhebefestigkeit wird nach den Vorschriften der EN 311 (1993) durchgeführt. Diese Norm besagt, dass die Abhebefestigkeit einer Platte das arithmetische Mittel der Ergebnisse aller aus dieser Platte entnommenen Prüfkörper bildet.

3.3.6 Bestimmung der Dickenquellung nach Wasserlagerung

Die prozentuale Dickenzunahme eines Prüfkörpers nach vollständiger Wasserlagerung ergibt die Dickenquellung. Das Prüfverfahren wird nach EN 317 (1993) durchgeführt. Dabei werden 10 Prüfkörper aus jeder Platte vertikal in sauberem, ruhendem Wasser eingelegt und nach 2 beziehungsweise 24 Stunden ihre Dicke bestimmt. Die Dickenquellung einer Platte ist das arithmetische Mittel der Ergebnisse aller Prüfkörper, die aus einer Platte entnommen werden.

3.3.7 Bestimmung der Formaldehydabgabe nach der Perforatormethode

Die Perforator-Methode ist eine Prüfnorm zur Bestimmung des ungebundenen Formaldehydgehalts in unbeschichteten und unlackierten Holzwerkstoffen und wird nach DIN EN 120 (1992) durchgeführt. Das Prinzip beruht auf der Extraktion des Formaldehyds mit siedendem Toluol, welcher zuvor an destilliertes oder demineralisiertes Wasser abgegeben wird. Der Formaldehydgehalt der wässrigen Lösung wird dann anschließend photometrisch nach der Acetyl-Aceton-Methode bestimmt.

3.4 Bindemittel und Additive im Technikumsmaßstab

Als Bindemittel für die Herstellung von Span- und Mitteldichten Faserplatten werden hauptsächlich Harnstoff-Formaldehyd-Kondensationsprodukte (UF-Harze) der BASF AG, Ludwigshafen verwendet. Eine Übersicht der eingesetzten Leimtypen mit den entsprechenden Lieferspezifikationen gibt Tabelle 3-2 an.

Bei den Leimtypen KAURIT® 413 und KAURIT® 465 handelt es sich um ein mit Melamin verstärktes Harnstoff-Formaldehyd-Kondensationsprodukt (mUF). Der Melamingehalt liegt bei 2-3 %. Diese beiden Leime werden für die Herstellung von MDF eingesetzt. KAURIT® 350 wird ausschließlich zur Spanplattenherstellung verwendet. Die Lagerbarkeit der UF-Harze bezieht sich auf die Verarbeitbarkeit bis zum Erreichen der Grenzviskosität für die Verleimung (BASF, 2008).

Tabelle 3-2: Lieferspezifikationen der eingesetzten UF-Harze (Quelle: Technische Merkblätter BASF AG, Ludwigshafen (2008))

Marke		KAURIT® 350 flüssig	KAURIT® 465 flüssig	KAURIT® 413 flüssig	
Technisches Merkblatt		M 5884 d	M 6176 d	M 6290 d	
Aussehen		milchig- trüb	milchig- trüb	milchig- trüb	
Trockengehalt %		66,5 +/- 1	67 +/- 1	67 +/- 1	ISO 3215
pH-Wert bei 20°C		7,5 - 9,5	7,5 - 9,5	7,5 - 9,5	ISO 976
Dichte bei 20°C		1,288 - 1,298 g/cm³	1,282 - 1,293 g/cm³	1,285 - 1,310 g/cm³	ISO 2811-3
Viskosität bei 20°C		350 - 600 mPas	250 - 450 mPas	150 - 300 mPas	ISO 2319 B
Lagerbarkeit bei 20°C		4,5 - 5,5 Wochen	5 - 7 Wochen	2 Wochen	
Lagerbarkeit bei 30°C		12 - 21 Tage	13 - 22 Tage	1 Woche	

Zur Erlangung einer ausreichenden Quellvergütung werden den Leimen homogene, wässrige Paraffin-Dispersionen zugesetzt. Für Spanplatten wird im Rahmen dieser Untersuchungen das Hydrophobierungsmittel HydroWax 138 und für MDF HydroWax 730 (Fa. SASOL, Hamburg) der Leimflotte beigemischt (Tabelle 3-3). Zusätzlich wird bei der Spanplattenherstellung Ammoniumsulfat (33 %ig) als Härtungsbeschleuniger eingesetzt.

Tabelle 3-3: Lieferspezifikationen der eingesetzten Paraffine (Quelle: Fa. SASOL*)*

Marke		HydroWax 730	HydroWax 138	Prüfmethode
Revision		Mrz 08	Mrz 08	
Aussehen		weiß	weiß	visuell
Trockengehalt		58 - 62	67 +/- 1	Qmm 482
pH-Wert bei 20°C		ca. 9,5	ca. 9,5	
Dichte bei 20°C		ca. 0,94 g/ml	ca. 0,95 g/ml	DIN 51757
Viskosität bei 20°C		400 m Pas	450 m Pas	QMM 480
Lagerbarkeit bei 15-30°C		3 Monate	3 Monate	

3.5 Untersuchungen zur Herstellung von dreischichtigen, UF-Harz gebundenen Spanplatten aus Küstentanne und Buche im Pilotmaßstab

Zur Ermittlung der charakteristischen Eigenschaften der beiden Holzarten und der daraus entstandenen Spanmaterialien werden systematische Voruntersuchungen im Labormaßstab durchgeführt. Repräsentative Plattenvarianten werden in den Pilotmaßstab übertragen und miteinander verglichen. Zu diesen Varianten gehören dreischichtige Spanplatten, hergestellt aus Küstentannenholz nach Messerringzerspanung und aus Küstentannenholz nach Messerwellenzerspanung. Darüber hinaus werden die Festigkeitseigenschaften von Sandwich-Platten aufgeführt, die aus Küstentannenspänen in der Deckschicht und Buchenspänen in der Mittelschicht angefertigt werden (VOS UND KHARAZIPOUR, 2008). Zur Einordnung der

Ergebnisse werden Referenzplatten aus industriell aufbereitetem Spangut angefertigt, die hier ebenfalls dargestellt werden. Alle Serien werden mit gleichen Herstellungsparametern produziert.

Bei einer Gegenüberstellung der Plattenserien mit identischen Ausgangsmaterialien aus dem Labor- und Pilotmaßstab konnten vergleichbare Festigkeitseigenschaften festgestellt werden. So können zur Einordnung und Beurteilung der aufgeführten Ergebnisse der im Pilotmaßstab hergestellten Platten ergänzend Plattenvarianten aus dem Labormaßstab herangezogen werden (VOS, 2005; MÖHRING, 2007).

3.5.1 Material

Im Rahmen dieser Untersuchungen werden somit drei Deckschichtspan- und vier Mittelschichtspanmaterialien eingesetzt. Verwendet werden jeweils Deckschicht- und Mittelschichtspäne aus Küstentanne nach Messerringzerspanung (MR) und Messerwellenzerspanung (MW), sowie Mittelschichtspäne aus Buchenholz und Referenzspäne aus industrieller Fertigung.

Spangut aus Messerringzerspanung

Für alle Plattenvarianten mit Messerringspänen werden Küstentannen- und Buchenholz aus dem nordrhein-westfälischen Forstamt Schmallenberg, Wuchsbezirk Rothaargebirge (Hochsauerland) im Wuchsgebiet Sauerland eingesetzt. Die hier verwendeten Küstentannen wurden einem Mischbestand entnommen, bestehend aus Europäischen Lärchen, Küstentannen und Douglasien. Der Anteil der Küstentanne beträgt 40 % an der Gesamtfläche bei einem Bestockungsgrad von 1,0. Das Alter wird mit 64 Jahren angegeben.

Bild 3-1: Küstentannenversuchsholz; Säge- und Industrieholzabschnitte

Bei diesen Beständen handelt es sich um wissenschaftlich angelegte Versuchsflächen, die anderen Teilprojekten dieses Verbundprojektes (Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt; Universität Göttingen, Abteilung Holzbiologie und Holztechnologie) ebenfalls als Untersuchungsgrundlage zu Verfügung stehen. Die Sägeabschnitte der eingeschlagenen Küstentannen sind dem Teilprojekt 2 (Holzprodukte) zur Verfügung gestellt worden, dem Projekt Holzwerkstoffe (Teilprojekt 4) die Industrieholzabschnitte

Das Küstentannen- und Buchenholz wurde im WILHELM-KLAUDITZ-INSTITUT für Holzforschung (WKI, Braunschweig) mit einem Trommelhacker der Marke „Klöckner 120 * 400H2WT“ zu Hackschnitzeln verarbeitet. In einem zweiten Schritt wurden diese mittels eines Messerringzerspaners der Marke Condux, Typ „HS 350“ mit Messerkorbeinsatz und einem Messervorstand von 0,45 mm aufgeschlossen. Das gewonnene Spanmaterial wurde getrocknet und anschließend mittels eines Taumelsiebes der Marke „ALLGAIER TSM 1200/4“ in fünf Fraktionen getrennt. Dabei wurden vier Siebe mit den Maschenweiten 5,0 mm, 3,15 mm, 1,25 mm und 0,6 mm eingesetzt.

Spangut aus Messerwellenzerspanung

Die hier verwendeten Messerwellenspäne stammen aus dem ersten Produktionsversuch zur industriellen Herstellung von Spanplatten aus Küstentannenholz (PFLEIDERER INDUSTRIE, Gütersloh). Das Spanmaterial wurde direkt nach der Zerspanung entnommen (vgl. Kap.3.8.1 und Kap. 3.8.2).

Referenzspäne

Die zur Herstellung der Referenzplatten verwendeten Industriespäne stammen ebenfalls aus dem Spanplattenwerk Gütersloh (PFLEIDERER INDUSTRIE). Die Späne werden im getrockneten Zustand bei 1-2 % Feuchte getrennt nach Deck- und Mittelschichtspanmaterial am Ausfall der Trockenspanbunker entnommen. Das Spangut hat damit eine werkübliche Zusammensetzung der Holzrohstoffe und der einzelnen Spanfraktionen. Die prozentualen Anteile der verschiedenen Holzrohstoffe am gesamten Spangut setzen sich wie folgt zusammen:

- Sägemehl (-späne) 45 %
- Waldholz 30 %
- Hackschnitzel 25 %

Das Sägemehl stammt aus der Holzsägeindustrie. Die Hackschnitzel werden aus Industrierestholz und Recyclingholz hergestellt beziehungsweise wurden als fertige Hackschnitzel angeliefert. Fichte, Kiefer und Buche sind die Hauptbaumarten bei der Zerspanung des Waldholzes. Dabei überwiegt der Anteil der Nadelhölzer. Je nach Verfügbarkeit der einzelnen Holzrohstoffe unterliegt die Spanzusammensetzung gewissen Schwankungen, die auch Einfluss auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften der fertigen Platten haben können. Die oben aufgeführten prozentualen Mengen der Sortimente wurden am Tag der Spanentnahme gefahren und galten als derzeit üblich gefahrene Zusammensetzung im Werk.

3.5.2 Herstellung von dreischichtigen Spanplatten aus Küstentanne und Buche im Pilotmaßstab

Alle hier dargestellten Plattenvarianten aus dem Pilotmaßstab wurden über systematische Versuchsreihen im Labormaßstab entwickelt. Geeignete Serien werden schließlich in den Pilotmaßstab übertragen. Die Unterschiede zwischen labor- und pilottechnischer Spanplattenherstellung liegen im Beleimungsprozess und im Verfahren der Spanstreuung. Beiden Verfahren gleich sind die Methoden zur Verpressung der Spankuchen und der anschließenden Konditionierung der fertigen Platten.

Die Spankuchen werden mit einer hydraulischen Ein-Etagen-Unterkolbenpresse (Fa. SIEMPELKAMP, Krefeld) bei 200 °C heiß verpresst. Bei dieser Presse können die Heizplatten im Ober- und Untertisch elektrisch auf maximal 250 °C erhitzt werden. Der Presskolben leistet einen hydraulischen Arbeitsdruck von maximal 283 bar bei einer Gesamtpresskraft von

2000 kN. Der spezifische Druck auf der gesamten Fläche beträgt somit maximal 417 N/cm² (SCHÖPPER, 2002). Nach einer 24 Stunden Klimatisierung im Klimaschrank (Fa. BINDER, Tuttlingen) bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte werden die Spanplatten mit einer Bandschleifmaschine (LBSM 2505, Holzkraft Holzbearbeitungsmaschinen, Hallstadt) beidseitig geschliffen und anschließend besäumt.

Labormaßstab

Für die labortechnische Beleimung der Deck- und Mittelschichtspäne wird eine Beleimtrommel mit integrierter Sprüheinrichtung verwendet. Für die Beleimung mit dünnflüssigem UF-Harz wird die Sprüheinrichtung mit Zweistoffdüsen mit einem Öffnungsdurchmesser von 1,5 mm bestückt. Sowohl die Leimzufuhr als auch die Stärke der Zerstäubung werden mittels Druckluft geregelt. Die Beleimung erfolgte nach dem Umwälzverfahren. Die angefertigten Platten haben folgende Abmessungen in Länge und Breite:

700 mm (l) x 460 mm (b),

Die für jede vorgesehene Sollrohdichte berechnete Spanmenge wird per Hand in einen Streurahmen zu einem Spankuchen gestreut. Für den dreischichtigen Aufbau der Platten werden entsprechend zuerst eine Deckschicht, danach die Mittelschicht und abschließend wieder eine Deckschicht gestreut. Nach einer Vorverdichtung des Spankuchens werden entsprechende Distanzleisten zum Erreichen der Zielstärke während der Verpressung verwendet.

Pilotmaßstab

Die gleichbleibende Beschickung des Beleimungsmischers wird über ein frequenzgesteuertes Zuführband mit Trichter (RAU MASCHINENBAU GmbH, Kornwestheim) sichergestellt. Über einen höhenverstellbaren Schieber am Trichteraustrag kann ein gleichmäßiger volumetrischer Spanstrom eingestellt werden. Mit Hilfe der Bandgeschwindigkeit des Zuführbandes ist eine weitere Mengenregulierung möglich.

Der stationäre Mischer (Fa. DRAIS, Mannheim) besteht aus einem zu öffnenden, horizontal gelagerten Mischertrog und einer in dem Gehäuse gelagerten Mischerwalze. Das Spanmaterial gelangt über einen Trichter in den Einfallschacht des Mischers und wird mittels Mischwerk und Mischwerkdrehzahl zum Ausfallschacht transportiert. Auf Höhe der Beleimungszone ist von außen eine Zweistoffdüse für die Beleimung der Späne installiert. Am Ende der Welle befindet sich eine Austrittsöffnung, durch den das Spanmaterial aus dem

Mischer auf das Zuführbandsystem gelangt. Die Beleimung des Spanmaterials wird mittels einer elektrisch betriebenen, rotierenden NEMO®-Verdrängerpumpe (NETZSCH Selb, Deutschland) durchgeführt.

Bild 3-2: Spanplatten-Pilotanlage (Technikum am Büsgen-Institut, Universität Göttingen)

Zur Beleimung der Deck- und Mittelschichtspäne wird das jeweilige Spanmaterial in den Trichter des Mischerzuführbandes gegeben. Für die exakte Beleimung der voreingestellten Spanmenge pro Zeiteinheit muss die entsprechende Leimmenge mittels Frequenzumformer nachgestellt werden. Stichprobenartig werden Feuchtebestimmungen mit dem Feuchtemessgerät MA 30 (Fa. SATORIUS, Deutschland) zur Überprüfung der Beleimungsqualität durchgeführt.

Über das Zuführbandsystem werden die beleimten Deck- und Mittelschichtspäne dem jeweiligen Speicherbunker zugeführt. Der Mittelschichtbunker (SST FÖRDERSYSTEME GmbH Straubing, Deutschland) fasst ca. 100 kg beleimte Mittelschichtspäne. Der Dosierbunker besteht aus einem frequenzgesteuerten Dosierband und einem Kratzer, der einen gleichmäßig hohen Mittelschichtspankuchen auf dem Dosierband bildet. Das Dosierband befördert diesen Spankuchen in Richtung der Abwurfwalze, die die Mittelschichtspäne gleichmäßig auf zwei darunter liegende Streuwalzen wirft. Die Streuwalzen wiederum gewährleisten einen gleichmäßigen Spankuchen auf dem darunter befindlichen Formband. Die Deckschichtstreueinrichtung (Fa. BINOS GmbH, Springe) besteht ebenfalls aus einer Bunker- und einer Streueinheit und ist in ihrer Funktionsweise vergleichbar mit dem Mittelschichtbunker. Der Deckschichtstreukopf besteht aus 4 frequenzgesteuerten

Streuwalzen, die den Spanstrom nach der Spangröße in 4 Materialströme separieren. Durch die Drehgeschwindigkeit der Walzen kann dieser Separierungseffekt gesteuert werden. Damit ist eine sehr feine und homogene Struktur der Plattenoberfläche zu erreichen, da die feinsten Spanfraktionen der Deckschichtspäne sich im äußeren Bereich der Platte befinden. Das Formband befindet sich unter dem Deck- und Mittelschichtstreukopf. Sowohl die Bandlaufrichtung als auch die Bandgeschwindigkeit ist über das Bedienerpult steuerbar. Die separaten Spanmengen für Deck- und Mittelschicht und somit für die Rohdichte der zu fertigenden Spanplatte werden über die Bandgeschwindigkeit gesteuert.

Nach der Beleimung der Deckschicht- und Mittelschichtspäne sowie der Beförderung in die entsprechenden Bunker kann mit dem Streuprozess begonnen werden. Durch systematische Versuche muss zunächst die Formbandgeschwindigkeit ermittelt werden, bei der die exakten Spanmengen in den Streukasten fallen.

Um eine möglichst hohe Symmetrie der Mittelschicht zu gewährleisten wird in zwei Durchgängen gestreut. Nach Beendigung dieses Streuvorganges wird die obere Deckschicht in analoger Vorgehensweise zur unteren Deckschicht aufgebracht. Jedoch muss der Streuvorgang in entgegen gesetzter Formbandrichtung zur ersten Deckschicht erfolgen, um einen gleichmäßigen Aufbau der Platte sicherzustellen. Nach Abschluss der Streuarbeiten werden die Spankuchen kalt vorverdichtet und der Streukasten dabei abgezogen. Auf das Pressblech werden die entsprechenden Distanzleisten aufgelegt und der Spankuchen wird unter definierten Pressparametern zu einer dreischichtigen Spanplatte verpresst. Die angefertigten Platten haben folgende Abmessungen in Länge und Breite:

700 mm (l) x 460 mm (b)

Die Dosierung der Leimmenge, bestehend aus einem Harnstoff-Formaldehydharz (Kaurit® 350 flüssig), wird mit 10 % Festharzgehalt auf atro Span in der Deckschicht und 8,5 % in der Mittelschicht festgelegt. Die gesamte Zusammenstellung der Leimflotte ist in der Tabelle 3-4 aufgeführt (vgl. Kap. 3.5). Der gewichtsbezogene Anteil der Deckschicht an der gesamten Platte aller Varianten liegt bei 40 % und entsprechend 60 % beträgt der Anteil der Mittelschicht.

Tabelle 3-4: Herstellungsparameter für dreischichtige Spanplatten im Pilotmaßstab

Versuchsreihe	Hydrophobierungs-mittel (% auf atro Span)		Härte-beschleuniger (% auf FS-Bindemittel)		beleimte Sollfeuchte (% auf atro Span)		Press-faktor (s/mm)	DS-/MS-Verhältnis (%)
	DS	MS	DS	MS	DS	MS		
KüTa (MW)	1	1	0,5	1	10	8,5	12	40:60
KüTa (MR)	1	1	0,5	1	10	8,5	12	40:60
Sandwich	1	1	0,5	1	10	8,5	12	40:60
Referenz	1	1	0,5	1	10	8,5	12	40:60

Plattenformat: Länge: 700 mm Breite: 460 mm
Leim: UF-Harz, BASF Kaurit® 350 flüssig
Dosierung: DS: 10 % Feststoffgehalt auf atro Span
MS: 8,5 % % Feststoffgehalt auf atro Span
Paraffin: HydroWax®138
Dosierung: DS/MS: 1 % auf atro Span
Härter: Ammoniumsulfat (33 %)
Dosierung: DS: 0,5 % auf FS-Bindemittel
MS: 1 % auf FS-Bindemittel
Sollfeuchte (beleimt) : DS: 10 % MS: 8,5 %
Pressfaktor: 12 s/mm
Presstemp: 200 °C

3.6 Untersuchungen zur Herstellung von UF-Harz gebundenen MDF im Pilotmaßstab

3.6.1 Untersuchungsmaterial

3.6.1.1 Holz

Das für alle hier aufgeführten Versuche verwendete Küstentannenholz und Buchenholz stammt aus dem nordrhein-westfälischen Forstamt Schmallenberg (vgl. dazu auch Kap. 3.5.1).

3.6.1.2 Fasermaterial

Das für die Herstellung der Mitteldichten Faserplatten genutzte Holz wird im WILHELM-KLAUDITZ-INSTITUT Braunschweig (WKI) mittels eines „ANDRITZ-SPROUT-BAUER 12"-Laborrefiners (ANDRITZ AG, Graz) aufgeschlossen. Vor dem Faseraufschluss werden die Stämme von Hand mit einem Wagner-Messer entrindet, anschließend gespalten und zu Hackschnitzeln verarbeitet. Ohne weitere Vorbehandlung werden die Hackschnitzel unter thermisch-mechanischen Bedingungen (TMP-Verfahren) bei einer Temperatur von 150 °C, einem Druck von 4,8 bar und einer Verweildauer von 5 Minuten aufgeschlossen. Die Aufschlussparameter des Laborrefiners zeigt Tabelle 3-5.

Tabelle 3-5: Refinerparameter

Umdrehungszahl [1/min]	3000
Leistungsaufnahme [kW/h] **(Leerlauf ca. 12 kW/h)**	15
wi-Wert	5
Druck [bar] / Temperatur [°C]	4,8 / 150
MSD [1/min]	6,4
Kocher [1/min] / Zeit [min]	7 / 5
Einspeiseschnecke [1/min]	12,7
Mahlplattenabstand [mm]	0,15

Die Hackschnitzel werden taktweise über eine Druckschleuse in das Kocherrohr gegeben und anschließend in einem schiefliegenden Rohr gekocht. Nach der Zerfaserung laufen die Fasern mit sehr hoher Geschwindigkeit durch die Blow-Line. Diese führt die

Fasern weiter in ein Trocknerrohr, in welchem ein durch einen Gasbrenner erzeugter warmer Luftstrom die Fasern innerhalb von wenigen Sekunden auf 6 % bis 8 % trocknet. Die zur notwendigen Vergleichbarkeit aller Versuchsreihen eingesetzten Referenzfasern stammen von der Firma STEICO (Werk Czarnkow, Polen). Bei den Holzfasern handelt es sich um Kiefernfasern (*Pinus sylvestris)*. Der Industriefaserstoff wurde nach dem Asplund- beziehungsweise Defibrator-Verfahren hergestellt.

3.6.2 Herstellung von Pilot-MDF aus Küstentanne und Buche

Zur Herstellung von Mitteldichten Faserplatten nach dem Trockenverfahren (MDF) wird eine Pilotanlage der Firma BINOS GMBH, Springe eingesetzt. Die Faserbeschickung des Mischers erfolgt über ein Förderband mit regelbarer Geschwindigkeit. Mittels Bandgeschwindigkeit und Füllgrad des Förderbandes kann eine gleichmäßige Beschickung des Mischers gewährleistet werden. Die Beleimungsvorrichtung mit drei Einzeldüsen befindet sich an der offenen Stirnseite des Mischers (Bild 3-3*)*.

Bild 3-3: Beleimmischer mit seitlicher Sprüheinrichtung

Die definierte Fasermenge gelangt über einen Einfallschacht vom Förderband in den Mischer. Dort werden die Fasern in einen Warmluftstrom versetzt und mit einem Bindemittelnebel effizient und gleichmäßig beleimt. Zur dosierten Beleimung des Fasermaterials steht eine Nemo®-Verdrängerpumpe der Firma NETZSCH, Selb zur Verfügung.

Die Mischereinheit besteht aus einem mit Wasser gekühlten, doppelwandigen Mischergehäuse und einer in dem Gehäuse gelagerten, sich drehenden Stachelwalze. Diese garantiert eine gleichmäßige Leimverteilung auf den Fasern. Der Warmluftstrom in Kombination mit dem gekühlten Mischergehäuse verhindert ein Anhaften der beleimten Fasern an der Innenwand des Mischers. Aufgrund der Sogwirkung des Ventilators wird das

Fasermaterial am Ende der Welle durch eine Austrittsöffnung heraus transportiert und in die Rohrtrocknerleitung überführt.

Für eine genaue Leimdosierung wird die Faserausgangsfeuchte mit einem Feuchtemessgerät ermittelt. So können der lutro und atro Faserdurchsatz und daraus der lutro und atro Bindemitteldurchsatz berechnet werden. Die benötigte Menge an Hydrophobierungsmitteln kann ebenfalls auf diese Weise bestimmt werden. Die daraus kalkulierbare, theoretische Feuchte der beleimten Fasern ist Ausgangswert für eine optimale Einstellung der Trocknungsparameter. Nach der Trocknung soll die beleimte Feuchte zwischen 10 % und 12 % liegen. Die Berechnung für die Bindemittelmenge pro Zeiteinheit beruht auf unterschiedlichen Faserdurchsätzen. Die Unterschiede ergeben sich aus verschiedenen Schüttgewichten der Faserstoffe bei konstanter Streuhöhe und konstanter Geschwindigkeit des Zuführbandes während der Faseraufgabe. Somit wird der jeweilige Faserdurchsatz gewichtsmäßig pro Zeiteinheit bestimmt und volumetrisch kontrolliert. Für einen sicheren Wert werden pro Ausgangsmaterial zehn Messungen durchgeführt.

Die benötigte Bindemittelmenge inklusive Hydrophobiermittel pro Zeiteinheit bei gegebenem Faserdurchsatz wird ausschließlich gravimetrisch durch wiederholtes Auslitern bestimmt. Über die Motorfrequenz der Leimpumpe kann die exakte Bindemittelmenge entsprechend eingestellt werden. Faser- und Bindemitteldurchsatz werden in kg/min berechnet.

Sind alle Parameter voreingestellt, kann die Gesamtleimmenge für eine gewünschte Fasermenge aufgegeben und über drei Zweistoffdüsen dem Faserstrom zugegeben werden. Während der Beleimung werden wiederholt die Feuchtegehalte der beleimten und getrockneten Fasern überprüft. So können gegebenenfalls Korrekturen der Trocknungsparameter getätigt werden.

In dem mit einem gasbetriebenen Brenner kombinierten Rohrtrocknersystem wird das Fasermaterial getrocknet und mit Hilfe des Ventilators zum Zyklon transportiert. An der Rohrtrocknerleitung sind direkt nach Brenneraustritt (Trocknereintritt) und kurz vor dem Zyklon (Trockneraustritt) Temperaturfühler angebracht, um die Trocknungstemperaturen regeln und überwachen zu können.

Der Zyklon trennt überflüssigen Staub vom Fasermaterial. Unterhalb befindet sich eine Zellradschleuse durch die das gesammelte und getrocknete Fasermaterial auf das Speicher- und Zuführband aufgegeben wird. Das Luftsystem wird dabei geschlossen gehalten.

Das Material gelangt vom Speicher- und Zuführband in den Dosierbunker. Durch einen sich im Bunker befindlichen Rückstreifrechen werden die Fasern zum hinteren Ende des Bunkers verteilt. Dies ist entscheidend für die spätere Qualität des gestreuten Faservlieses.

Das Dosierband befördert das Fasermaterial zur Austragsfront, wobei die Austragsmenge über die Dosierbandgeschwindigkeit zu regeln ist. Fünf frequenzgesteuerte Profilwalzen bilden den Austrag an der Bunkerfront. Die Profilwalzen sind mit Messerscheiben ausgestattet, die das Fasermaterial auflockern und gleichmäßig zum Faserstreukopf transportieren.

Der Faserstreukopf besteht aus einem höhenverstellbaren, schräg angeordneten Walzenbett mit sechs frequenzgesteuerte Stachelwalzen. Das Fasermaterial wird durch das Walzenbett zu einem gleichmäßigen Faservlies mit einer Breite von 800 mm auf das Formband gestreut. Dabei sorgt der nachgeschaltete, höhenverstellbare Rückstreifrechen für eine gleichmäßige Höhe des Faservlieses. Dabei ist die Höhe des Faservlieses abhängig von der eingestellten Geschwindigkeit des Dosierbandes und des Formbandes sowie der Höhe des Rückstreifrechens. Das Faservlies wird mittels einer Vorpresse vorverdichtet. Aus dem Vlies werden nun mit Hilfe einer elektrischen Schaumstoffsäge Fasermatten mit den gewünschten Plattenmaßen der Rohplatten geschnitten. Nach der Heißverpressung werden die Mitteldichten Faserplatten zur Akklimatisierung und Nachreifung für 24 Stunden gelagert, danach geschliffen und besäumt.

Für eine exakte Verarbeitung der zu untersuchenden Fasermaterialien müssen diese zunächst in einem Vorlauf aufbereitet werden. Dazu wird der jeweilige Faserstoff der Pilotanlage zugeführt und in einem Leerlauf, das heißt ohne Leimzugabe und ohne Trocknung, aufgearbeitet. Die Mischereinheit, die Rohrtrocknung mit Ventilator sowie Dosierbunker und Streuvorrichtung sorgen dabei für eine gleichmäßige Auflockerung der Fasern. So werden die vorverdichteten Ausgangsfasern je nach Fasertyp mit einer Lagerdichte von 180 kg/m³ auf ein Streugewicht von ca. 20 kg/m³ gebracht. Eine gleichmäßige Dosierung und Beleimung der Fasern kann so gewährleistet werden.

3.6.3 Versuchsanordnung und Herstellungsarameter für MDF im Pilotmaßstab

Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen werden MDF-Platten mit Rohdichten von 500 kg/m³, 600 kg/m³, 700 kg/m³ und 800 kg/m³ und einer Zielstärke von 10 mm hergestellt. Alle Herstellungsparameter sind in der Tabelle 3-6 aufgeführt.

Die Versuchsanordnung der im Pilotmaßstab hergestellten MDF soll Erkenntnisse über die holzspezifischen Eigenschaften und Auswirkungen der Fasern aus Küstentanne und Buche auf die Plattenqualität liefern. Dabei wird ein breites Rohdichtespektrum in jeder Versuchsreihe abgedeckt. Im Rahmen der hier aufgeführten Ergebnisse werden 3 Versuchsreihen dargestellt, bestehend aus Küstentannenfasern, aus Buchenfasern und aus einem zu jeweils 50 % bestehendem Buchen-/Küstentannenfasermix. Zur Vergleichbarkeit wird eine Referenzserie aus reinen Kiefernfasern (Fa. STEICO, Polen) mit identischen Parametern angefertigt. Für eine umfangreichere Beurteilung der Eigenschaften der Küstentannen- und Buchenfasern werden weitere begleitende Untersuchungen angeführt (RITTER, 2007; MARTUNIS, 2008).

Tabelle 3-6: Versuchsplan und Herstellungsparameter für im Pilotmaßstab hergestellte MDF-Platten aus Küstentannenfasern und Buchenfasern vergleichend zu MDF, hergestellt aus Kiefernfasern.

Variante	Faserstoff	Rohdichtebereich	Zielstärke	Bindemittel	% auf atro Faser
		kg/m³	mm		
KüTa	Küstentanne	500- 700	10 /16 mm	UF Kaurit® 465 flüssig	12%
Bu/KüTa	Küstentanne/Buche	500- 800	10 mm	UF Kaurit® 465 flüssig	12%
Bu	Buche	500- 800	10 mm	UF Kaurit® 465 flüssig	12%
REF	Küstentanne	500- 700	10 mm	UF Kaurit® 465 flüssig	12%

Plattenformat:		Länge: 600 mm Breite: 450 mm		
Leimzusammensetzung:				
UF-Harz:	:	12 % Feststoffgehalt auf atro Faser	Kaurit® 465 flüssig	
Paraffin:		1 % auf atro Faser	HydroWax®730	
Pressfaktor:		9 s/mm	Presstemp:	200 °C
Sollfeuchte: (beleimt)	:	10 %	Faserfeuchte (vor Beleimung)	12 %

Der Beleimungsgrad für alle Plattenvarianten liegt bei 12 % Festharz auf atro Faser und die Dosierung des Hydrophobiermittels liegt bei 1 % Feststoff auf atro Faser. Die gestreuten und vorverdichteten Faserplatten werden bei 200 °C und einem Pressfaktor von 9 s/mm Plattendicke verpresst.

3.7 Ermittlung des holz- und spanspezifischen Pressdrucks bei der Herstellung einschichtiger, UF-Harz gebundener Spanplatten aus Küstentanne; Einflussnahme auf das Rohdichteprofil sowie auf die Querzug- und Biegefestigkeit

Die auf die Holz- und Spaneigenschaften bezogenen spezifischen Pressdrücke werden mit der hydraulischen Ein-Zylinder-Unterkolbenpresse „Joos-Qualitäts-Presse, LAP- 40“ (GOTTFRIED JOOS MASCHINENFABRIK GMBH & CO., Pfalzgrafenweiler) ermittelt. Die wahlweise druck- und weggesteuerte Presse hat eine Gesamtpresskraft von 400 kN und einen maximalen hydraulischen Betriebsdruck von 326 bar. Bei Ausnutzung der maximalen Pressfläche von 600 x 600 mm beträgt der spezifische Druck 111,11 N/cm². Die beiden elektrisch beheizten Pressbacken können bis auf 250 °C temperiert werden.

Es gilt die Abhängigkeit des maximalen spezifischen Pressdrucks von der Holzart und von den daraus produzierten Spänen mit verschiedenen Schüttgewichten beziehungsweise Streudichten zu ermitteln. Dafür werden einschichtige Spanplatten mit jeweils einheitlichem Spantyp angefertigt, da so exaktere Aussagen zum Einfluss der spezifischen Spaneigenschaften auf Qualität der Platten gemacht werden können. Für jeden Spantyp werden die Schüttgewichte und die Streudichten aller vorgegebenen Plattenrohdichten ermittelt. Siebanalysen werden für weitere Erklärungsansätze durchgeführt. In dieser Versuchsanordnung werden Küstentannenspäne aus einer Messerringzerspanung und aus einer Messerwellenzerspanung (vgl. dazu auch Kap. 3.5.1 und 3.8.1) verwendet. Als Vergleichsserie wird ein industriell hergestelltes Spanmischgut (PFLEIDERER INDUSTRIE, GÜTERSLOH) eingesetzt (vgl. Kap. 3.5.1).

Mit den Ausgangsmaterialien werden einschichtige Spanplatten mit den Zielrohdichten 400 kg/m³, 500 kg/m³, 600 kg/m³ und 700 kg/m³ hergestellt. Die Außenmaße der Rohplatten betragen 400 mm x 250 mm x 20 mm (l x b x h). Als Bindemittel wird ein Harnstoff-Formaldehydharz der Marke Kaurit® 350 flüssig (Fa. BASF, Ludwigshafen) eingesetzt (vgl. Kap. 3.4). Die Leimmenge wird mit 8,5 % Festharz auf atro Span angesetzt und der Härtungsbeschleuniger (33 %iges Ammoniumsulfat) mit 1 % Feststoff bezogen auf Feststoffgehalt Bindemittel. Die berechneten Spanmengen werden per Hand in den Streukasten verteilt. Danach wird die Streuhöhe des Spankuchens gemessen und daraus unter Einbeziehung des Spangewichts und des Plattenformats die Streudichte berechnet. Im Gegensatz zum Schüttgewicht wird die Streudichte bei verschiedenen Streumengen bestimmt und verändert sich aufgrund des eigenen Spangewichts.

Bei einer Temperatur von 200 °C und einem Pressfaktor von 9 s/mm wurden die gefertigten Spankuchen unter kontinuierlicher Aufzeichnung des Druckverlaufs verpresst. Entscheidend waren die Druckmaxima bei Erreichen der Zielstärke von 20 mm. Der in den Ergebnissen angegebene Pressdruck für eine Versuchsreihe und Rohdichtestufe stellt einen Mittelwert von jeweils drei hergestellten Platten dar. Zur Berechnung des spezifischen Drucks wurde die benötigte Gesamtpresskraft auf die Pressfläche bezogen, die hier 1000 cm² beträgt. Zur weiteren Bewertung der maximalen Pressdrücke wurden die Biegefestigkeiten und die Querzugfestigkeiten der einschichtigen Platten ermittelt und den entsprechenden Rohdichteprofilen gegenübergestellt. Aufgrund der geringen Plattenmaße war es notwendig den Biegeversuch nach DIN 52364-1 durchzuführen. Die Prüfung der Querzugfestigkeit fand nach den Vorschriften der DIN EN 319 statt.

3.8 Industrielle Produktionsversuche zur Herstellung von dreischichtigen, UF-Harz gebundenen Spanplatten aus Küstentannenholz

3.8.1 Ausgangsmaterial

Das für die Produktionsversuche eingesetzte Küstentannen- und Buchenholz stammt aus Forstämtern der Region Bielefeld. Hinsichtlich der Beschaffung von Küstentannen-Industrieholz war es dabei notwendig auf mehrere Forstämter zurückzugreifen, da sonst eine für die Versuche ausreichende Holzmenge nicht bereitgestellt werden konnte.

Für die Spanplattenversuche standen 70 t, 199 t und 80 t atro Küstentannen-Industrieholz, angegeben in der Reihenfolge der 3 durchgeführten Produktionsversuche, zur Verfügung. Das Holz wurde in Abschnitten zu 3 m geliefert (Bild 4-3). Der durchschnittliche Mittendurchmesser der Abschnitte lag bei 18 – 20 cm. Am Polter wurde das Holz visuell beurteilt. Indikatoren, wie Krummschaftigkeit, Astigkeit und durchschnittlicher Mittendurchmesser haben Einfluss auf die spätere Zerspanung.

3.8.2 Industrielle Herstellung von dreischichtigen Spanplatten aus Küstentanne

Das jeweilige Versuchsholz wurde bei Werkseingang mittels der Atro-Gewichtsabrechnung auf die Holzfeuchte hin untersucht. Dies geschieht über die Ermittlung des Nettogewichts der Holzlieferung (Abbildung 3.8-1). Dafür werden 5 mal 100 g Spanproben über repräsentative Schnitte von beiden Seiten der Ladung entnommen und die Darrfeuchte bestimmt. Auch für die Durchführung der Zerspanungsversuche zur Relativierung der Zerspanungsarbeit auf eine Tonne atro Holz war es notwendig, die Darrfeuchte des Versuchsholzes zu bestimmen. Die ermittelten Feuchten wurden über stetige Feuchtemessungen der frisch produzierten Nassspäne kontrolliert.

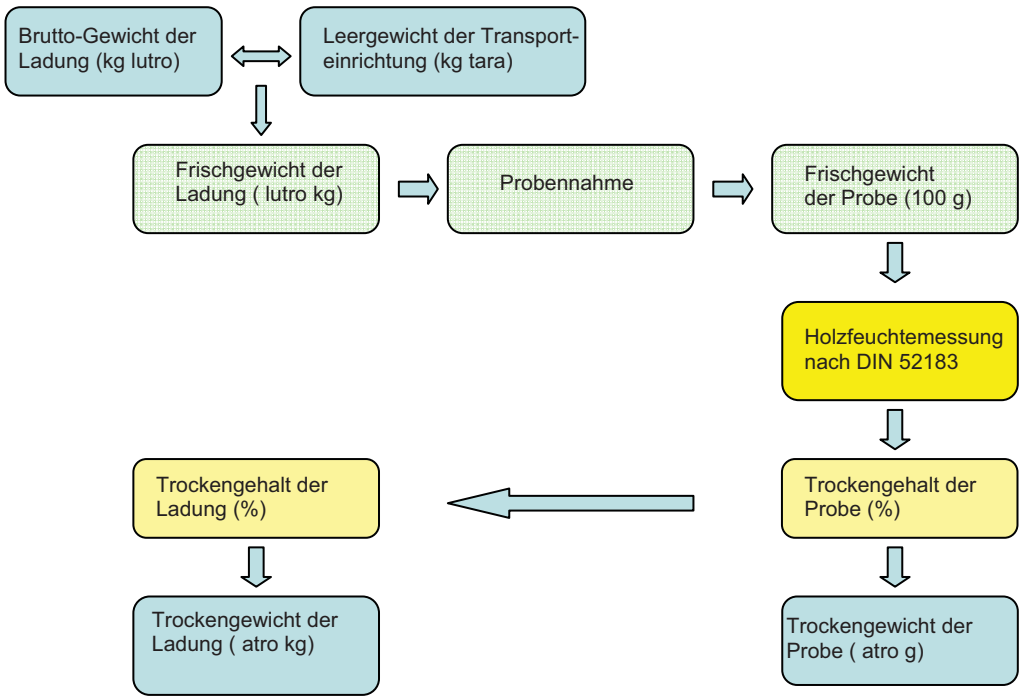

Abbildung 3.8-1: Schemata zur Atro-Gewichtsabrechnung

Die Zerspanung des Versuchsholzes, sowie für die Messungen zum holzspezifischen Energieverbrauch bei der Zerspanung erfolgt über zwei Messerwellenzerspaner der Firma KLÖCKNER. Angetrieben wird jeder Zerspaner von zwei Aggregaten mit einer Antriebsleistung von jeweils 600 kW (Bild 3-4).

Bild 3-4: Messerwellenzerspaner (Firma KLÖCKNER), Messerwelle mit Kamm-Messern (Rückansicht)

Bei diesen Messerwellenzerspanern wird der Schrägschnitt angewendet. Dabei sind die Messer zur Messerwellen-Drehachse geneigt angeordnet. Hierdurch wird eine Verringerung der Spankrümmung erreicht (DEPPE/ERNST 2000).

Die Beschickung der Spananlage erfolgt über ein Laufband. Die Holzstämme beziehungsweise die Holzabschnitte werden stoßweise in einen Zerspanerraum geführt und dort fixiert. Die Messerwellen bewegen sich senkrecht zur Faserrichtung des Holzes, so dass Späne in Faserlängsrichtung entstehen, die hauptsächlich für die Mittelschicht der Spanplatten verwendet werden. Laut Angaben der Werksführung erreicht ein Zerspaner unter optimalen Bedingungen einen Spandurchsatz von 15 t atro Holz pro Stunde. Die Späne gelangen anschließend über einen mechanischen Förderer zum Schneidspan-Dosierbunker. Neben dem Schneidspansilo sind zwei weitere Rundsilos für Sägemehl und Späne aus der Rücktrocknung und Produktion (Fehlschüttungen) installiert, die mit einem Fassungsvermögen von je 600 m³ als Materialpuffer dienen.

Zwei Röhrenbündel-Trommeltrockner der Firma BÜTTNER (Gesellschaft für Trocknungs- und Umwelttechnik mbH, Krefeld) werden zur Trocknung des Spanmaterials eingesetzt. Das Trocknungsverfahren beruht auf dem Prinzip der indirekten Trocknung. Bei max. 190 °C Trocknungstemperatur und einer Trocknungsdauer von 20 bis 30 min liegt die Darrfeuchte der Späne bei 0,5 %. Dabei liegt die übliche Trockneraustrittstemperatur zwischen 100 und 120 °C. Die Wasserverdampfungsleistung liegt bei jeweils 19 t/h und die mechanische Durchsatzleistung bei max. 27 t/h. Zur Reduzierung der Formaldehydemissionen der Platten wird während der Trocknung ~0,32 % Harnstoff auf die trockenen Späne gegeben. Für die Berechnung wird 0,5 % Feuchte als absolut trocken angesehen. Aufgrund anlagentechnischer Gegebenheiten konnten die Produktionsversuche mit 100 % Schneidspänen für dreischichtige Spanplatten nur direkt nach einer Reinigungsschicht gefahren werden. Während der Trocknung der Küstentannenspäne befand sich der Trockner noch in der Aufheizphase. Die durchschnittliche Trockneraustrittstemperatur bewegte sich dabei zwischen 80 °C und 90 °C. Deshalb wurde die Zugabemenge des Harnstoffs etwas höher dosiert, was jedoch wiederum die späteren Festigkeitseigenschaften der hergestellten Spanplatten negativ beeinflussen könnte.

Bild 3-5: Röhrenbündel-Trommeltrockner der Firma BÜTTNER (Gesellschaft für Trocknungs- und Umwelttechnik mbH, Krefeld)

Das getrocknete Spangut gelangt über Förderschnecken in die Siebanlage. Jeder Trockner beschickt zwei Siebe mit einer Siebfläche von jeweils 42 m². Dort wird das Spanmaterial in sechs Fraktionen eingeteilt. Hierbei wird unterschieden in Siebstaub, Deckschicht/fein (DS-fein), Deckschicht/grob (DS-grob), Mittelschicht/fein (MS-fein), Mittelschicht/grob (MS-grob) und Grobgut. Der Spandurchsatz je Sieb beträgt 110 m³/h.

Eine pneumatische Trennung der Späne von Mineralien und Fremdkörpern erfolgt in der Sichteranlage (SCHENKMANN und PIEL GmbH Co. KG, Leverkusen). Diese besteht aus 4 Schwebesichtern, getrennt für DS-fein, DS-grob, MS-fein und MS-grob. Angefallenes Grobgut wird ebenfalls aussortiert und zur Nachzerkleinerung einer Deckschicht-Mühle zugeführt.

Die Späne werden getrennt nach Deck- und Mittelschichtspänen in schnell laufenden Ringmischern der Firma PAL beleimt. Die Leimflotte wird über außenliegende Leimröhrchen zugeführt (sog. Aussenbeleimung). Die gleichmäßige Zerteilung des Leimes erfolgt mittels Mischwerkzeugen aufgrund der durch die hohe Differenzgeschwindigkeit ausgeübten Friktion zwischen Span und Span sowie zwischen den Spänen und Maschinenelementen (ENGELS, 1983). Diesen Effekt bezeichnet ENGELS (1983) als Wischeffekt (vgl. Kap. 2.5.1). Die Spandosierung wird gravimetrisch über Bandwaagen gesteuert und ist abhängig von der benötigten Spanmenge der Plattenproduktion. Dabei wird die Härterlösung separat in ein Mischrohr zur Leimflotte gepumpt. Das hier angewandte Flüssigparaffin wird direkt in den Beleimungsmischer gedüst und regelungstechnisch wie auch die Leimflotte, von der Bandwaage gesteuert.

Die beleimten Deck- und Mittelschichtspäne werden über eine geregelte Verteilung in vier Streumaschinen der Firma SIEMPELKAMP (Krefeld) befördert, die in Produktionsrichtung als Deckschicht-, Mittelschicht-, Mittelschicht- und Deckschicht-Streumaschinen oberhalb des Formstranges aufgebaut sind. Die Streumaschinen sind so eingerichtet, dass sich Plattenbreiten von 1,85 bis 2,20 m und Plattenstärken von 8 bis 40 mm austragen lassen. Die Deckschicht-Streumaschinen verfügen zusätzlich jeweils über einen Bandbunker, der sich oberhalb der Streueinrichtung befindet und als kleiner Materialpuffer dient. Die Streueinrichtung beinhaltet rotierende Stachelwalzen und eine luftunterstützte Separation in einer geschlossenen Windstreukammer. Durch die Luftströmung wird das feine Deckschichtmaterial an die Oberfläche der Spanplatten getragen.

Bild 3-6: links: Streumaschinen; rechts: Vorpresse

Die Mittelschicht-Streumaschinen sind im Wesentlichen aufgebaut wie die Deckschicht-Maschinen, jedoch wird auf die Windstreukammer mit Luftströmung verzichtet. Das Mittelschicht-Spanmaterial wird im Gegensatz zum Deckschichtspanmaterial direkt auf den Formstrang abgelegt.

Ein Kunststoffband im Formstrang übernimmt den Transport der beleimten, ausgestreuten Späne und führt die Spanmatte unterhalb der Streumaschinen hindurch. Dabei wird das aufliegende Gewicht der Spanmatte über zwei Waagen im Durchlaufverfahren ermittelt und elektrisch als Stellgröße zur Einhaltung der Produktionsvorgaben in die Austragungen der Streumaschinen übertragen. Die endlos gestreute Spanmatte durchläuft eine hydraulisch betriebene, kalte Vorpresse zur Fixierung der ausgestreuten Späne. Zudem wird durch eine Vorverdichtung der Späne die Luft aus der Spanmatte gedrückt.

Der Aushärtungsprozess des Leimes unter Druck- und Temperatureinfluss findet in der kontinuierlich arbeitenden CONTIROLL®-Presse (SIEMPELKAMP, Krefeld) statt. Dabei wird die endlose Spanmatte im Presseneinlauf auf ein untenliegendes Stahlband übergeben. Von

der Oberseite wird ein weiteres Stahlband an die Spanmatte herangeführt. Die Presse weist eine Länge von 43 m auf und wird über 51 Pressrahmen mit je 5 Presszylindern betrieben. Der für die Zielstärke der Platten einzustellende Pressspalt wird demnach über Druckregelungen gesteuert. Für die erforderliche Presstemperatur sorgen 5 Heizzonen, die mit Thermoöl beheizt werden.

Die endlos gepresste Spanplatte wird im Durchlauf besäumt und mittels einer Doppeldiagonalsäge auf die gewünschten Formate abgelängt. Die Spanplattenrohformate werden zur Abkühlung durch die Kühlsterne transportiert, anschließend gestapelt und zwischengelagert (Bild 4-8).

Bild 3-7: links: Sternwender; rechts: Plattenlager

Bevor die fertigen Spanplatten eingelagert werden, müssen die Rohplatten auf das endgültige Fertigformat geschliffen und besäumt werden. Dazu werden 4 Bandschleifmaschinen mit der Kornfolge K50-K60-K80-K100 verwandt.

Im Folgenden (Tabelle 3-7 bis Tabelle 3-9) sind die für die geplanten Industrieversuche zu Grunde gelegten Parameter aufgeführt und beschrieben.

Im Rahmen des ersten Produktionsversuches werden ausschließlich 19 mm dicke, dreischichtige Spanplatten produziert. Dabei kann der Produktionsplan in zwei Teile differenziert werden. Die Herstellung von Plattenvarianten bestehend aus 100 % Küstentannenschneidspänen aus Messerwellenzerspanung kennzeichnete den ersten Teil. Im Mittelpunkt des Interesses stand hier die schrittweise Ermittlung der Rohdichtegrenzwerte bezüglich der Erfüllung derzeit gültiger Mindestwerte für mechanisch-technologische Eigenschaften nach DIN EN 312. Berücksichtigt werden die Mindestwerte aller Spanplatten, die im Trockenbereich eingesetzt werden können. Nach der Klassifizierung dieser Norm gelten folglich die Mindestwerte für die Plattentypen P1, P2, P4 und P6. Da ausschließlich Platten für die spätere Verwendung im Trockenbereich hergestellt wurden, wurde lediglich UF-Harz als Bindemittel bei der Produktion verwendet.

Zur klaren, linearen Darstellung des kritischen Rohdichtebereichs werden anfänglich Rohdichten gefahren, die deutlich unterhalb der zu erwartenden optimalen Dichte liegen, hier beginnend mit der Variante KüTa**1***2* mit einer Sollrohdichte von 350 kg/m³ (vgl. Tabelle 3-7). Im weiteren Produktionsverlauf werden die Rohdichten schrittweise auf 450 kg/m³ und 550 kg/m³ angehoben (Varianten KüTa**1***3* und KüTa**1***3)*. Der zweite Teil des ersten Versuchs dient der Überprüfung der Eigenschaften der Küstentannenspäne bei sukzessiver Abmischung mit anderen Spansortimenten. Einen Spananteil, bestehend zu 50 % aus Küstentanne und 50 % aus Buche, beinhaltet die Variante KüTa**1***5*, die den zweiten Teil des Produktionsversuches einleitete. Zu je einem Drittel sind Küstentannen- und Buchenspäne sowie Industriespäne in der Variante KüTa***16*** anteilig vertreten. Mit Industriespänen wird hier ein Sortiment aus Sägespänen und Recyclingholz bezeichnet.

Tabelle 3-7: Produktionsplan (Versuch 1) für dreischichtige Spanplatten aus 100 % Küstentannenholz (Teil 1) und aus Küstentannenspänen mit unterschiedlichen Beimischungen von Buchenspänen und anderen Spansortimenten (Teil 2)

	Bezeichnung	Dicke	Rohdichte	Anteile		Anteile		
		mm	kg/m³	DS in %	MS in %	Küstentanne in %	Buche in %	Industriespäne in %
Referenz	REF**1***1*	19	**550**	34	66	**0**	0	100
Küstentanne	KüTa**1***2*	19	**350**	34	66	**100**	0	0
(Teil 1)	KüTa**1***3*	19	**450**	34	66	**100**	0	0
	KüTa**1***4*	19	**550**	34	66	**100**	0	0
Küstentanne/Buche/Indsp	KüTa**1***5*	19	**650**	34	66	**50**	50	0
(Teil 2)	KüTa**1***6*	19	**550**	34	66	**33,3**	33,3	33,3
	KüTa**1***7*	19	**550**	34	66	**25**	25	50

Verpackungsmaterial:		Dicke: 19 mm	
Plattenformat:		Länge 5310 mm, Breite 2120 mm, Stärke 19,4 mm	
Leimzusammensetzung:		UF-Harz; Standardmischung	
UF-Harz:	DS:	11 % Festharz auf atro Span	ZAK Silicol W1C
	MS:	7 % Festharz auf atro Span	Sadepan Sadecol L 3096 S
Paraffin:	DS/MS:	0,45 % auf atro Span	H+R Vivamelt S 52
Härter:	DS	0,25 % auf FS Leim	Ammoniumchlorid (20 %ig)
	MS	2,0 % auf FS Leim	Ammoniumchlorid (20 %ig)
Pressfaktor:		6,5 -7,5 s/mm	Presstemperatur: 225 °C
Sollfeuchte	DS:	12,5 %	
(beleimt)	MS:	6,5 %	
Spanfeuchte	DS:	2,5 %	
vor Beleimung	MS:	2,0 %	

Abgeschlossen wird dieser Großversuch mit einer Plattenvariante, die mit einem reduzierten Küstentannen- und Buchenanteil von jeweils 25 % und einem Industriespananteil von 50 % produziert wird (KüTa***17***). Zur Vergleichbarkeit dieser Versuchsvarianten mit Platten aus werksüblichen Spangemischen werden zuvor Referenzplatten mit einer Rohdichte von 550 kg/m³ angefertigt (REF**1***1***).

Alle Varianten werden mit gleichen Beleimungs- und Pressparametern hergestellt bei konstanter Zusammensetzung der Spanfraktionen. Die Leimflotte wird angegeben mit einem Beleimungsgrad von 11 % auf atro Span für die Deckschicht und 7 % auf atro Span für die Mittelschicht. Bezogen auf den Feststoffgehalt des Leimes wird 0,25 % Härterlösung (Ammoniumchlorid, 20 %ig) der DS-Leimflotte zugeführt und 2 % der MS-Leimflotte. Kurz vor der Leimapplikation werden die Späne mit einer Paraffinemulsion zur Verbesserung der Quelleigenschaften benetzt. Die Paraffinmenge liegt bei 0,45 % bezogen auf atro Span für DS und MS. Die konkreten Markenbezeichnungen für Bindemittel und Zuschlagstoffe sind der Tabelle 4-8 zu entnehmen. Die beleimten Späne haben eine Sollfeuchte von 12,5 % und 6,5 % entsprechend für DS und MS. Nach Einstreuen der Späne wird der Spankuchen mit einem Pressfaktor von 6,5 – 7,5 s/mm bei 225 °C heiß verpresst. Die Plattenendfertigung ist entsprechend der in diesem Kapitel dargestellten Vorgehensweise.

Hauptziel des zweiten Produktionsversuches ist die Herstellung von 38 mm dicken Arbeitsplatten aus 100 % Küstentannenspänen (Teil 1). Vergleichend zum ersten Versuch wird hier über Rohdichteveränderungen die optimale Rohdichte ermittelt, die den Platten ausreichende Festigkeiten, zur Erfüllung der entsprechenden Anforderungen nach DIN EN für Platten zur Verwendung im Trockenbereich, verleiht. Schrittweise wird die Rohdichte von anfänglich 400 kg/m³ auf 450 kg/m³ und schließlich auf 520 kg/m³ erhöht. In der Tabelle 4-9 sind die Produktionsvarianten des zweiten Versuchs aufgeführt. Teil 2 der Untersuchungen mit der Reproduktion von 19 mm dicken Spanplatten soll eine Vergleichbarkeit zwischen allen Produktionsversuchen herstellen und eine erhöhte statistische Sicherheit der bereits ermittelten Ergebnisse liefern.

Tabelle 3-8: Produktionsplan (Versuch 2) für dreischichtige, 38 mm dicke Spanplatten aus 100 % Küstentannenspänen (Teil 1) sowie für dreischichtige, 19 mm dicke Spanplatten aus 100 % Küstentannenholz und unterschiedlichen Beimischungen von Buchenspänen und anderen Spansortimenten (Teil 2).

		Dicke	Rohdichte	Anteile		Anteile		
		mm	kg/m³	DS in %	MS in %	Küstentanne in %	Buche in %	Industriespäne in %
Küstentanne (Teil 1)	REF**2***0*	38	**610**	34	66	0	0	100
38 mm	KüTa**2***1*	38	**400**	34	66	100	0	0
	KüTa**2***2*	38	**450**	34	66	100	0	0
	KüTa**2***3*	38	**520**	34	66	100	0	0
Küstentanne (Teil 2)	KüTa**2***4*	19	**600**	34	66	100	0	0
19 mm Reproduktion	KüTa**2***5*	19	**560**	34	66	100	0	0
	KüTa**2***6*	19	**580**	34	66	33,3	33,3	33,3

Verpackungsmaterial:		Dicke: 19 mm, 38 mm	
Plattenformat:		Bei 19 mm: Länge 5310 mm, Breite 2120 mm, Stärke 18,8 mm	
		Bei 38 mm: Länge 4105 mm, Breite 2155 mm, Stärke 38 mm	
Leimzusammensetzung:		UF-Harz; Standardmischung	
UF-Harz:	DS:	11 % Festharz auf atro Span	Dynea Prefere 10F102
	MS:	7 % Festharz auf atro Span	Dynea Prefere 10F102
Paraffin:	DS/MS:	0,45 % auf atro Span	H+R Vivamelt S 52
Härter:	DS:	0,5 % auf FS Leim	Ammoniumchlorid(20 %ig)
	MS:	1,5 % auf FS Leim	Ammoniumchlorid (20 %ig)
Pressfaktor:		6,5 - 7,5 s/mm	
Presstemperatur:		225 °C	
Sollfeuchte	DS:	12,5 %	
(beleimt)	MS:	6,5 %	
Spanfeuchte	DS:	2,5 %	
vor Beleimung	MS:	2,0 %	

Aufgrund der bedingten Aussagefähigkeit bei der einfachen Gegenüberstellung der Versuchsplatten aus Schneidspänen und der werküblichen Platten aus verschiedenen Spansortimenten, wird im dritten und letzten Produktionsversuch ein direkter Vergleich zwischen der Verarbeitung von Küstentannenholz und dem Einsatz eines Nadelholzsortiments, bestehend aus 50 % Fichtenholz (*Picea abies*) und 50 % Kiefernholz (*Pinus sylvestris*) realisiert. Das Nadelholzsortiment steht in Industrieabschnitten á 3 m zur Verfügung, die im Durchschnitt einen Mittendurchmesser von 18 cm besitzen. Damit sind vergleichbare Ausgangsparameter gegeben, die vor allem für die Zerspanungsversuche von großer Bedeutung sind.

Auch dieser Produktionsplan kann in zwei Teile unterteilt werden. Die Herstellung von 12 mm dicken Spanplatten stellt hier den Kernversuch dar. Des Weiteren ist die erneute Reproduktion von 19 mm dicken Platten dem Hauptversuch nachgestellt. Alle Plattenvarianten aus Teil 1 und Teil 2 dieses Versuchs haben einen Schneidspananteil von 39

%. Weiterhin werden 21,8 % Sägespäne, 34,2 % Spangut aus Hackschnitzel und 5 % Rückgutspäne aus Fehlschüttungen vor Presseneingang eingesetzt (Tabelle 4-10).

Tabelle 3-9: Produktionsplan (Versuch 3) für dreischichtige, 12 mm dicke Spanplatten aus anteilig 39 % Küstentannenspänen vergleichend zu 19 mm Spanplatten aus anteilig 39 % Fichten-/Kiefernspänen, jeweils bei konstanter Beimischung verschiedener Spansortimente (Teil 1), sowie für dreischichtige, 19 mm dicke Spanplatten aus anteilig 39 % Küstentannenspänen vergleichend zu Spanplatten aus anteilig 39 % Fichten-/Kiefernspänen, jeweils bei konstanter Beimischung verschiedener Spansortimente (Teil 2).

		Dicke	Rohdichte	Anteile		Anteile			
		mm	kg/m³	DS %	MS %	KüTa /NH %	Sägespäne %	HKS %	Rückgut %
Teil 1									
Fichte/Kiefer	FiKi **3***1*	12	**700**	34	66	39	21,8	34,2	5
Fichte/Kiefer	FiKi **3***2*	12	**600**	34	66	39	21,8	34,2	5
Fichte/Kiefer	FiKi **3***3*	12	**550**	34	66	39	21,8	34,2	5
Küstentanne	KüTa **3***4*	12	**700**	34	66	39	21,8	34,2	5
Küstentanne	KüTa **3***5*	12	**600**	34	66	39	21,8	34,2	5
Küstentanne	KüTa**3***6*	12	**550**	34	66	39	21,8	34,2	5
Teil 2									
Fichte/Kiefer	FiKi **3***7*	19	**660**	34	66	39	21,8	34,2	5
Fichte/Kiefer	FiKi **3***8*	19	**560**	34	66	39	21,8	34,2	5
Küstentanne	KüTa **3***9*	19	**560**	34	66	39	21,8	34,2	5

Verpackungsmaterial:		Dicke: 19 mm, 12 mm	
Plattenformat:		Bei 19 mm: Länge 5310 mm, Breite 2100 mm, Stärke 18,8 mm	
		Bei 12 mm: Länge 5311 mm, Breite 2100 mm, Stärke 11,8 mm	
Leimzusammensetzung:		UF-Harz; Standardmischung	
UF-Harz:	DS:	12 % Festharz auf atro Span	Silekol W1L
	MS:	8 % Festharz auf atro Span	Silekol W1L
Paraffin:	DS/MS:	0,2 % auf atro Span	H+R Vivamelt S 52
Härter:	DS:	0,5 % auf FS Leim	Ammoniumchlorid (20 %ig)
	MS:	1,1 % auf FS Leim	Ammoniumchlorid (20 %ig)
Pressfaktor:		6,5 - 7,5 s/mm	
Presstemperatur:		225 °C	
Sollfeuchte	DS:	7 %	
(beleimt)	MS:	4,7 %	
Spanfeuchte	DS:	1,9 %	
vor Beleimung	MS:	1,9 %	

Eine weitere Besonderheit dieses Versuchs ist der Einsatz eines UF-Harzes mit geringem Formaldehydanteil, der den strenger gewordenen Anforderungen der Möbelindustrie gerecht werden soll (EPFS-Leim). Dabei wird die Dosierung der Leimmenge leicht erhöht. Die Deckschicht wird mit 12 % Festharz auf atro Span und die Mittelschicht mit 8 % Festharz auf atro Span beleimt. Dabei werden sowohl der Paraffinanteil als auch die beleimte Sollfeuchte leicht gesenkt. Die Pressparameter sind nahezu identisch verglichen mit den zuvor durchgeführten Versuchen. Für die direkte Vergleichbarkeit werden äquivalente

Rohdichten für die Platten aus Küstentannenspänen und Fichten-/Kiefernspänen produziert, dies in der Abfolge 550 kg/m³, 600 kg/m³ und 700 kg/m³ (Tabelle 4-10).

Die Steuerung des Nassspandosiersilos wird über die Trocknereinheit geregelt. Jeweils zu Beginn der beiden ersten Versuche werden die Trockner mit 100 % Küstetannenschneidspänen gefahren und in Abstimmung mit dem Leitstand, je nach Produktionsplan, auf weitere Sortimente erweitert. Im dritten und letzten Versuch wird die Trocknerdosierung während der gesamten Durchführung konstant gehalten. Für alle Varianten, bei denen eine Abmischung verschiedener Spansortimente vorgesehen ist, müssen die auf das Lutro-Gewicht bezogenen Dosierwerte mit der jeweiligen Ausgangsfeuchte der Spansortimente korrigiert werden. So können die exakten, prozentualen Anteile der Sortimente an der gesamten Platte ermittelt werden, die in den Produktionsplänen aufgeführt sind.

3.9 Ermittlung des holzspezifischen Energieverbrauchs bei der Zerspanung

Die Zerspanung des Versuchsholzes für die Produktionsversuche sowie für die Messungen zum holzspezifischen Energieverbrauch bei der Zerspanung erfolgt über zwei Messerwellenzerspaner (KLÖCKNER, Hirtscheid).

Bild 3-8: Messerwellenzerspaner (Firma KLÖCKNER); Messerwelle mit Kamm- Messern.

Die Beschickung der Spananlage erfolgt über ein Laufband. Die Holzstämme bzw. die Holzabschnitte werden stoßweise in einen Zerspanerraum geführt und dort fixiert. Die

Messerwellen fahren dann senkrecht zur Faserrichtung des Holzes. Dabei entstehen Späne in Faserlängsrichtung, die sowohl für die Mittelschicht als auch für die Deckschicht der Spanplatten verwendet werden. Laut Angaben der Werksleitung erreicht ein Zerspaner unter optimalen Bedingungen einen Spandurchsatz von 15 t atro/h.

Zur Ermittlung des holzspezifischen Energieverbrauchs dient ein Stromschreiber, der an die beiden Hauptantriebsmotoren eines Langholzzerspaners angeschlossen wird. Der Stromschreiber misst die Stromaufnahme der beiden Antriebs-Aggregate in Ampere. In einem weiteren Schritt wird aus der Stromaufnahme die Energie in kWh errechnet, die für eine Tonne atro Holz beziehungsweise für einen Kubikmeter Festholz verbraucht wird. Dazu ist es notwendig eine abgewogene und vermessene Teilmenge des Versuchsmaterials bereitzustellen, die unter kontrollierten Bedingungen zerspant wird (vgl. Kap.3.8.2).

Zur Relativierung der Zerspanungsarbeit auf eine Tonne atro Holz ist es notwendig den Feuchtegehalt des Versuchsholzes zu bestimmen. Dies geschieht über die Ermittlung des Nettogewichts der Holzlieferung unter Verwendung der werksüblichen Atro-Gewichtsabrechnung bei Anlieferung (siehe auch Kap. 3.8.2). Dafür werden 5 * 100 g Spanproben über repräsentative Schnitte von beiden Seiten der Ladung entnommen und die Darrfeuchte bestimmt.

Das Holz wird entsprechend sortenrein und gesondert gelagert sowie gekennzeichnet (Bild 3-9). Das Volumen des bereitgestellten Holzes wird ebenfalls bei Anlieferung ermittelt. Da die Bestimmung des Festholzvolumens mit Ungenauigkeiten verbunden ist, werden hier zwei Verfahren eingesetzt, die zusammen eine Ergebnissicherheit gewährleisten sollen. Zunächst wird bei Anlieferung des Holzes neben der Atro-Gewichtsbestimmung das Volumen des gestapelten Industrieholzes in Raummeter gemessen. Das Volumen wird mit dem Faktor 0,7 korrigiert und man erhält das ungefähre Festmeter-Volumen. Weiterhin werden aus verschiedenen Holzabschnitten Proben zur Bestimmung der Darrdichte entnommen. Die ermittelte Darrdichte wird auf das Atro-Gewicht der Ladung bezogen.

Bild 3-9: Positionierung des abgewogenen und vermessenen Versuchsholzes

Die bei der Zerspanung hergestellte Spanmenge je Zeiteinheit ist im Wesentlichen abhängig von der Beschickgeschwindigkeit, dem Füllgrad, der Messerwellendrehzahl, der Anzahl der Messer und der Schnittbreite (DEPPE und ERNST, 2000). Für repräsentative, vergleichbare Ergebnisse ist es daher wichtig, diese Parameter für alle Zerspanungsversuche konstant zu halten. Jede Zerspanung erfolgt mit geschliffenen Kamm-Messern (unveränderter Anschliff) und konstantem Messerüberstand von 1,3 mm. Die Vorschubgeschwindigkeit des Zerspaners sowie die Messerwellendrehzahl bleiben konstant. Ein weiteres, entscheidendes Kriterium ist eine gleichmäßige, lückenlose Beschickung des Zuführbandes und damit des Zerspanerraumes (Bild 3-10).

Bild 3-10: Lückenlose Beschickung des Messerwellenzerspaners

Der Stromverbrauch, gemessen in kWh, wird sowohl auf die zerspante Holzmasse (atro) als auch und auf das zerspante Holzvolumen in Festmeter bezogen und mit einer repräsentativen Zerspanung der Nadelbaumarten Fichte und Kiefer verglichen. Während der Zerspanung wird Spangut für Siebanalysen, Schüttgewichtbestimmungen und Feuchtemessungen entnommen. Diese durchgängigen Spananalysen sollen zusätzlich die Abnutzung der Messer dokumentieren.

3.10 Industrielle Produktionsversuche zur Herstellung von UF-Harz gebundenen, Mitteldichten Faserplatten aus Küstentanne

Zwei Produktionsversuche werden im MDF-Werk, Nidda (PFLEIDERER INDUSTRIE) durchgeführt. Wie einleitend dargestellt hat zunächst die Zerfaserung und die Faserqualität eine vorrangige Bedeutung. Besonders im ersten Produktionsversuch wird diesen Faktoren nachgegangen. Die schrittweise Erhöhung des Küstentannenfaseranteils ist Kern des zweiten Versuches.

3.10.1 Industrielle Herstellung von MDF aus Küstentanneholz

Die Zerhackung des Waldholzes erfolgt über einen Trommelhacker der Firma PALLMANN, Zweibrücken (Bild 3-11).

Bild 3-11: Beschickung des Trommelhackers

Die hergestellten Hackschnitzel werden zunächst in einem Sieb (BEZNER MASCHINEN GMBH, Ravensburg) von Feingut und Grobgut getrennt. Anschließend werden die geeigneten Hackschnitzel im Nassverfahren gereinigt. Die gereinigten Hackschnitzel gelangen in einen Chipbunker in dem sie auf 90 °C vorgewärmt werden. Die Mittellamelle des Holzes wird dadurch angeweicht und die Kompressionsfähigkeit der Hackschnitzel und damit die Zerfaserung begünstigt.

Bild 3-12: Küstentannen-Hackschnitzel

Über eine Stopfschnecke gelangen die Hackschnitzel in den Einscheibenrefiner (ANDRITZ AG, Graz), wo sie bei einem Druck von 10 bar und einer Temperatur von 210 °C plastifiziert und zerfasert werden. Der Abstand der Mahlscheiben des Refiners beträgt bei normaler Produktion etwa 0,1 mm.

Mittels des Blowline-Verfahrens werden die Fasern mit 10 % UF-Harz (Festharz auf atro Faser), 0,75 % Paraffin (Feststoffgehalt auf atro Faser) und einer Härter-Formaldehydfängerlösung beleimt. In einer mehrstufigen Trocknung werden die Fasern nun auf eine Feuchte von 12 % getrocknet, zu einem Faservlies gestreut und anschließend bei einer Presstemperatur von 240 °C zu 19 mm starken Platten verpresst.

Die Zusammensetzung der Leimflotte sowie alle Einstellungen der Pressparameter entsprechen der standardisierten Plattenproduktion für 19 mm Platten in diesem Werk. Aus jeder Variante werden mindestens 5 Platten gekennzeichnet, die nach der Abkühlung aussortiert und anschließend gesondert gelagert wurden.

Bild 3-13: Abladen des Küstentannenholzes (Abschnitte à 3 m)

Für den ersten Versuch standen ungefähr 40 t atro Küstentannen-Industrieholz zur Verfügung. Das Holz wurde in Abschnitten mit einer Länge von jeweils 3 m geliefert (Bild 3-13).

Der durchschnittliche Mittendurchmesser der Abschnitte liegt bei ca. 20 cm. Die mittlere Feuchte des Holzes bezogen auf die Trockenmasse (Darrfeuchte) liegt bei 130 %. Bei der visuellen Begutachtung des Holzes auf dem Holzplatz erwiesen sich die Abschnitte als äußerst geradschaftig und feinastig.

Wie in Tabelle 3-10 aufgeführt, werden die Referenzplatten zu 25 % aus Buchenfasern, zu 50 % aus Fichtenfasern und zu 25 % aus Recyclingholzfasern hergestellt. Die eigentlichen Versuchsplatten werden zu 20 % aus Küstetannenfasern, zu 25 % aus Buchenfasern, zu 40 % aus Fichtenfasern und zu 15 % aus Recyclingholzfasern hergestellt.

Tabelle 3-10: Produktionsplan des ersten Produktionsversuchs für Mitteldichte Faserplatten aus Küstentannenholz

		Rohdichte	Anteile in %			
Variante	**Bezeichnung**	**kg/m³**	**Küsten-tanne**	**Buche**	**Fichte**	**Recycling**
Referenz	***REF***	**710**	**0**	**25**	**50**	**25**
Küstentanne	***KüTa***	**710**	**20**	**25**	**40**	**15**

Produkt:	19 mm Standardplatte		
Plattenformat:	Länge: 2800 mm	Breite: 2070 mm	Dicke: 19 mm
Leimzusammensetzung:	UF-Harz; Standardmischung		
UF-Harz:	10 % Festharz auf atro-Faser	BASF, UF Kaurit® 340 flüssig	
Paraffin:	0,75 % auf atro-Faser		
Presszeit:	11,25 s/mm		
Presstemperatur:	240 °C		
Faserfeuchte (beleimt)	10,2 %		

Die Herausstellung klarer Entwicklungstendenzen der mechanisch-technologischen Eigenschaften der Versuchsplatten bei sukzessiver Erhöhung des Küstentannenfaseranteils und gleichzeitiger, äquivalenter Senkung des Fichtenfaseranteils ist Kern des zweiten Produktionsversuches. Die Rohstoffzusammensetzungen der einzelnen Varianten sind in der Tabelle 3-11 abgebildet. Alle hergestellten Platten haben eine Ist-Rohdichte von 710 kg/m³ mit absoluten Abweichungen von ± 5 kg/m³.

Für diesen zweiten Versuch stehen 90 t lutro Küstentannen-Industrieholz bei einer Darrfeuchte von 90 % zur Verfügung. Das Holz wird vom Forstamt Nienburg, Niedersachsen in 3 m Abschnitten geliefert.

Tabelle 3-11: Produktionsplan des zweiten Produktionsversuchs für Mitteldichte Faserplatten aus Küstentannenholz

		Rohdichte	Anteile in %			
Variante	**Bezeichnung**	**kg/m³**	**Küsten-tanne**	**Buche**	**Fichte**	**Recycling**
Referenz	***REF***	710	0	25	50	25
Küstentanne	***KüTa_40***	710	40	20	40	0
Küstentanne	***KüTa_60***	710	60	20	20	0
Küstentanne	***KüTa_80***	710	80	20	0	0

Produkt: 19 mm Standardplatte
Plattenformat: Länge: 2800 mm Breite: 2070 mm Dicke: 19 mm
Leimzusammensetzung: UF-Harz; Standardmischung
UF-Harz: 10 % Festharz auf atro-Faser BASF, UF Kaurit® 350 flüssig
Paraffin: 0,75 % auf atro Faser
Pressfaktor: 11,17 s/mm
Presstemperatur: 240 °C
Faserfeuchte (beleimt) 9 %

3.11 Beschichtungsfähigkeit industriell hergestellter Span- und Mitteldichter Faserplatten aus Küstentanne

3.11.1 Direktbeschichtung

Im Werk III der PFLEIDERER HOLZWERKSTOFFE GMBH & CO. KG in Gütersloh werden Direktbeschichtungsversuche mit der Baumart Küstentanne (*Abies grandis*) durchgeführt. Ziel dieser Versuche ist es, die Eignung dieser leichten Platten zur Direktbeschichtung mit dekorativen Papieren zu bewerten.

Für die Versuche zur Direktbeschichtung werden zwei 19 mm Plattenvarianten aus dem zweiten Produktionsversuch verwendet (vgl. Kap. 3.8.2). Die Platten bestehen zu 100 % aus Küstentanne und haben eine Rohdichte von 560 kg/m³ und 600 kg/m³. Als Referenzplatte wird eine industriell hergestellte Standardplatte mit einer Rohdichte von 580 kg/m³ eingesetzt. Das Plattenformat aller Versuchsreihen liegt bei 5310 mm x 2120 mm x 18,8 mm.

Zur besseren Vergleichbarkeit werden bei allen Versuchsreihen die beiden Dekorvarianten W300 (Weißdekor) sowie U1188 (dunkles Uni Dekor) verwendet. Zudem werden bei allen Varianten Pressbleche in Seidenmatt als Strukturgeber eingesetzt. Die Verpressung der Melamin-Papiere erfolgt bei einer Temperatur von 220 °C mit einer Presszeit von 14 Sekunden.

Bild 3-14: Auflegen der Trägerplatte auf das Dekorpapier (Foto: PFLEIDERER)

Bild 3-15: Auflegen der Dekorpapiere (Foto: PFLEIDERER)

Über Rollgänge gelangen die Spanplatten parallel zu den Dekorpapieren der Ober- und Unterseiten an die Legestation. Die Dekorverlegung erfolgt über Saugverschiebearme. Dabei wird zunächst das gewendete Dekor auf das Unterblech der Kurztaktpresse platziert. Anschließend wird die Spanplatte mittels Saughebebühnen positioniert, dann das obere Dekorpapier (Bild 3-14 und Bild 3-15). Über einen Verschiebewagen werden die unfertigen Dekorplatten zur Kurztaktpresse transportiert (Bild 3-16). Während des Pressvorganges wird über 12 Kolben ein spezifischer Pressdruck von etwa 5,7 kN/mm² aufgebracht. Die verwendeten Pressbleche werden über Thermoöl auf eine Temperatur von 170 °C aufgeheizt. Nach dem Pressvorgang werden die Dekorspanplatten besäumt.

Bild 3-16: Kurztaktpresse (Foto: PFLEIDERER)

Der Kantenbesäumer trennt die überstehenden Dekorfilmkanten von der fertig verpressten Dekorspanplatte. Mögliche Absplitterungen werden über Luftdüsen entfernt. Anschließend erfolgt eine visuelle Überprüfung der Plattenqualität, wobei die Dekorplatten mittels Saughebebühne in einem Winkel von 55° zum Mitarbeiter ausgerichtet und mit Tageslichtscheinwerfern bestrahlt werden. Fehlerhafte Stellen auf den Dekorpapieren können so erkannt und entsprechende Platten aussortiert werden.

Bild 3-17: Visuelle Qualitätskontrolle (Foto: PFLEIDERER)

Nach der Abkühlphase über zwei Sternwender können die Platten an den Formatsägen zugeschnitten werden. In weiteren Schritten werden die Platten abgestapelt und verpackt. Zur weiteren Untersuchung der Platten werden von allen Versuchsreihen Proben entnommen (Bild 3-18).

Bild 3-18: Probennahme (Foto: PFLEIDERER)

3.12 Bestimmung der Zerspanbarkeit bei der Fräs- und Schleifbearbeitung

In Hinblick auf die spätere Verarbeitbarkeit, wie zum Beispiel in der Möbelindustrie, ist die Kenntnis der Zerspaneigenschaften der aus Küstentanne hergestellten Plattenwerkstoffe von großem Interesse. Daher werden am IWF (INSTITUT FÜR WERKZEUGMASCHINEN UND FERTIGUNGSTECHNIK, TU Braunschweig) vergleichende Zerspanungsuntersuchungen mit handelsüblichen, industriell hergestellten Plattenwerkstoffen durchgeführt. Es wird sowohl eine Bewertung des Werkzeugverschleißes als auch des erzielten Zerspanungsergebnisses (Kantenschartigkeit) vorgenommen.

Die Zerspanversuche werden auf einer einseitigen Formatbearbeitungsmaschine vom Typ Homag FL 54 D/1 am INSTITUT FÜR WERKZEUGMASCHINEN UND FERTIGUNGSTECHNIK (Braunschweig) durchgeführt. Um den Versuchsumfang überschaubar zu gestalten, wird als Versuchswerkzeug ein Bündigfräser mit Werkzeugschneiden aus Werkzeugstahl mit einem Legierungsanteil >5 % genutzt. Der Verschleiß der Schneiden wird nach jeweils 100 m Vorschubweg mittels Tastschnittverfahren ermittelt. Aus Vorversuchen an handelsüblichen Holzwerkstoffen war bekannt, dass nach etwa 400 m Vorschubweg die Schneiden ihr Standzeitende erreicht haben, daher wird die Versuchsreihe jeder Variante nach 400 m Vorschubweg beendet. Es werden beide Schneiden des mit zwei Schneiden bestückten Fräsers vermessen. In den Ergebnissen ist jeweils der Mittelwert beider Tastschnitte abgebildet. Zusätzlich wird bei den beschichteten Spanplatten die Kantenqualität online durch ein Kantenschartigkeitsmessgerät (Equam-System) erfasst und dokumentiert. Da die Ergebnisse nur bei den beschichteten Spanplatten aussagekräftig sind, werden nur diese ausgewertet. Zusätzlich werden in einer weiteren Versuchsreihe die bei der Zerspanung der Spanplatten entstandenen Späne aufgefangen um die Partikelgröße zu klassifizieren. Dieses wird mittels Siebanalyse durchgeführt (6 Fraktionen).

Neben den Zerspanungsversuchen mit geometrisch bestimmter Schneide werden Zerspanungsversuche mit geometrisch unbestimmter Schneide (Schleifversuche) durchgeführt. Dazu werden die jeweiligen Proben im Schleifversuchsstand des Institutes eingespannt und die Oberfläche spanend (Körnung P60 und P180 für Grob- und Feinschliff) bei konstantem Andruck von 0,1 N/mm² bearbeitet. Als Bearbeitungszeit werden für die 60ger Körnung 220 Sekunden und für die 180ger Körnung 360 Sekunden angesetzt. Nach jeweils 20 Sekunden Bearbeitung werden die Proben ausgespannt, gewogen und vermessen, so dass das jeweilige Zeitspanvolumen bestimmt werden kann.

Untersucht werden acht Varianten unbeschichteter Spanplatten, zwei Varianten beschichteter Spanplatten, eine Probe aus MDF. Zu jeder Spezifikation wird eine industrieübliche Referenzplatte bearbeitet(vgl. Tabelle 3-12).

Tabelle 3-12: Untersuchte Plattenvarianten für Fräs- und Schleifversuche

Variante	Typ	Rohdichte	Dicke	KüTa [%]	BU [%]	Ind.-Mix [%]
1	**Spanplatte**	520	38	100	0	0
2	**Spanplatte**	400	38	100	0	0
3	**Spanplatte**	450	38	100	0	0
4	**Spanplatte**	450	19	100	0	0
5	**Spanplatte**	550	19	33,3	33,3	33,3
6	**Spanplatte**	550	19	100	0	0
7	**Spanplatte**	650	19	50	50	0
8	**Spanplatte**	550	19	25	25	50
9	**Spanplatte (beschichtet)**	550	19	100	0	0
10	**Spanplatte (beschichtet)**	550	19	33,3	33,3	33,3
11	**MDF**	700	19	20	Bu 25 / Fi 40	15
12	**Referenz FPO**	645	19	-	-	-
13	**Referenz FPO (beschichtet)**	677	19	-	-	-
14	**Referenz-MDF**	780	19	-	-	-

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Chemische Eigenschaften der verwendeten Span- und Fasermaterialien

Die chemischen Analysen der Span- und Fasermaterialien, nach den in Kapitel 3.1 beschriebenen Methoden, wurden im Rahmen von Masterarbeiten durchgeführt (RITTER, 2007 und MARTUNIS 2008).

Die Holzinhaltsstoffe und deren Eigenschaften beeinflussen viele Eigenschaften des Holzes. Vor allem die Acidität des Holzes, die maßgeblich von den Extraktstoffen bestimmt wird, hat unter anderem Einfluss auf Metallkorrosionen, Holzverfärbungen, auf den Holzschutz und auf die Abbindung von Leimen und Lacken (SANDERMANN UND ROTHKAMM, 1959). So kann zum Beispiel ein stark saures Verhalten der Extraktstoffe einen chemischen Einfluss auf das Bindemittel haben. Je nach Bindemittel kann es zu Verzögerungen oder Beschleunigungen der Aushärtereaktion kommen (DUNKY UND NIEMZ, 2002). Ausführliche Darstellungen über den Einfluss von pH-Wert auf die Verleimbarkeit finden sich bei ROFFAEL und RAUCH (1974).

Drei Methoden wurden zur Ermittlung des Extraktstoffgehaltes verwendet, die Kalt- und Heißwasserextraktion sowie die Extraktion nach der Ethanol-Cyclohexan-Methode. An den Kalt- und Heißwasserextrakten wurden der pH-Wert und die alkalische Pufferkapazität bestimmt, die als Aciditätsmerkmale der Holzpartikeln verleimungsrelevante Eigenschaften darstellen. Weiterhin wurden die Lignin- und die Pentosangehalte bestimmt. Letztere geben Aufschluss über den Hemicellulose- und den Cellulosegehalt der Ausgangsmaterialien. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 4-1 zusammengefasst.

Tabelle 4-1:Ergebnisse der chemischen Analysen der verwendeten Span- und Fasermaterialien

	Lignin-Gehalt	Pentosan-Gehalt	Extraktstoffgehalte			Asche-Gehalt	Kaltwasserauszug		Heißwasserauszug	
			Kalt-wasser	Heiß-wasser	Cyclo-hexan		pH	Pufferkapazität	pH	Pufferkapazität
	%	%	%	%	%	%		mmol NaOH / 100 g		mmol NaOH / 100 g
KüTa (Fasern)	28,8	8,1	3	4,6	2,5	0,2	5,6	2,2	4,3	6,1
KüTa (Späne)	27,9	8,3	2,7	4,1	5,7	0,4	5,6	2,1	4,3	6,2
Buche Fasern)	23,6	18	2,7	2,4	4,2	0,1	6,3	1,2	5	3,2
Buche (Späne)	21,6	13,4	2,5	2,4	1,6	0,5	6,1	1,2	5	3,2
Kiefer (Faser)	28,9	9,2	9,4	11,1	6,5	0,2	4	6,6	4	13,1
REF Späne	28,5	9	7,4		4,2	1	5,6	1,2		

Der ermittelte Ligningehalt für die Küstentanne liegt mit 27,9 % im Bereich der angegebenen Werte von WAGENFÜHR UND SCHEIBER (1974), die für die Weißtanne (*Abies alba*) einen Ligningehalt von 28,9 % angeben. Vergleichbar sind die hier ermittelten Ligningehalte auch mit den von CLERMONT UND SCHWARTZ (1951) für die Balsam-Tanne (*Abies balsamea*) analysierten Werten. Sie ermittelten einen durchschnittlichen Ligningehalt von 27,7 % für Balsam-Tanne. Vergleichbare Werte finden sich ebenfalls bei MOMBÄCHER (1988), LOHMANN (1982) und GRAMMEL (1989). Die Ligningehalte der Buchenspäne und -fasern mit 21,6 % beziehungsweise 23,6 % liegen ebenfalls in dem für Buche deklarierten Bereich von 18 % – bis 25 % (MOMBÄCHER, 1988). Mit 22,2 % geben FENGEL UND WEGENER (1984) und mit 24,2 % ROFFAEL und PARAMESWARAN (1986) konkretere Werte an, die mit den hier gemessenen Werten weitestgehend übereinstimmen. Mögliche Schwankungen, die durch verschiedene Standortbedingungen und unterschiedlichen Alters der untersuchten Hölzer sind zu berücksichtigen. Vergleicht man die Ligningehalte von 22 Jahre alten Küstentannen mit denen von 60 jährigen Küstentannen, so können keine eindeutigen Unterschiede festgestellt werden (RITTER, 2007 und MARTUNIS 2008).

LOHMANN (1982) führt für die Weißtanne einen Pentosangehalt von 9,2 % an. CLERMONT UND SCHWARTZ (1951) ermittelten einen Gehalt von 7 % für die Balsam-Tanne und WAGENFÜHR UND SCHEIBER (1974) einen Wert von 11 % für die Weißtanne. Die im Rahmen dieser Untersuchungen durchgeführten Pentosanbestimmungen ergaben Werte von 8,1 % und 8,3 % aus Spänen und Fasern der Küstentanne. ROFFAEL (2004) beschreibt für Nadelhölzer einen Hemicellulosegehalt von bis zu 20 %. Nach KNIGGE (1966), KÜRSCHNER (1966) und FENGEL UND WEGENER (1979) liegt der Anteil des Pentosans an der gesamten Hemicellulose im Bereich von 40 % bis 50 %. Somit erweisen sich die ermittelten Ergebnisse für Küstetanne als durchschnittliche Werte für Nadelhölzer. Die untersuchten Buchenfasern- und Buchenspäne zeigen Pentosangehalte von 18 % und 13,4 %; letzterer Wert mit größerer Unsicherheit aufgrund einer hohen Standardabweichung. Die Ergebnisse liegen damit deutlich unter den Angaben von KÜRSCHNER (1966) mit 22 %. SJÖSTRÖM (1993) verweist auf Hemicellulosegehalte von umgerechnet 36 % bei der Buche, welche sich auch mit den hier ermittelten Pentosanwerten decken. ROFFAEL und PARAMESWARAN (1986) ermittelte einen Pentosangehalt von 18 %, der mit den hier erfassten Ergebnissen nahezu identisch ist.

Mögliche Veränderungen in der Holzzusammensetzung aufgrund unterschiedlicher Aufschlussbedingungen konnten hier nicht festgestellt werden. Explizit konnten dabei keine geringeren Ligningehalte bei den untersuchten Faserstoffen bestimmt werden, die aufgrund

der hohen Aufschlusstemperaturen während der Zerfaserung und der damit verbundenen Plastifizierung des Mittellamellenlignins geringer ausfallen könnten (KHARAZIPOUR, 1996).

Der Gehalt an Kaltwasserextrakten liegt bei 3 % für Fasern und 2,7 % für Späne aus Küstentannenholz. Die Extraktstoffgehalte der Heißwasserauszüge sind mit 4,6 % für Fasern und 4,1 % für Späne höher als die der Kaltwasserauszüge. LUDWIG (2007) ermittelte für Fichtenholzspäne vergleichbare Werte, die in gleicher Weise wie die im Rahmen dieser Dissertation verwendeten Küstentannenspäne hergestellt wurden. Die Bestimmungen der Holzinhaltsstoffe nach der Kalt- und Heißwasserextraktion aus Buchenspänen zeigen gleichmäßige Werte mit 2,5 % und 2,4 % beziehungsweise 2,7 % und 2,4 % aus Fasermaterial. Die Referenzfasern aus Kiefernholz weisen mit 9,2 % und 11,1 % für Kalt- und Heißwasserextraktion den höchsten Extraktstoffgehalt auf. Aus der Literatur ist bereits bekannt, dass Kiefernholz sehr extraktstoffreich ist. Der hohe Extraktstoffgehalt kann mit einer stattfindenden Verkernung und der Ausbildung von Harzkanälen begründet werden. Die Küstentanne besitzt keine Harzkanäle. Bei der Bestimmung des Extraktstoffgehaltes sollte die Aufschlusstemperatur bei der Zerfaserung berücksichtigt werden, da diese einen Einfluss auf den Extraktstoffgehalt haben kann, wie bei Fichten-TMP bereits festgestellt wurde (SCHNEIDER et al. 2004). Sowohl der Extraktstoffgehalt als auch die Aufschlusstemperatur haben für sich allein gesehen und in Verbindung zueinander einen großen Einfluss auf die Benetzbarkeit der Fasern (SCHNEIDER et al., 2007).

Auch die Ergebnisse der Untersuchungen zum pH-Wert und zur alkalischen Pufferkapazität, die wichtige Merkmale für die Acidität des Holzes darstellen, decken sich weitestgehend mit den Angaben aus der Literatur. Dabei liegen die pH-Werte der kaltwässrigen Auszüge aus Küstentannenspänen und –fasern mit 5,6 im mittleren schwachsauren Bereich und mit 4,3 der heißwässrigen Auszüge im unteren schwachsauren Bereich. Die alkalische Pufferkapazität der Kaltwasserauszüge bewegt sich mit 2,2 und 2,1 mmol NaOH/100 g atro Span/Faser im einem ähnlichen Bereich, wie er auch für Fichtenspäne nach JUNG und ROFFAEL (2002) angegeben wird (Abbildung 4.1-1). Die Steico-Fasern aus Kiefernholz weisen beim der Kaltwasserextraktion mit 6,6 mmol NaOH / 100 g atro Faser bei einem pH-Wert von 4 die höchste Pufferkapazität auf. Die Untersuchungen von JUNG und ROFFAEL (2002) ergaben hier höhere Pufferkapazitäten.

Nach SCHNEIDER (2000) ergeben sich bei steigenden Aufschluss- und Trocknungstemperaturen auch höhere alkalische Pufferkapazitäten bei Fichtenfasern nach dem TMP-Verfahren (Thermo-Mechanichal-Pulp). ROFFAEL (1987) konnte diesen

Zusammenhang auch bei Kiefernfasern feststellen. Dies sollte bei der Beurteilung der Ergebnisse für Kiefernfasern (Steicofasern) berücksichtigt werden, da hier mit hohen Temperaturen von 160 °C bis 180 °C aufgeschlossen und getrocknet wurde. Die Buchenspäne und -fasern haben im Vergleich zu den aufgeführten Nadelhölzern relativ hohe pH-Werte und niedrige alkalische Pufferkapazitäten. Eine Eigenschaft, die in der Literatur wiederholt dargestellt wurde (KEHR, 1962; ROFFAEL und PARAMESWARAN, 1986).

ROFFAEL und PARAMESWARAN (1986) bezeichnen die Korrelation von einem hohen pH-Wert mit einer niedrigen alkalischen Pufferkapazität der Buche (*Fagus sylvatica*) als latente Acidität, die aufgrund des starken Einflusses der Acetylgruppen im Buchenholz entsteht. Bei niedriger Dosierung des Härtungsbeschleunigers kann es infolge des vergleichsweise hohen pH-Werts zu geringeren Festigkeitseigenschaften der Platten kommen (KEHR, 1962). Den Untersuchungen nach KEHR (1962) lag ein pH-Wert von 5,8 aus der kaltwässrigen Extraktion zugrunde. Bei der Betrachtung aller Werte können generell steigende alkalische Pufferkapazitäten bei sinkenden pH-Werten festgestellt werden. ROFFAEL und RAUCH (1974) konnten verschiedene pH-Werte bei Eichen unterschiedlichen Alters feststellen. Ein Zusammenhang, der hier berücksichtigt werden sollte.

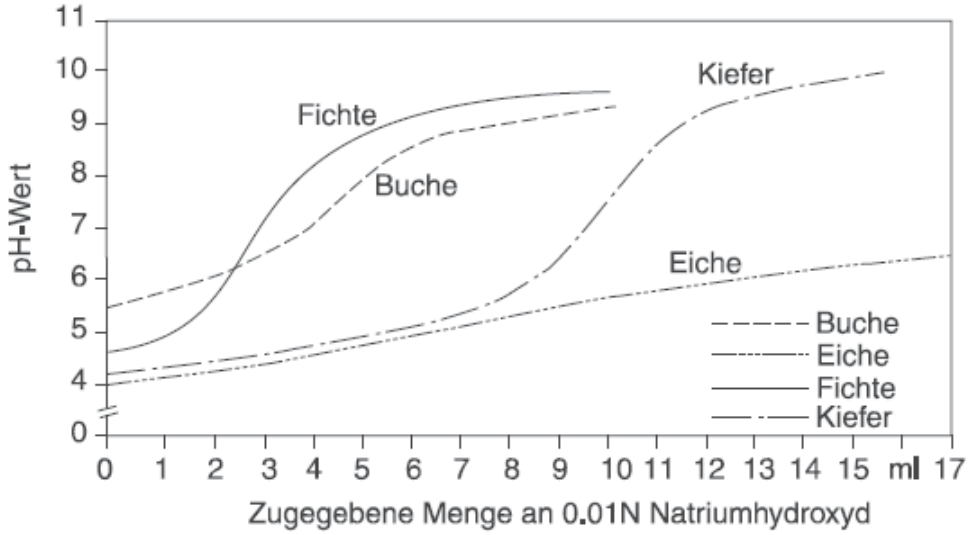

Abbildung 4.1-1: Titrationskurven zur Bestimmung der Pufferkapazität aus Kaltwasserextrakten von Buchen-, Eichen-, Fichten- und Kiefernholzspänen (JUNG UND ROFFAEL, 2002)

Die Küstentanne bildet einen fakultativen Nasskern aus. Untersuchungen haben ergeben, dass hierbei keine Veränderung der Zellwandlignifizierung vorliegt (HAPLA et al., 2009). Unterschiede zwischen dem Kern- und dem Splintbereich, wie sie zum Beispiel bei der Douglasie auftreten (LELIS et al., 1994), sind daher nicht zu erwarten.

Die Menge und die Qualität der Holzinhaltsstoffe spielen nicht nur eine Rolle für die Beleimung und die Verpressung der Späne und Fasern. Sie können auch Einfluss auf die Beschichtungsfähigkeit der Platten haben (PLATH, 1971). So sind unter anderem Polymerisationsstörungen bei stark harzhaltiger Kiefer und Fichte in Verbindung mit PE-Beschichtungen bekannt. Aufgrund des niedrigen Extraktstoffgehaltes und des Fehlens von Harzkanälen können bei der Küstentanne solche Störungen nicht erwartet werden

4.2 Eigenschaften von dreischichtigen Spanplatten aus Küstentanne und Buche im Pilotmaßstab

4.2.1 Charakterisierung des verwendeten Spanmaterials

4.2.1.1 Siebanalysen

Von allen verwendeten Spanmaterialien werden nach der in Kap. 3.2.1.1 beschriebenen Methode Siebanalysen angefertigt, die im folgenden Abschnitt aufgeführt und erläutert werden. Ein Teil des verwendeten Küstentannenholzes wurde einem Messerringzerspaner zugeführt (KüTa (MR)). Die Zerspanung wurde im WILHELM-KLAUDITZ-INSTITUT FÜR HOLZFORSCHUNG, Braunschweig durchgeführt. Das Spanmaterial wurde in 5 Fraktionen vorfraktioniert. Die Maschenweiten betrugen in der Abstufung 0,6 mm, 1,25 mm, 3,15 mm und 5 mm. Eine ausgesuchte Abmischung dieser Fraktionen wird für die Deck- und Mittelschichtspäne der betreffenden Versuchsreihen verwendet.

Die Siebanalysen dieser Spanzusammensetzungen sind in der Abbildung 4.2-1 dargestellt. Wie in der Grafik zu sehen, liegen über 90 % der Mittelschichtspäne im Bereich von 1 mm bis >3,15 mm Siebmaschenweite. Der Hauptanteil der Deckschichtspäne verteilt sich gleichmäßig über die Fraktionen >0,6 mm bis >2 mm Maschenweite. Die durchschnittliche Spandicke, die über einen Dickentaster ermittelt wird, liegt mit 0,49 mm leicht über der Solldicke, die durch den Messervorstand von 0,45 mm vorgegeben ist.

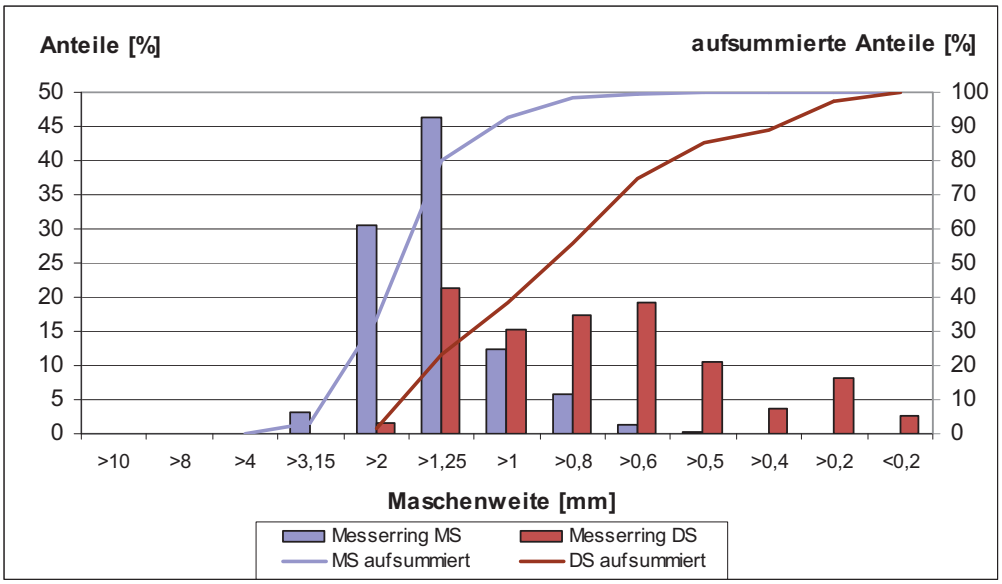

Abbildung 4.2-1: Siebanalyse und Spanzusammensetzung für dreischichtige Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung.

Eine mögliche Erklärung für die Entstehung größerer Spandicken liefert HELLER (1995). Hiernach können diese aus einer stärkeren mittigen Abnutzung der Schneidmesser resultieren. Die Abnutzung entsteht aus einer unverteilten Zuführung der Hackschnitzel über die Messerbreite eines Messerringzerspaners und führen zu Stauchungen der Späne. Aufgrund des orthotropen Aufbaus des Holzes liegen bevorzugte Bruchebenen vor. So korreliert die Spandicke sehr gut mit der Länge und Breite des Spans (DUNKY UND NIEMZ, 2002). Über alle Spanfraktionen hinweg besteht somit ein relativ konstanter Schlankheitsgrad der Späne, der aus dem Verhältnis der Spanlänge zur Spandicke errechnet wird. Der Schlankheitsgrad der Späne hat einen direkten Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften der Platten.

Abbildung 4.2-2 zeigt die Siebanalyse von Küstentannenspänen, die mit Hilfe einer Messerwellenzerspanung hergestellt wurden. Die Aufbereitung des Holzes fand im Zuge eines Produktionsversuches zur Verwendung von Küstentannenholz im Spanplattenwerk Gütersloh (PFLEIDERER INDUSTRIE) statt (vgl. dazu auch Kap. 3.8). Die Späne aus Messerwellenzerspanung erweisen sich mit einer mittleren Dicke von 0,3 mm als sehr dünn und flächig. Im Vergleich dazu ist die Partikelstruktur bei Messerringspänen eher stäbchenförmig. Der Anteil der Spanfraktion >10 mm bei MS-Messerwellenspänen ist mit ungefähr 20 % sehr hoch vertreten, dies aufgrund der direkten Entnahme der Späne kurz nach der Zerspanung. Die Zerspanung wurde bei einer Darrfeuchte des Holzes von 118 % durchgeführt. Nach KUMAR (1959) ist die Eigenfeuchtigkeit des Holzes am Zeitpunkt der Zerspanung von ausschlaggebender Bedeutung für die Herstellung glatter, dünner und fester Späne, die ihrerseits wieder einen Einfluss auf die Beleimung, Verpressung und die Platteneigenschaften haben. Allgemein sind die Spandimensionen bei Mittelschichtspänen aus Messerwellenzerspanung eher größer ausgefallen verglichen mit den anderen hier aufgeführten Mittelschichtfraktionen.

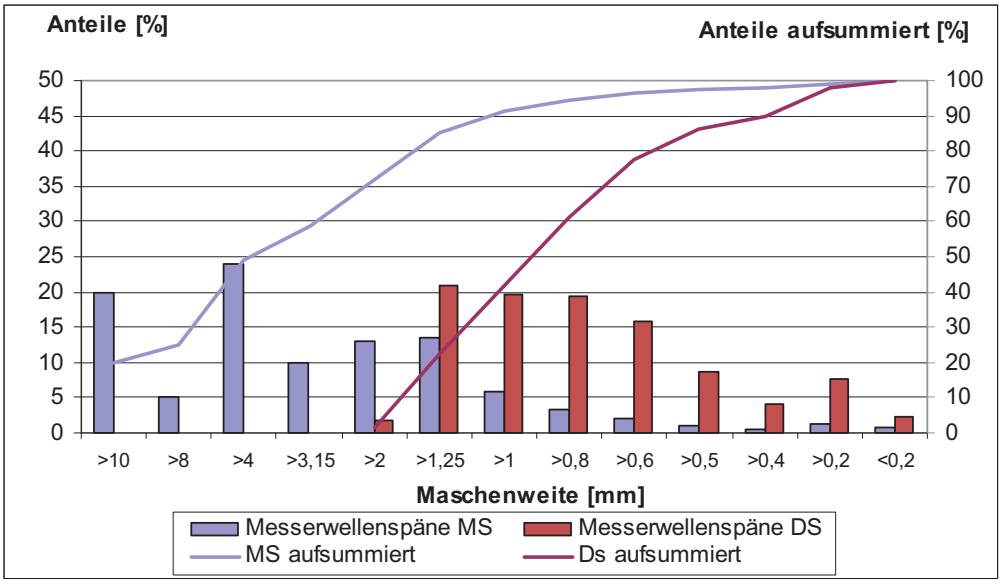

Abbildung 4.2-2: Siebanalyse und Spanzusammensetzung für dreischichtige Spanplatten aus Küstentannenholz nach Messerwellenzerspanung.

Die für die Herstellung der Sandwich-Platten verwendeten Buchenspäne stammen ebenfalls aus Messerringzerspanung. Die Fraktionen <1,25 mm Maschenweite sind hier sehr stark vertreten. Die Deckschicht aus Küstentannenspänen ist identisch mir der oben aufgeführten Siebanalyse der DS-Messerringspäne (Abbildung 4.2-1).

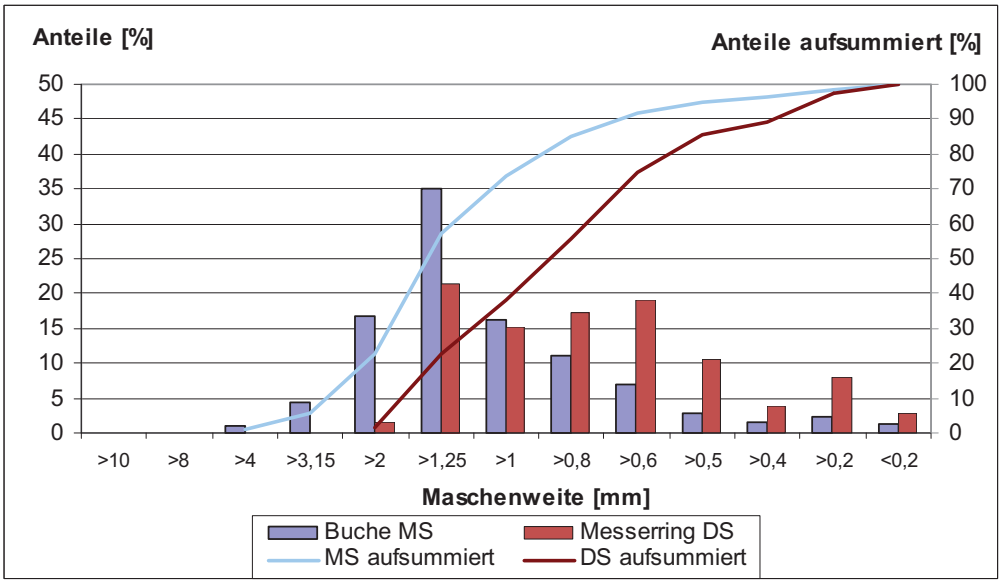

Abbildung 4.2-3: Siebanalyse und Spanzusammensetzung für Sandwich- Platten aus Küstentannenholz in der DS und Buchenholz in der MS, jeweils nach Messerringzerspanung.

In Abbildung 4.2-4 sind die Ergebnisse der Siebanalyse der Referenzspäne getrennt nach Deckschicht und Mittelschicht aufgeführt. Die Siebanalyse entspricht ebenfalls der Spanzusammensetzung der entsprechenden Referenzplatten. Auffällig ist hier der hohe Feingutanteil kleiner 0,4 mm Maschenweite.

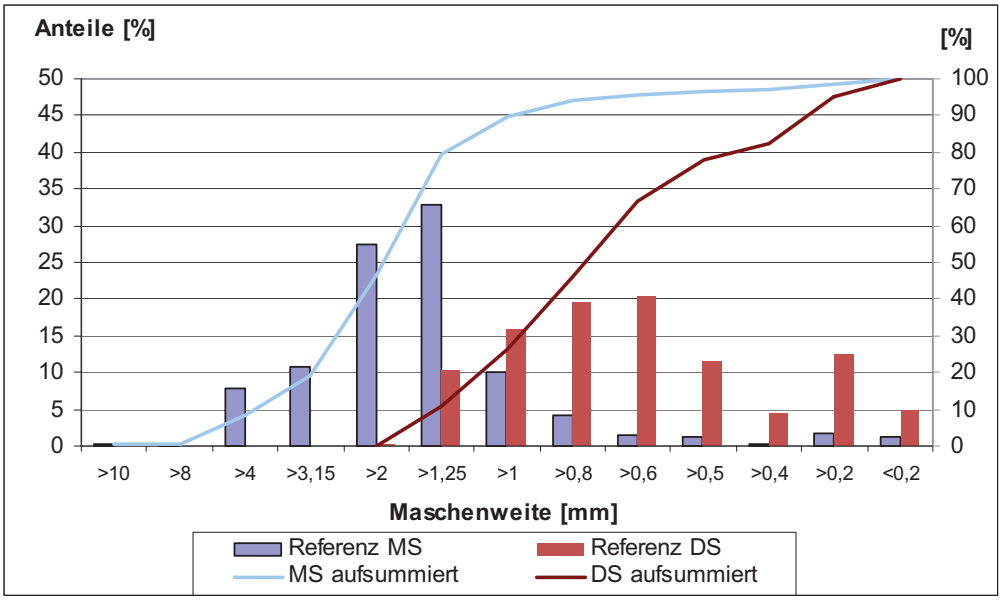

Abbildung 4.2-4: Siebanalyse und Spanzusammensetzung für dreischichtige Spanplatten aus industriell aufbereitetem Referenzspanmaterial.

Bei dem Vergleich aller Deckschichtmaterialien weisen Schneidspäne aus Küstentanne die geringsten Spandicken und den höchsten Schlankheitsgrad. Nach KEHR und JENSEN (1970) wirkt sich dies positiv auf die elasto-mechanischen Eigenschaften der Platten aus. Mit sinkender Deckspandicke steigt die Biegefestigkeit und die Rauhtiefe, zur Beurteilung der Oberflächengüte, sinkt. Aus Untersuchungen von NEUßER et al. (1969a) an verschiedenen Spanplattentypen geht hervor, dass die Oberflächeunruhe nach Klimalagerung entscheidend von der in der Deckschicht auftretenden maximalen Spandicke beeinflusst wird.

4.2.1.2 Schüttgewichte und Verdichtungsverhältnisse

Die Schüttgewichtbestimmungen werden bei den Küstentannen-, Buchen- und Referenzspänen getrennt nach Deckschicht und Mittelschicht nach der in Kap. 3.2.3 beschriebenen Weise durchgeführt. In der Tabelle 4-2 sind die ermittelten Schüttgewichte der verwendeten Spanmaterialien vor der Beleimung dargestellt.

Die Werte zeigen, dass die Küstentannenspäne sowohl in der Deckschicht als auch in der Mittelschicht erheblich geringere Schüttgewichte vergleichend zu den hier ermittelten Buchen- und Referenzspänen aufweisen. Schüttgewichtsmessungen bei Fichtenspänen nach Messerringzerspanung ergeben Werte von 103,2 kg/m³ für Deckschichtspäne und 99,6 kg/m³ für Mittelschichtspäne (BOHN, 2009). Die Zerspanung erfolgte nach analogen Parametern.

Tabelle 4-2: Schüttgewichte der verwendeten unbeleimten Deck- und Mittelschichtspäne im Vergleich zu den von BRINKMANN (1982) ermittelten Schüttgewichten.

Material	Schüttgewichte (kg/m³) bei 2-3 % Spanfeuchte	*Material Brinkmann (1982)*	*Schüttgewichte(kg/m³) nach Brinkmann (1982)*
KüTa DS (Messerring)	**80,45**	*Fichte DS*	*115*
KüTa MS (Messerring)	**75,15**	*Fichte MS*	*95*
KüTa DS (Messerwelle)	**122,55**	*Kiefer DS*	*125*
KüTa MS (Messerwelle)	**50,49**	*Kiefer MS*	*95*
Buche MS	**172,8**	*Buche*	*170*
Referenzspäne DS	**170,7**	*Pappel DS*	*95*
Referenzspäne MS	**137,28**	*Pappel MS*	*75*

BRINKMANN (1982) vergleicht die Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Pappel hinsichtlich ihrer Eigenschaften für die Spanplattenherstellung. Er stellt fest, dass sich bei gleichen Zerspanungsparametern die Reihenfolge der Schüttgewichte aus den Unterschieden der Holzrohdichte ergibt. ENGELS (1983) vergleicht die Schüttgewichte von durchschnittlichen Deck- und Mittelschichtspänen aus dem Jahre 1956 mit denen aus dem Jahre 1977. Er gibt mittlere Schüttgewichte von 100 kg/m³ für Mittelschichtspäne aus dem Jahre 1977 an und für Mittelschichtspäne aus dem Jahre 1956 deklariert er 45 kg/m³. Diese Werte entsprechen im Wesentlichen den hier ermittelten Schüttgewichten für das industriell hergestellte Spangemisch mit 137 kg/m³ und den Mittelschichtspänen aus Messerwellenzerspanung mit 50 kg/m³.

KEHR und JENSEN (1970) unterteilen die Deckschichtspäne in unterschiedliche Partikelarten, unter anderem in rieselfähige Feinspäne aus Schneidspänen und sog. Feinstspäne aus Schneid- und Abfallspänen. Nach KEHR und JENSEN (1970) liegen die Schüttgewichte für Feinspäne im Bereich von 80 kg/m³ bis 120 kg/m³, für Feinstspäne zwischen 120 kg/m³ und 180 kg/m³. Werden die Werte mit den hier ermittelten Schüttgewichten für Deckschichtspäne aus Messerwellenzerspanung und industrieller Deckschichtspäne übertragen, so liegen diese Werte im oberen Bereich in der nach den Autoren angegebenen Schüttgewichte aus dem Jahre 1970. Verdeutlicht wird damit die Entwicklung der Anforderungen an die Spanmaterialien und die einhergehende Veränderung der Zerkleinerungsmaschinen, die immer feinere Spansortimente bereitstellen müssen. Gerade der verstärkte Einsatz von Hammermühlen ist in diesem Zusammenhang zu nennen.

Die Schüttgewichte geben Auskunft über die zu erwartende Verdichtung der Späne untereinander in der Platte. Mit sinkendem Schüttgewicht steigt die Verdichtung der Späne in der Platte und damit das Verdichtungsverhältnis. Bei der Beurteilung der Verdichtungsverhältnisse in der Platte ist der dreischichtige Aufbau der Spanplatte zu berücksichtigen. Anzumerken ist die Begebenheit, dass bei einem typischen Rohdichteprofil die Dichte in den Decklagen zwar höher ist, aber nicht zwingend die Verdichtung der Späne untereinander. Somit muss in diesem Zusammenhang eine klare Differenzierung zwischen den beiden Begriffen „Dichte“ und „Verdichtung“ gemacht werden.

4.2.2 Mechanisch-technologische Eigenschaften

Bei der grafischen Darstellung der mechanisch-technologischen Eigenschaften wird aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Aufführung der Standardabweichung verzichtet. Die Abweichungen der Einzelwerte von den hier aufgeführten Mittelwerten bewegen sich im Bereich der üblich auftretenden Schwankungen, so dass die Wertedifferenzen als signifikant angesehen werden können (vgl. auch Kap. 3.3.1).

4.2.2.1 Querzug-, Biege- und Abhebefestigkeit

Biegefestigkeit

Die Abbildung 4.2-5 stellt die ermittelten Resultate des Biegeversuchs dar. Der Abbildung eingefügt sind die nach DIN EN 312 aufgeführten Mindestanforderungen für Platten des Typs P2, P4 und P6. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass Unterschiede zwischen Spansortimenten aus unterschiedlichen Holzausgangsmaterialien auf der einen Seite bestehen, und auch eine Differenzierung der Biegefestigkeiten bei unterschiedlichen Zerkleinerungsverfahren der gleichen Holzart auf der anderen Seite zu erkennen sind.

Die höchsten Werte erzielen dabei Spanplatten aus Küstentannenholz nach Messerwellenzerspanung, gefolgt von solchen aus Messerringzerspanung. Die eingesetzten Deckschicht-Messerwellenspäne weisen deutlich mehr Feingutanteile auf und sind im Ganzen eher kleiner dimensioniert. Daher können unterschiedliche Spangrößenverteilung nicht als Begründung herangezogen werden. Auch die Rohdichteprofile widersprechen gerade im unteren Bereich der Plattenrohdichten diesen Ergebnissen (Abbildung 4.2-6). Der

Erklärungsansatz liegt hier in unterschiedlichen Partikelstrukturen. Der Messerwellenzerspaner erzeugt sehr dünne, flächige Späne, die bei der Nachzerkleinerung mit Hammermühlen ihren flächigen Charakter beibehalten und einen hohen Schlankheitsgrad aufweisen, wohingegen der Schlankheitsgrad bei den Deckschicht-Messerringspänen deutlich niedriger ausfällt.

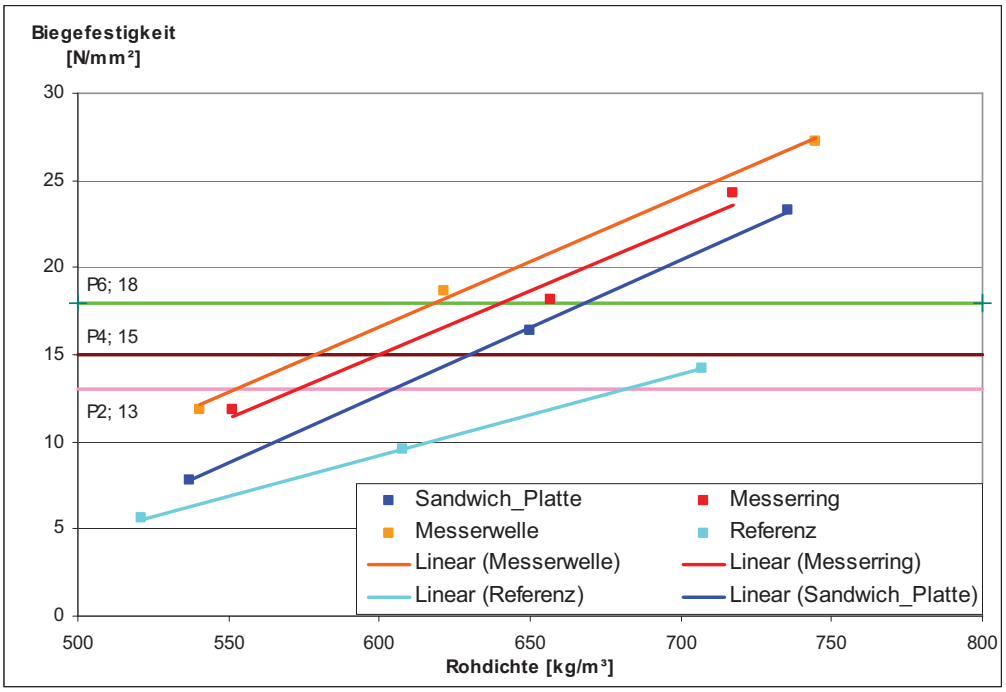

*Abbildung 4.2-5: Vergleich der **Biegefestigkeiten** von 19 mm dicken dreischichtige Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerring- und Messerwellenzerspanung sowie von Sandwich-Platten aus Buche und Küstentanne sowie der Referenzplatten.*

Die Sandwich-Platten, bestehend aus Küstetannenspänen aus Messerringzerspanung in der Deckschicht und Buchenspänen in der Mittelschicht, weisen geringere Biegefestigkeiten auf als die beiden zuvor genannten Versuchsreihen.

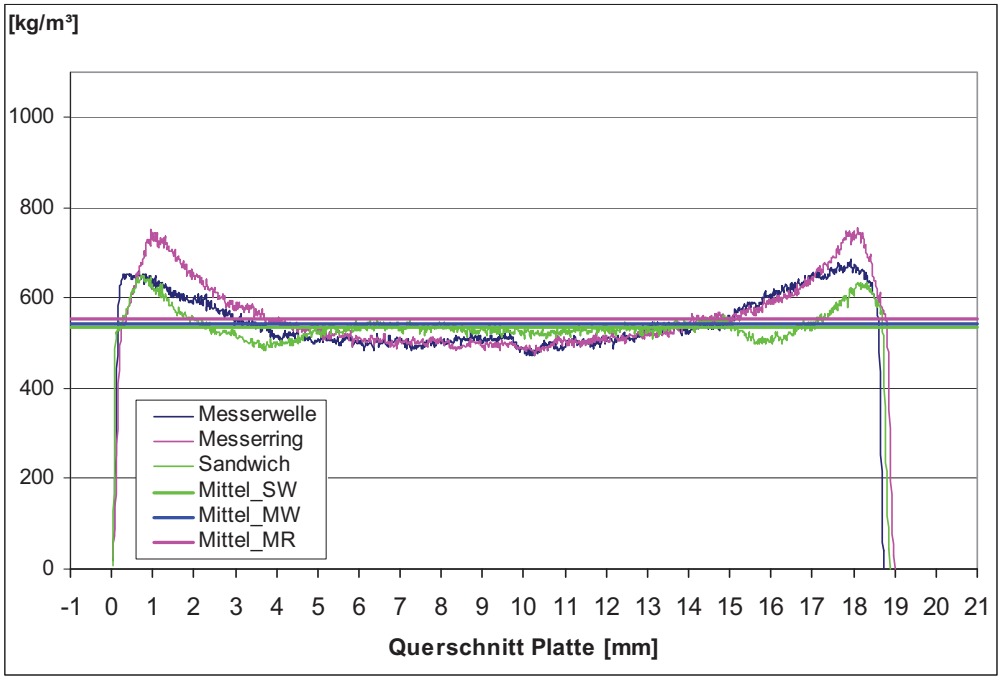

*Abbildung 4.2-6: Vergleich der **Rohdichteprofile** der geschliffenen Plattenvarianten mit einer Sollrohdichte von 550 kg/m³.*

Die Rohdichtemaxima haben neben der Struktur der Späne eine wichtige Funktion für hohe Biegefestigkeiten (PLATH, 1971, 1972). Das Rohdichtemaximum selbst wird aber auch durch die Spanstruktur mitbestimmt. Auch wenn der Mittelschicht eine untergeordnete Rolle bei der Ausprägung der Biegefestigkeiten zugesprochen wird, so liegt hier dennoch die Ursache der geringeren Werte in der Beschaffenheit der Mittelschicht aus Buchenspänen der Sandwich-Platten. Vor allem die äußeren Lagen der Mittelschicht werden bei der Biegebelastung beansprucht.

Das Schüttgewicht der Mittelschichtspäne kann zudem die Ausprägung der Verdichtung sowie der Dichte der Deckschicht mitbestimmen. Die schweren, relativ kurzen und verhältnismäßig dicken Buchenspäne wirken hier nachteilig, insbesondere bei geringeren Plattenrohdichten. Im höheren Rohdichtebereich erweisen sich die Buchenspäne als vorteilhaft, da sie zur Ausprägung eines Rohdichteprofils mit hohem Gradienten führen (vgl. Kap. 2.6).

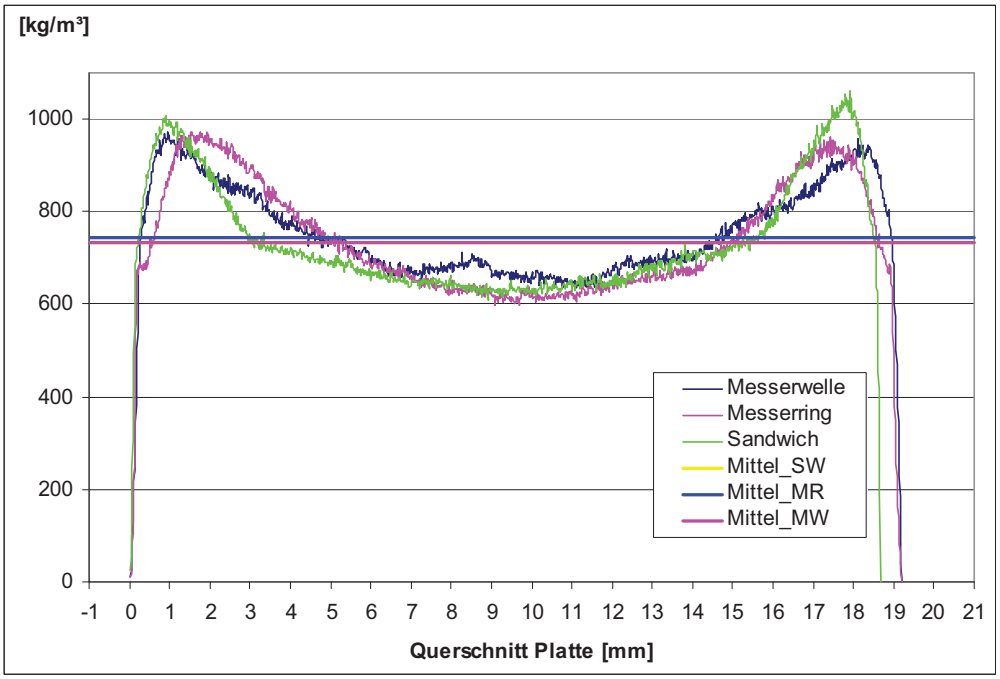

*Abbildung 4.2-7: Vergleich der **Rohdichteprofile** der geschliffenen Plattenvarianten mit einer Sollrohdichte von 750 kg/m³.*

Die Referenzplatten zeigen die niedrigsten Biegefestigkeiten aufgrund des ungünstigen Verhältnisses von Feingutaufkommen, unterschiedlicher Spanformate und hoher Streudichte der Deckschichtspäne. In der Abbildung 4.2-5 wird über lineare Regression die minimale Rohdichte zur Erfüllung der einzelnen Mindestanforderungen für P2-, P4- und P6-Platten nach DIN EN 312 annäherungsweise ermittelt. Die Referenzplatten erreichen die P2-Norm bei einer Rohdichte von ungefähr 670 kg/m³. Da die Biegefestigkeit für Platten zur Verwendung im Trockenbereich den limitierenden Faktor bei der Erfüllung der Normen darstellt, bewegen sich die Plattendichten der industriell produzierten 19 mm dicken Spanplatten für Inneneinrichtungen (einschließlich Möbel) zur Verwendung im Trockenbereich in der Rohdichtespanne von 640 kg/m³ bis 700 kg/m³. Die beiden Versuchsreihen aus Küstentannenspänen erreichen die P2-Norm im Bereich von 550 kg/m³ bis 570 kg/m³, die Sandwich-Platten im Bereich von 600 kg/m³.

Die Auswirkungen verschiedener Deck- und Mittelschichten auf die Biegefestigkeit sind den Abbildung 4.2-8 und Abbildung 4.2-9 zu entnehmen. Zur Ermittlung des Einflusses der Deckschicht auf die Biegefestigkeit wurde bei gleichbleibender Mittelschicht aus Buchenspänen Deckschichten aus Küstentannenspänen nach Messerring- (MR/Bu) und Messerwellenzerspanung (MW/Bu) sowie aus Industriespänen (Ind/Bu) eingesetzt. Die Sandwich-Platten mit Messerwellenspänen aus Küstentanne in der Deckschicht zeigen hier Vorteile mit höheren Biegefestigkeiten gegenüber den Messerringspänen. Hauptsächlich kann dies auf einen höheren Schlankheitsgrad der Messerwellenspäne zurückgeführt werden. Die

Ergebnisse decken sich tendenziell mit denen der Abbildung 4.2-5. Bei diesen Grundserien werden neben der Verwendung von Messerring- und Messerwellenspänen in der Deckschicht die entsprechenden Spanfraktionen auch in der Mittelschicht eingesetzt.

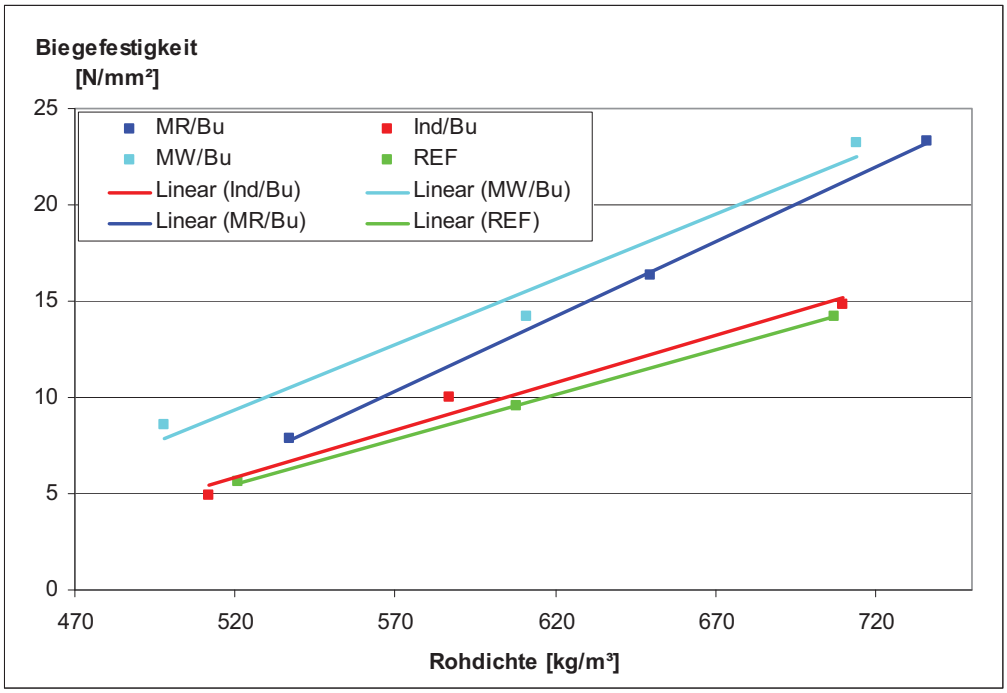

*Abbildung 4.2-8: Vergleich der **Biegefestigkeiten** von Sandwich-Platten mit **verschiedenen Deckschichten.** MR/Bu: Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung, Mittelschicht aus Buchenspänen Ind/Bu: Die Deckschicht besteht aus Industriespänen und die Mittelschicht aus Buchenspäne. MW/Bu: Die Deckschicht aus Küstentannenspäne nach Messerwellenzerspanung und die Mittelschicht aus Buchenspänen. REF: Deckschicht aus Industriespänen, Mittelschicht aus Industriespänen.*

Werden für die Deckschichten Industriespäne eingesetzt, so fallen die Biegefestigkeiten dieser Platten auf das Niveau der Referenzplatten. Bei diesem Vergleich wird neben der großen Bedeutung der Deckschicht für die Biegefestigkeit der geringe Unterschied zwischen Industriespänen und Buchenspänen in der Mittelschicht verdeutlicht.

Zur besseren Beurteilung der Bedeutung der Mittelschicht auf die Biegefestigkeit werden bei konstanter Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung, Buchenspäne (MR/Bu), Industriespäne (MR/Ind) sowie Küstentannenspäne nach Messerringzerspanung (MR/MR) für die Mittelschicht eingesetzt (Abbildung 4.2-9).

Bei dem Vergleich der Sandwich-Platten mit der Variante „MR/Ind“, in der die Buchenmittelschichtspäne durch Industriespäne ersetzt werden, zeigen sich im Mittel nur geringe Unterschiede zur Grundserie mit Buchenspänen in der Mittelschicht. Die Platten mit Industriespänen haben hier höhere Biegefestigkeiten im unteren Rohdichtebereich, die mit

Buchenspänen in der Mittelschicht bei höheren Rohdichten. Werden in der Mittelschicht ebenfalls Küstentannenspäne eingesetzt, so erhöhen sich die Biegefestigkeiten noch einmal deutlich. Es zeigt sich, dass vor allem das Schüttgewicht der Mittelschicht einen Einfluss auf die Eigenschaften der Deckschicht hat (vgl. Kap. 4.2.1.2).

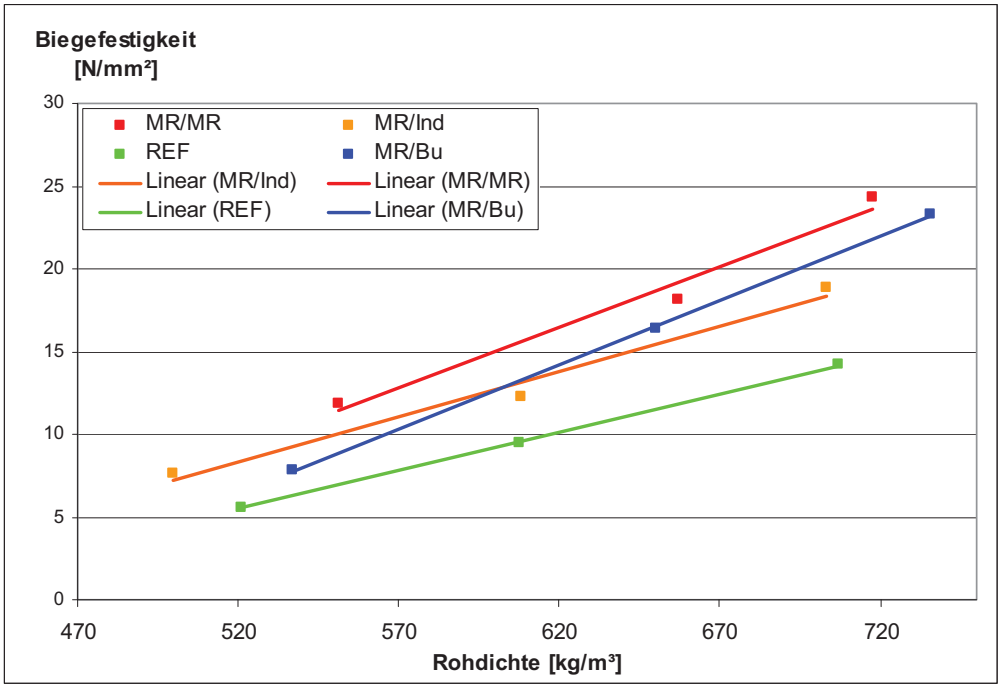

*Abbildung 4.2-9: Vergleich der **Biegefestigkeiten** von Sandwich-Platten mit **verschiedenen Mittelschichten**. MR/MR: Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung, Mittelschicht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung MR/Ind: Die Deckschicht besteht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung und die Mittelschicht aus Indutriespänen. MR/Bu: Die Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung und die Mittelschicht aus Buchenspänen. REF: Deckschicht aus Industriespänen, Mittelschicht aus Industriespänen.*

Werden statt Messerringspäne Messerwellenspäne in der Deckschicht verwendet bestätigen sich die grundsätzlichen beschriebenen Zusammenhänge. Die absoluten Biegefestigkeiten liegen hier hingegen auf höherem Niveau (Abbildung 4.2-10).

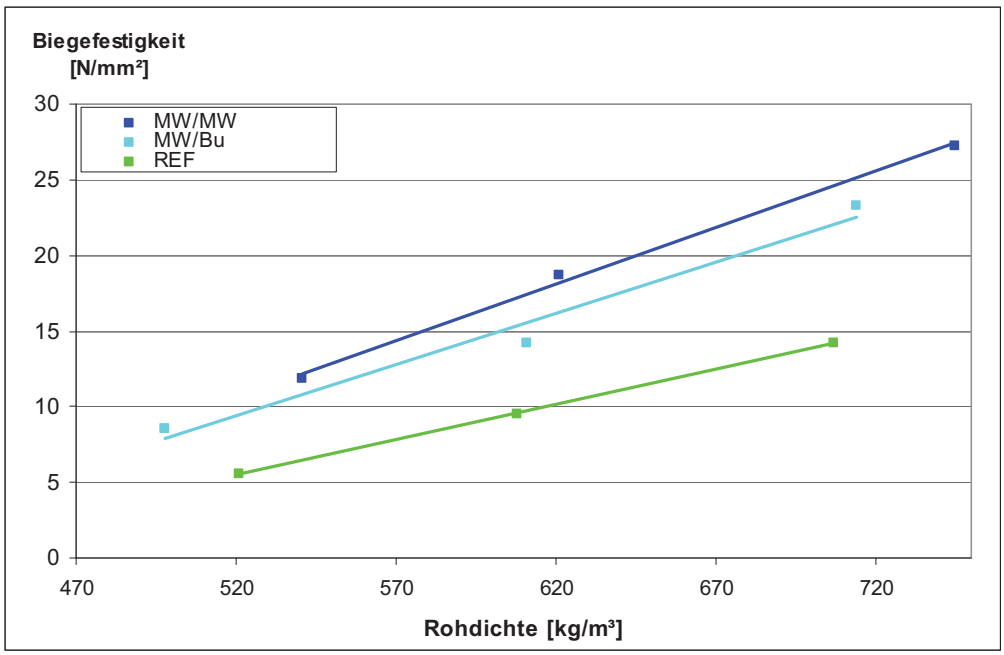

*Abbildung 4.2-10: Vergleich der **Biegefestigkeiten** von Sandwich-Platten mit **verschiedenen Mittelschichten**. MW/MW: Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerwellenzerspanung, Mittelschicht aus Küstentannenspänen nach Messerwellenzerspanung MW/Bu: Die Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerwellenzerspanung und die Mittelschicht aus Buchenspänen. REF: Deckschicht aus Industriespänen, Mittelschicht aus Industriespänen.*

Querzugfestigkeit

Bei der Beurteilung der Querzugfestigkeiten stehen die Qualität der Mittelschichtspäne sowie die Qualität der Beleimung der Mittelschichtspäne im Mittelpunkt der Betrachtung. Die Abbildung 4.2-11 zeigt, dass unabhängig von der Rohdichte des eingesetzten Materials tendenziell mit zunehmender Spandicke und sinkendem Schlankheitsgrad die Querzugfestigkeiten steigen (DUNKY und NIEMZ, 2002; LIIRI, 1977).

Der Einfluss der Rohdichte des Ausgangsmaterials wird deutlich bei dem Vergleich der Serie aus Messerringspänen und der Sandwich-Platten (Abbildung 4.2-11). Interessant sind hier die Querzugwerte bei niedrigen Rohdichten und die Höhe der Steigung dieser Werte über der Rohdichte. So zeigen Küstentannenspäne aus Messerringzerspanung hohe Querzugfestigkeiten bei niedrigen Rohdichten, der Anstieg der Festigkeiten ist allerdings relativ gering im Vergleich zu den Sandwich-Platten. Ausschlaggebend für die geringen Werte bei niedrigen Rohdichten ist die relativ hohe Rohdichte des Buchenholzes. Der steile Anstieg kann mit günstigen Spangeometrien als auch mit steigenden Säureemissionen bei der Heißverpressung begründet werden, die für eine bessere Leimaushärtung in der Mittelschicht verantwortlich gemacht werden können (VOS und KHARAZIPOUR, 2008).

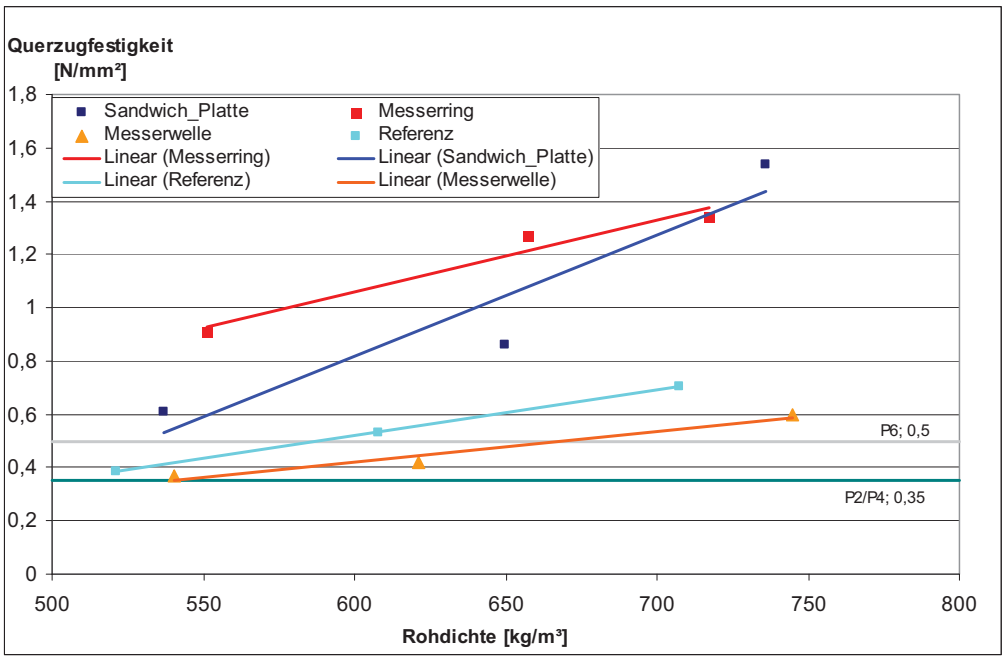

*Abbildung 4.2-11: Vergleich der **Querzugfestigkeiten** von 19 mm dicken dreischichtigen Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerring- und nach Messerwellenzerspanung sowie von Sandwichplatten aus Buche und Küstentanne und der Referenzplatten.*

Bei vergleichenden Untersuchungen konnte BRINKMANN (1982) ähnliche Feststellungen mit Buchenspänen machen. Trotz des ungünstigen Verdichtungsverhältnisses von 2,75 der Buchenspäne erzielte er sehr gute Querzugfestigkeiten und begründete dies mit der wesentlich kleineren zu beleimenden Spanoberfläche der Mittelschicht-Buchenspäne. Die Platten aus Messerwellenspänen zeigen trotz des günstigen Schüttgewichts keine Vorteile hinsichtlich der Querzugfestigkeiten. Aufgrund der flächigen Spanstruktur kommt es zu gleichmäßig verteilten Streudichteabfällen in der Mittelschicht, die bei der Streuung des Spankuchens entstehen (ENGELS, 1983). Ein hoher Schlankheitsgrad der Messerwellenspäne wirkt sich zudem nachteilig auf die Querzugfestigkeit aus (LIIRI, 1977).

Weitere Untersuchungen ergeben, dass verschiedene Deckschichtmaterialien bei gleicher Mittelschicht zu unterschiedlichen Querzugfestigkeiten führen (Abbildung 4.2-12). Geringere Schüttgewichte der Deckschichtspäne ergeben höhere Querzugfestigkeiten bei gleicher Mittelschicht. Dies zeigt sich im Vergleich der beiden Versuchreihen mit Küstentannenspänen mit der aus Industriespänen in der Deckschicht. Die höhere Verdichtung in den Deckschichten wirkt sich demnach auch auf die Mittelschicht aus.

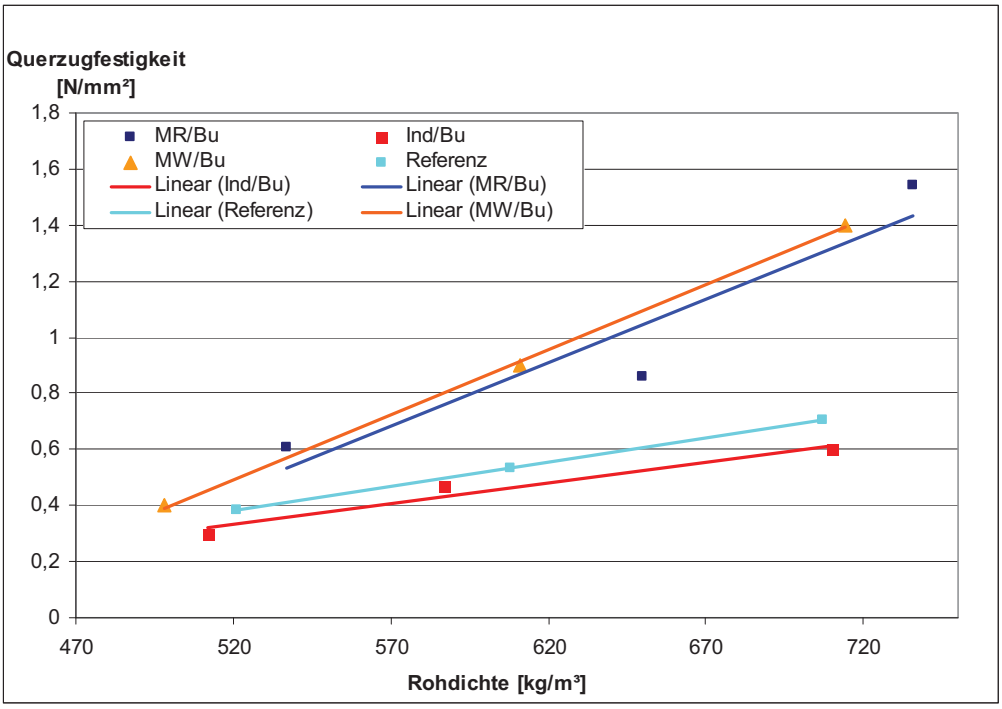

*Abbildung 4.2-12: Vergleich der **Querzugfestigkeiten** von Sandwich-Platten mit **verschiedenen Deckschichten**. MR/Bu: Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung, Mittelschicht aus Buchenspänen Ind/Bu: Die Deckschicht besteht aus Industriespänen und die Mittelschichtspäne sind Buchenspäne. MW/Bu: Die Deckschicht aus Küstentannenspäne nach Messerwellenzerspanung und die Mittelschicht aus Buchenspänen. REF: Deckschicht aus Industriespänen, Mittelschicht aus Industriespänen.*

Abhebefestigkeit

Die Abhebefestigkeit wird klassischer Weise zur Gütebestimmung der Deckschicht herangezogen. Die visuelle Begutachtung der ausgerissenen Prüfkörper ergibt jedoch einen entscheidenden Einfluss der Mittelschicht an den Prüfergebnissen. Darüber hinaus wird über den Widerstand der Mittelschicht gegenüber dem Pressdruck das Dichteprofil der Deckschicht mitbestimmt. So erklärt sich auch der wiederum steile Anstieg der Abhebefestigkeiten der Sandwich-Platten bei steigender Rohdichte, die somit sehr stark von den Mittelschicht-Buchenspänen beeinflusst werden.

Gerade im Bereich höherer Plattenrohdichten erweisen sich die Buchenspäne als sehr vorteilhaft. Sowohl die Sandwich-Platten als auch die Versuchsreihe aus Messerringspänen besitzen die gleiche Spanzusammensetzung in der Deckschicht (vgl. Kap. 4.2.1.1). Da alle Serien mit identischen Parametern hergestellt wurden, kann der Einfluss der Mittelschicht bei diesen beiden Versuchsreihen beurteilt werden. Die Schüttgewichte der Mittel- und der Deckschicht aus Messerringspänen liegen auf gleich niedrigem Niveau, somit können die hohen Werte bei geringen Rohdichten der daraus hergestellten Platten erklärt werden. Der

Einfluss des Schüttgewichts verliert sich bei steigender Plattenrohdichte. Bei einer Dichte von ca. 670 kg/m³ übersteigen die Werte der Sandwich-Platten die derer aus Messerringspänen. Die Versuchsreihe aus Messerwellenspänen zeigt im unteren Rohdichtebereich höhere Werte als die Referenzplatten und Sandwich-Platten, im höheren Bereich hingegen geringere. Auch hierfür sind Streudichteabfälle in der Mittelschicht mitverantwortlich.

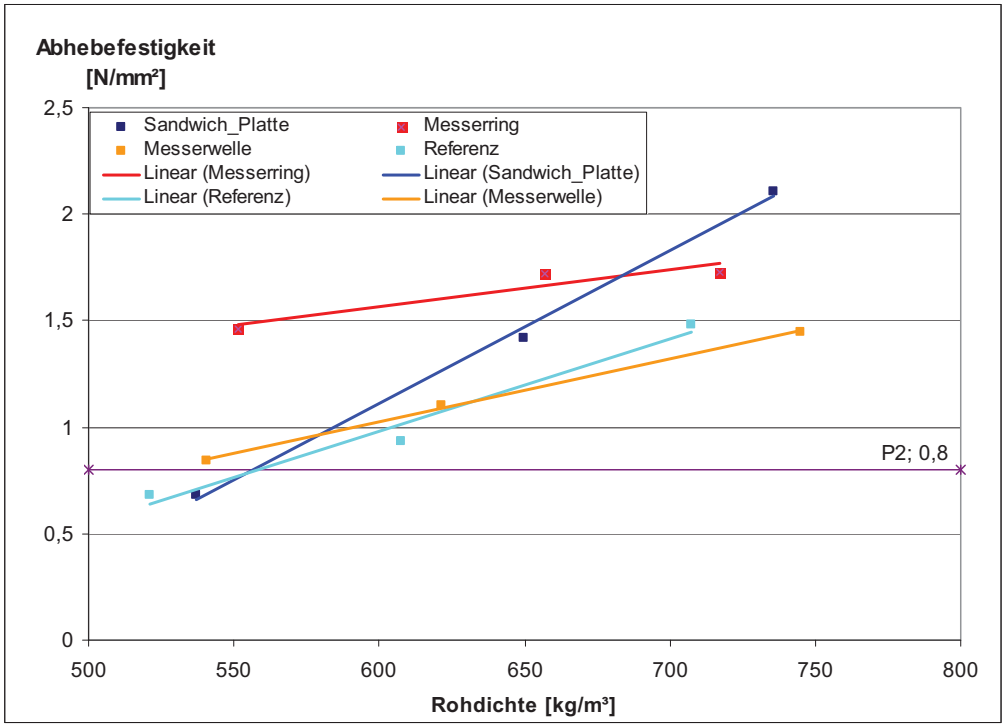

*Abbildung 4.2-13: Vergleich der **Abhebefestigkeiten** dreischichtiger Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerring- und Messerwellenzerspanung, von Sandwichplatten aus Buche und Küstentanne und der Referenzserie.*

Bei der Betrachtung aller Ergebnisse der Biege-, Querzug- und Abhebefestigkeiten zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen Spänen unterschiedlicher Holzausgangsmaterialien und zwischen Spänen aus unterschiedlichen Herstellungsverfahren. Eine Kombination des Küstentannenholzes mit Messerringspänen in der Mittelschicht und Messerwellenspänen in der Deckschicht ist unter Berücksichtigung der aufgeführten Ergebnisse sehr vorteilhaft, da auf diese Weise eine niedrige Holzrohdichte mit optimierten, physikalischen Eigenschaften kombiniert werden kann.

Dies bestätigen auch Untersuchungen nach RACKWITZ (1963), der unterschiedliche Schlankheitsgrade für Deck- und Mittelschichtspäne fordert in Abhängigkeit von der eingesetzten Holzart und der Plattenrohdichte. BUCHHOLZER und ROFFAEL (1987) und BUCHHOLZER (1992) konnten bei Untersuchungen zur Verwendung von Pappelspänen sehr

hohe Biegefestigkeiten feststellen, die ebenfalls mit der hohen Schlankheit der Deckschichtspäne aus Pappelholz in Verbindung gebracht wurden.

Nach JENSEN und KEHR (1979) sind dünne, lange Späne mit ausreichender Schlankheit als optimal für die Deckschicht anzusehen. Bei erhöhter Oberflächengüte führt die zunehmende Feinheit der Partikel zu einer Senkung der elasto-mechanischen Eigenschaften und einer Verschlechterung der Formbeständigkeit (JENSEN und KEHR, 1979). Gerade die Biegefestigkeiten der aufgeführten Referenzplatten bestätigen diese Aussage.

Zum Einfluss der Oberflächenrauhigkeit der Küstentannenspäne auf die Verleimungsqualität können hier nur Vermutungen geäußert werden. Zahlreiche Untersuchungen bestätigen der Küstentanne sehr gute Verleimungseigenschaften (SACHSSE, 1991; ALDEN, 1997; MÜLLER, 1938). Grundsätzliche Zusammenhänge zwischen der Oberflächenrauhigkeit und der Festigkeit einer Leimverbindung finden sich bei SUCHSLAND (1957).

Buchenspäne eignen sich sehr gut für die Verwendung in der Mittelschicht. Die Stärken des Buchenholzes liegen aufgrund des spezifischen Gewichts bei der Herstellung von Spanplatten mit höheren Rohdichten. Zur Vermeidung von Schleifstäuben und zur besseren Nutzung der morphlogischen Eigenschaften des Buchenholzes ist eine Verwendung in der Mittelschicht zu bevorzugen.

Parallel zur Bestimmung der elasto-mechanischen Eigenschaften wurde die Dickenquellung nach 24 Stunden Wasserlagerung aller Versuchsreihen gemessen. Die prozentualen Quellwerte liegen bei allen Platten im Bereich von 10 % bis 15 %. Alle Messungen ließen keine eindeutige Tendenz im Bezug zur Rohdichte erkennen. Diese Werte genügen den Anforderungen nach DIN EN 312-5 (2003) für Platten des Typs P5 und P6.
Oberflächenbeschaffenheit

Die Güte der Oberfläche ist für eine wirtschaftliche Weiterverarbeitung von ausschlaggebender Bedeutung. Eine dichte, glatte und saubere Oberfläche bestimmt das äußere Bild einer Spanplatte (NEUßER und KRAMES, 1971). Zudem bestimmt auch der Farbeindruck die weitere Verwendung der Platten.

Die Oberflächengüte ist einer der wichtigsten Gebrauchseigenschaften einer Spanplatte, wenn diese im Möbelbau- oder Innenausbau eingesetzt wird (KEHR, 1966). Gerade bei der Verwendung als Trägerplatte für dünne Hochglanz-Beschichtungen werden sehr hohe Anforderungen an die Oberflächenqualität gestellt. Neben der Beleimungsgüte haben vor allem die Beschaffenheit der Deckschichtspäne und die Deckschichtrohdichte

Einfluss auf die Oberfläche (KEHR, 1966; DEPPE und ERNST, 2000). Wie bereits gezeigt wurde, weisen bei gleichen Pressparametern Platten aus Küstentannenspänen höhere Rohdichtemaxima in der Deckschicht im Vergleich zu den Referenzplatten auf. Gleich verhält es sich mit den elasto-mechanischen Eigenschaften der Deckschichtspäne. Zudem haben sie eine dichte und fein strukturierte Oberfläche (Bild 4-2). Auch bei geringen Rohdichten besteht eine hohe Verdichtung der Mittelschicht für eine saubere, ausrissfreie Bearbeitung.

Bild 4-1: Farbvergleich einer Spanplatte aus Industriespänen (links) mit einer Spanplatte aus Küstentannenspänen (rechts)(Foto: Vos, 2005).

Die Platten aus Küstentannenspänen weisen eine sehr helle Holzoptik auf. Bei Beschichtungen mit dünnen, hellen Melaminpapieren können dunkle Bereiche auf der Plattenoberfläche durch die Beschichtung scheinen (PLATH, 1971). Aufgrund der hellen Holzoptik bei Küstentannenspänen sind hier keine Probleme zu erwarten. Der farbliche Unterschied zwischen den Spanplatten aus Küstentannenspänen und den Referenzplatten wird in Bild 4-1 deutlich dargestellt.

GRIGORIOU (1981) verweist auf die Bedeutung der Oberflächengüte der Spanplatten für die Beschichtung mit dünnen Folien. Er stellt dabei die Rauhigkeit der Spanplattenoberflächen in den Vordergrund. Verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Oberflächengestalt werden in der Literatur aufgeführt (NEUßER und KRAMES, 1967). Das Tastschnittverfahren zur Bestimmung der Rautiefe zählt dabei zu den geeigneten Verfahren. Nach PLATH (1971) ergibt sich diese aus der Gleichmäßigkeit und Geschlossenheit der

Oberfläche. Zum Beispiel kann sich bei Beschichtungen die Spanplattenstruktur in der Beschichtung abzeichnen (NEUßER und KRAMES) 1971).

Die Spanlatten aus Küstentannespänen in der Deckschicht haben auch bei niedrigen Rohdichten eine gut geschlossene Oberfläche. Je höher die Rohdichte der Platte, desto leichter können einzelne Späne, aufgrund der höheren Verdichtung, nachträglich aufstehen (PLATH, 1971). Die Rohdichteprofile zeigen hohe Rohdichten im Bereich der Deckschicht im Vergleich zu Platten mit anderen Deckschichtmaterialien (vgl. Kap. 4.2.2.1). Die sehr gute Kompressibilität der Späne führt zu diesen hohen Rohdichtegradienten in Querschnitt der Platte.

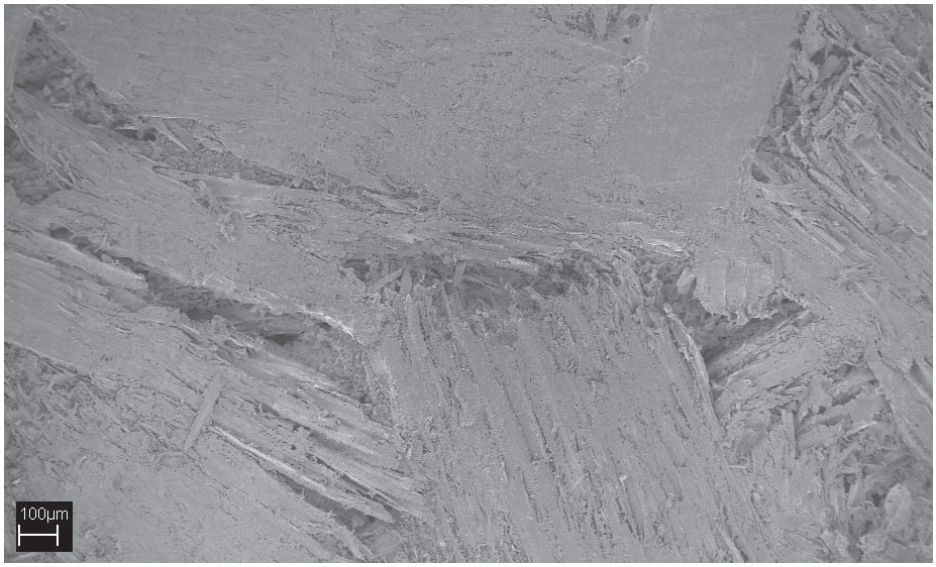

Bild 4-2: Oberfläche einer dreischichtigen Spanplatte aus Küstentannenspänen

4.3 Eigenschaften von MDF aus Küstentanne und Buche im Pilotmaßstab

4.3.1 Charakterisierung der verwendeten Holzfasern

4.3.1.1 Faserlängenverteilung

Die Verteilungen der Faserlängen wurden mittels der in Kap. 3.2.1.2 beschriebenen Methode ermittelt. Untersucht wurden dabei nach dem TMP-Verfahren hergestellte Fasern aus Küstentannen-, Buchen- und Kiefernholz. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 4.3-1 dargestellt.

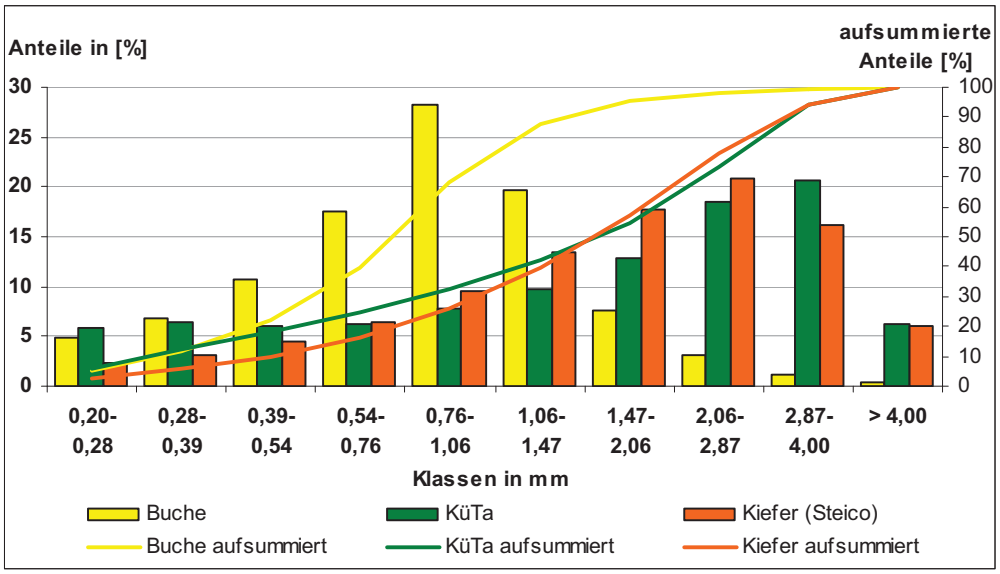

Abbildung 4.3-1: Vergleich der Faserlängenverteilungen von Küstentannen-, Buchen und Kiefernfasern mittels MORFI- Faseranalysator.

Die Buchenfasern haben im Mittel die kürzesten Fasern. Über 60 % der Faseranteile liegen im Bereich von 0,54 mm bis 1,47 mm Faserlänge. Dabei liegt der Schwerpunkt im Bereich von 0,76 mm bis 1,06 mm. Die Ergebnisse decken sich mit Angaben von ROFFAEL et al. (1994, Teil1). Die Untersuchungen an Buchen-TMP ergaben eine mittlere Faserlänge von 0,86 mm. Der bei Buchenholz charakteristische, hohe Anteil an Parenchymgewebe ist verantwortlich für die erheblichen Feinanteile. Der Hauptanteil der Küstentannen- und Kiefernfasern ist im Bereich von 1,47 mm bis 4,00 mm vertreten. Diese Ergebnisse decken sich auch mit den in der Literatur angegebenen Faserlängen für Buche, Küstentanne und Kiefer. Weitere vergleichende Untersuchungen verschiedener Methoden zur Faserfraktionierung werden bei RITTER (2007) behandelt.

4.3.1.2 Rasterelektronenmikroskopische Analysen

Abbildung 4.3-2 zeigt eine Übersicht des Fasermaterials aus Küstentannenholz, wobei Faserbündel und Einzelfasern (TMP-Fasern) zu erkennen sind. Auffällig sind einzelne um die Längsachse verdrehte Fasern, die aus der spiraligen Fibrillenstruktur der Zellwandschichten resultieren. In Erscheinung tritt dieses Phänomen nach der Trocknung des Fasermaterials (BURGERT et al. 2005).

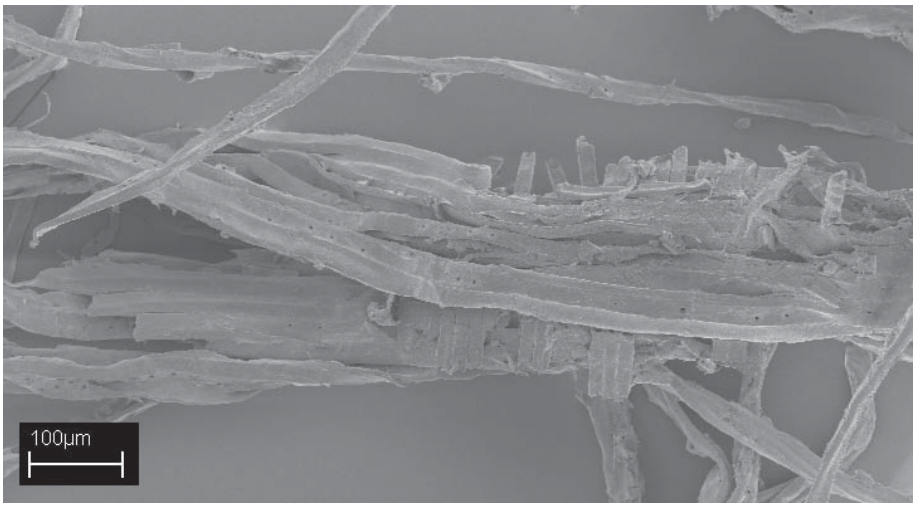

Abbildung 4.3-2: REM- Aufnahme von Küstentannenfasern: Faserbündel und verdrehte Einzelfasern

Von großem Interesse ist vor allem die Beschaffenheit der Faseroberfläche, die mittels der Rasterelektronenmikroskopie sehr gut dargestellt werden kann. Bei der Zerfaserung im Refiner (Defibrator-Verfahren) lösen sich die Fasern entlang der gemeinsam genutzten Mittellamelle, deren Lignin zuvor durch überschreiten der Glasumwandlungstemperatur von 125 °C plastifiziert wird (KHARAZIPOUR, 1996). Reste der Mittellamelle liegen als Kruste auf der Faseroberfläche (Abbildung 4.3-3). Dort wo die Hoftüpfel frei zu erkennen sind, ist die gesamte Mittellamelle abgetrennt worden.

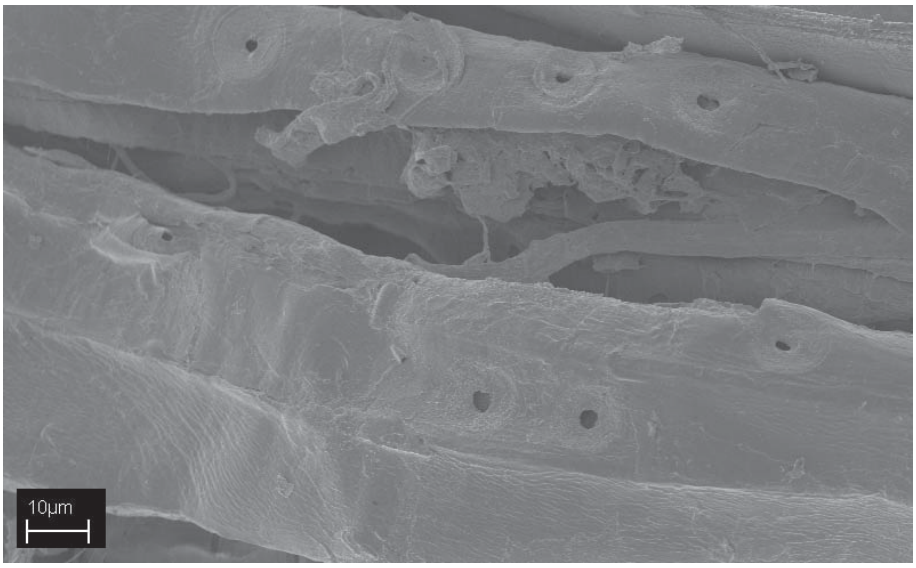

Abbildung 4.3-3: REM- Aufnahme von Einzelfasern aus Küstentanne im Verbund mit Hoftüpfeln

Vergleichbare Faserstrukturen zeigen sich bei der Betrachtung des Faserstoffs aus Kiefernholz (Abbildung 4.3-4). Neben den um die Längsachse verdrehten Einzelfasern besitzen die Fasern und Faserbündel mehr Knicke im Vergleich zum Faserstoff aus Küstentannenholz. Diese Knicke können Schwachstellen im Faserverbund der Platten sein.

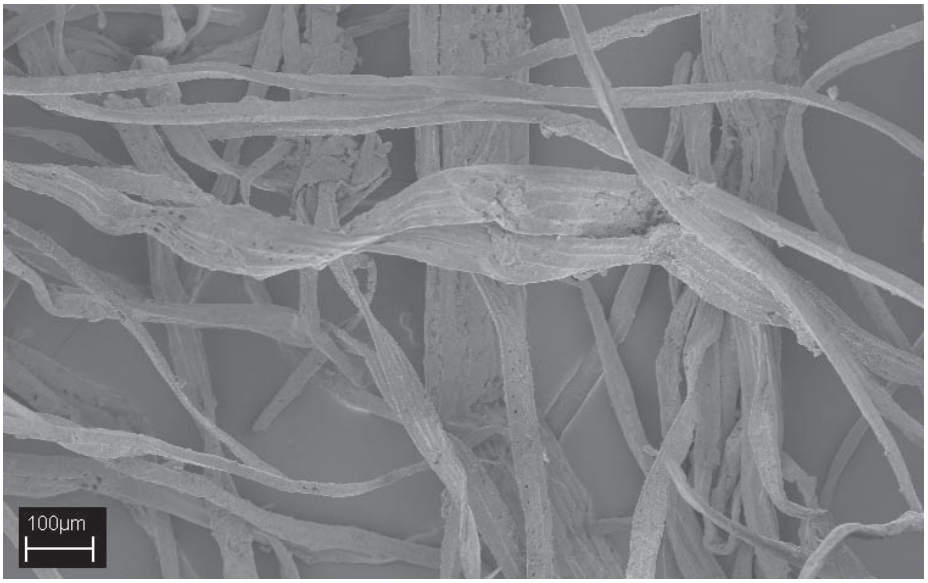

Abbildung 4.3-4: REM- Aufnahme von Kiefernfaserstoff der Firma STEICO, Polen (Übersicht)

4.3.2 Mechanisch-technologische Eigenschaften

Die Ergebnisse der mechanisch-technologischen Eigenschaften aller Versuchsreihen orientieren sich an den Mindestanforderungen für Mitteldichte Faserplatten des Typs

MDF.LA und des Typs MDF zur Verwendung im Trockenbereich. Zur besseren Orientierung sind die Mindestwerte den jeweiligen Abbildungen beigefügt (vgl. Kap. 2.6.1).

4.3.2.1 Biegefestigkeit, Biege-E-Modul und Querzugfestigkeit

Biegefestigkeiten und Biege-E-Modul

Unterschiede zwischen den verwendeten Faserstoffe werden bei der Gegenüberstellung der jeweiligen Biegefestigkeiten verdeutlicht (Abbildung 4.3-5). Die Werte korrelieren mit der ermittelten Faserlängenverteilung (vgl. Kap. 4.3.1.1) der Faserausgangsstoffe. Das heißt, mit steigender mittlerer Faserlänge erhöhen sich die Biegefestigkeiten. Somit zeigen die Platten aus Küstentannenfasern die höchsten Biegefestigkeiten, gefolgt von den Referenzplatten aus Kiefernfasern und den Faserplatten aus 50 % Küstentanne und 50 % Buche. Die geringsten Werte aufgrund der kurzen Faserlänge und der höheren Streudichte erreichen MDF aus Buchenfasern.

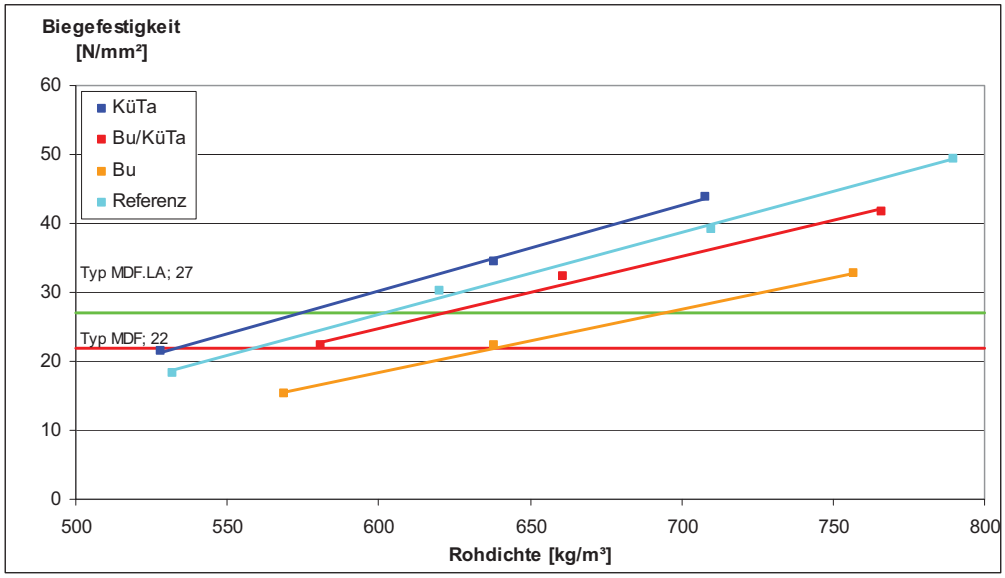

*Abbildung 4.3-5: Vergleich der **Biegefestigkeiten** für Mitteldichte Faserplatten aus Küstentannen-, Buchen-/Küstentannen- und Buchenfasern sowie für Referenzfasern aus Kiefernholz.*

Aufgrund der engen Korrelation zwischen Biegefestigkeit und Biege-E-Modul zeigen sich ähnliche, relative Differenzen der E-Module zwischen den Versuchsreihen im Vergleich zu den Biegefestigkeiten (Abbildung 4.3-6). Auch hier zeigen die Faserplatten aus Küstentannenfasern die höchsten Werte und damit die geringste Durchbiegung bei steigender Biegebelastung in Relation zur Rohdichte.

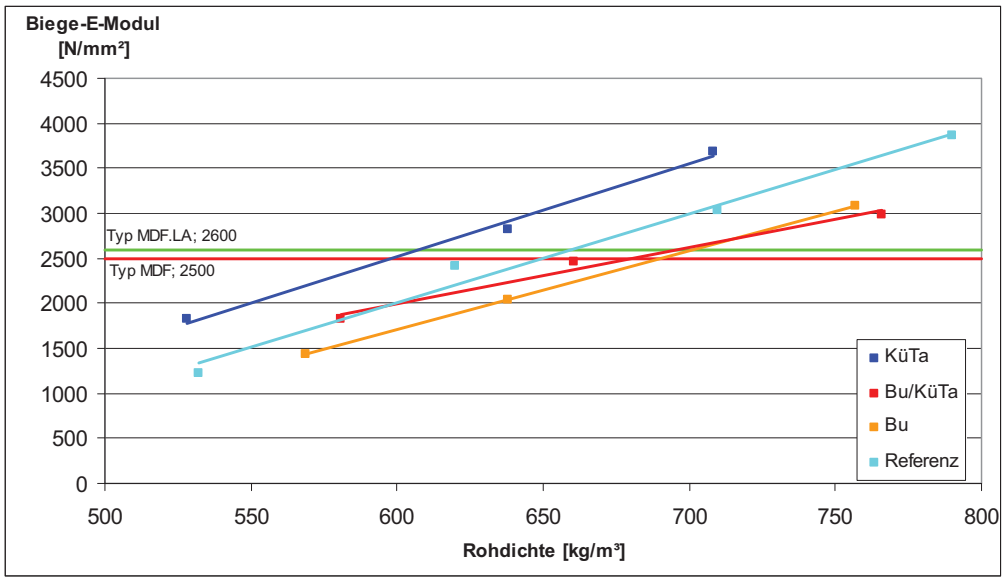

*Abbildung 4.3-6: Vergleich der **Biege- Elastizitäts- Module** für Mitteldichte Faserplatten aus Küstentannen-, Buchen-/Küstentannen- und Buchenfasern sowie für Referenzfasern aus Kiefernholz.*

Beim Vergleich der Abbildung 4.3-5 und Abbildung 4.3-6 wird deutlich, dass das E-Modul der limitierende Faktor bei den Ergebnissen des Biegeversuchs zur Einhaltung der Mindestanforderungen nach DIN EN 622-5 (2004) darstellt.

Werden die Werte zur Biegefestigkeit und zum Biege-E-Modul gegenübergestellt, dann zeigen die Platten aus Buchenfasern den höchsten E-Modul bei gegebener Biegefestigkeit. Dies ist auf die höhere Faserverdichtung bei höherer Rohdichte zurückzuführen. Der Einfluss der Küstentanne in der Versuchsreihe Küstentanne/Buche zeigt sich in der Biegefestigkeit, der der Buche im E-Modul. Mit steigender Rohdichte nähern sich die Werte des E-Moduls von Buchenfaserplatten und Küstentannen-/Buchenfaserplatten an. Vergleichbare Zusammenhänge werden bei DUBE und KEHR (1995) festgestellt.

Bei BUCHHOLZER (1995) werden die mechanisch-technologischen Eigenschaften von UF-Harz gebundenen MDF-Platten aus Pappel-, Buchen, Fichten- und Kiefernfasern miteinander verglichen. Die ermittelten Biegefestigkeiten der Pappel- und Buchen-Platten liegen mit 50 N/mm² bei einer Rohdichte von 725 kg/m³ geringfügig über der hier festgestellten Biegefestigkeit für Küstentannen-Platten, dafür aber deutlich über denen der Buchen-Platten, die hier Werte von 30 N/mm² aufweisen bei vergleichbarer Rohdichte. Nach den Untersuchungen von BUCHHOLZER (1995) haben die Kiefern- und Fichten MDF die geringsten Biegefestigkeiten. Diese Ergebnisse decken sich nicht mit den hier festgestellten Biegefestigkeiten.

Vergleichend zu dreischichtigen Spanplatten sind bei Mitteldichten Faserplatten die Biegefestigkeit sowie der Elastizitätsmodul ebenfalls von der Decklagenrohdichte abhängig (DEPPE und ERNST, 1991). Die Ermittlung des Rohdichteprofils ist daher ein geeignetes Mittel zur Beurteilung der Biegefestigkeit.

In der Abbildung 4.3-7 sind die Rohdichteprofile von jeder Versuchsreihe mit einer mittleren Rohdichte von jeweils 650 kg/m³ aufgeführt. Da alle Versuchsplatten mit gleichen Parametern angefertigt wurden, können die in der Grafik ersichtlichen Unterschiede der Profile auf den jeweiligen Faserstoff zurückgeführt werden. Hervorzuheben ist das Rohdichteprofil der Platten aus Küstentannenfasern, die den größten Rohdichtegradienten im Plattenquerschnitt aufweisen. Zum anderen die Platten aus Buchenfasern, die einen flachen Rohdichteverlauf im Querschnitt zeigen. Die Ausprägungen der Rohdichtemaxima korrelieren sehr gut mit den Biegefestigkeiten der beiden Versuchsreihen, da die MDF-Platten aus Küstentanne die höchsten und die aus Buchenfasern die geringsten Biegefestigkeiten aufweisen.

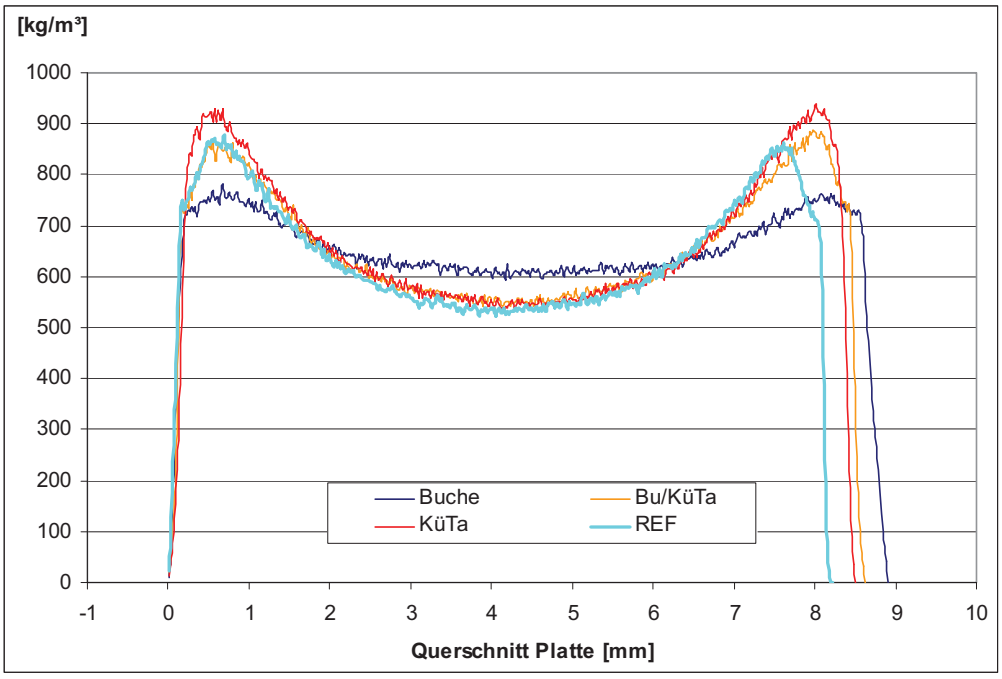

*Abbildung 4.3-7: Vergleich der **Rohdichteprofile** von Mitteldichten Faserplatten aus Küstentannen-, Buchen-/Küstentannen- und Buchenfasern sowie von Referenzplatten aus Kiefernholz.*

Die Abbildung 4.3-8 vergleicht die Biegefestigkeiten von 10 mm dicken MDF mit denen von 16 mm dicken aus Küstentannenfasern.

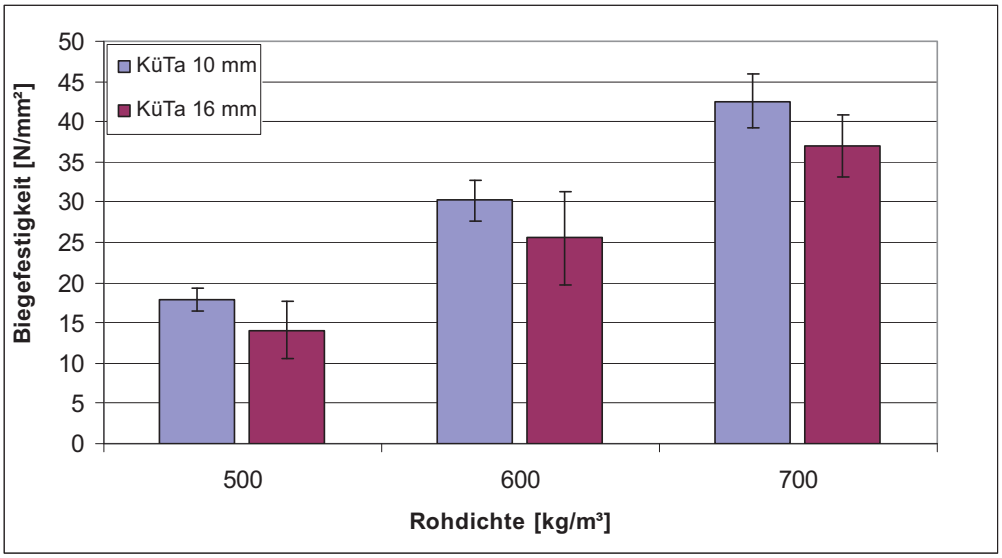

*Abbildung 4.3-8:Vergleich der **Biegefestigkeiten** von 10 mm und 16 mm dicken MDF-Platten aus Küstentanne.*

Unter Berücksichtigung der hohen Standardabweichung weisen die 16 mm Platten dennoch signifikant geringere Biegefestigkeiten auf als die 10 mm dicken Platten. Die Differenz der Biegefestigkeiten zwischen den Varianten bleibt über alle Rohdichten relativ konstant. Da die Biegefestigkeit der Probenkörper durch das Verhältnis von Biegemoment bei Bruchlast zum Widerstandsmoment seines vollen Querschnittes bestimmt wird, entstehen geringere Biegefestigkeiten bei einer Erhöhung der Plattendicke und unveränderter mittlerer Plattenrohdichte. Sowohl die 10 mm als auch die 16 mm dicken Platten erfüllen bei einer Rohdichte von 600 kg/m³ die nach DIN EN 622-5 geforderten Mindestwerte von 25 N/mm², beziehungsweise 27 N/mm² für MDF für tragende Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich (Typ MDF.LA).

Querzugfestigkeit

Die in der Abbildung 4.3-9 dargestellten Querzugfestigkeiten zeigen vergleichbare Tendenzen beim Vergleich mit den Querzugfestigkeiten der Pilotspanplatten (vgl. Kap. 4.2.2.1). Auch hier weisen die Buchenfaserplatten zunächst geringere Festigkeiten im unteren Rohdichtebereich auf, zeigen aber die höchste Steigung der Querzugfestigkeiten bei steigender Rohdichte (Abbildung 4.3-9). Unter Einbeziehung des Rohdichteprofils (vgl. Abbildung 4.3-7) wird deutlich, das auch die höhere Dichte im Bereich der Mittellagen der Platten aus Buchenfasern zu den hohen Querzugfestigkeiten führt. Untersuchungen nach ROFFAEL et al. (1994, Teil 2) zu den Eigenschaften von UF-Harz gebundenen MDF aus Buchen-TMP, führen zu noch höheren Querzugfestigkeiten. Die Plattenrohdichten liegen bei diesen Untersuchungen im Bereich von 810 kg/m³ bis 820 kg/m³.

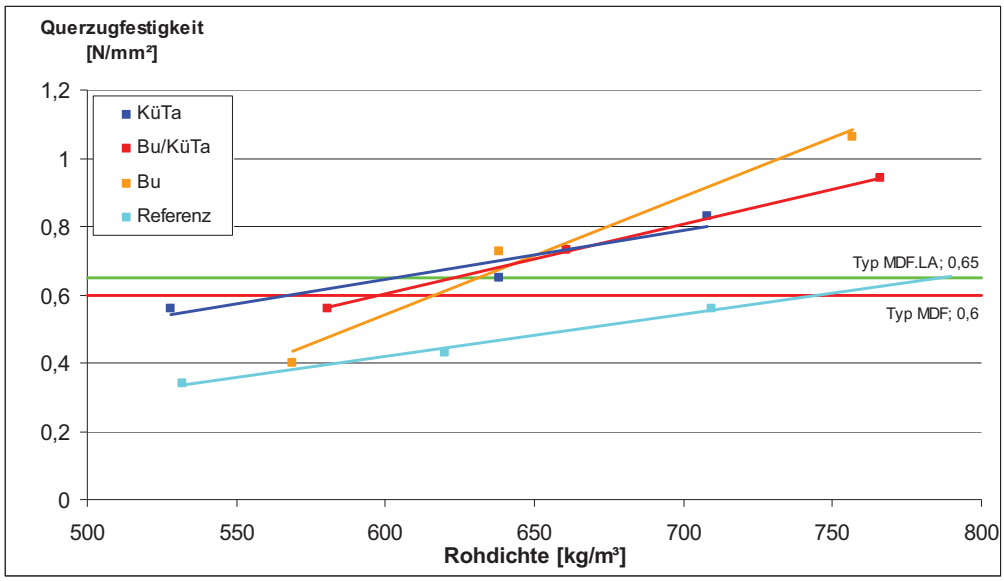

*Abbildung 4.3-9: Vergleich der **Querzugfestigkeiten** für Mitteldichte Faserplatten aus Küstentannen-, Buchen-/Küstentannen- und Buchenfasern sowie für Referenfplatten aus Kiefernholz.*

Die Platten aus Küstentannenfasern erfüllen die Norm für Typ MDF nach DIN EN 622-5 (2004) bei einer Dichte von ungefähr 560 kg/m³ und die Norm für Typ MDF.LA bei 600 kg/m³. Die Referenzplatten aus Kiefernfasern weisen die geringsten Querzugfestigkeiten auf. Bei hohen Plattenrohdichten weisen die Versuchsreihen aus Buchen- und Kiefernfasern sehr hohe Differenzen hinsichtlich der Querzugfestigkeit auf (Abbildung 4.3-9). Diese Ergebnisse decken sich auch mit denen von ROFFAEL et al. (1994, Teil 2) und ROFFAEL et al. (1995, Teil 3).

Der Vergleich der Querzugfestigkeiten von 10 mm dicken mit 16 mm dicken Faserplatten (Abbildung 4.3-10) aus Küstentanne ergibt analoge Wertedifferenzen im Vergleich zu den Biegefestigkeiten (Abbildung 4.3-8). Auch hier zeigen die 10 mm Platten höhere Festigkeitswerte. Parallel steigt bei einer Erhöhung der Plattendicke auch der Rohdichtegradient im Querschnitt der Platten. Es entstehen demnach höhere Rohdichtemaxima im Decklagenbereich und geringere Rohdichten im Bereich der Mittellagen, bezogen auf die mittlere Rohdichte. Daher sinkt die Querzugfestigkeit mit der Erhöhung der Plattenrohdichte.

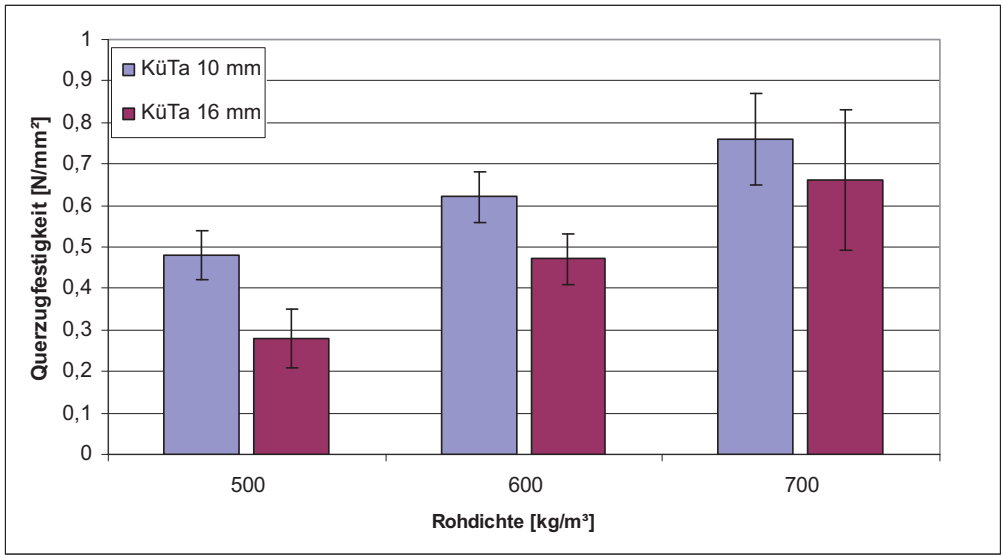

Abbildung 4.3-10: Vergleich der Querzugfestigkeiten von 10 mm und 16 mm dicken MDF-Platten aus Küstentannenfasern.

Weitere Untersuchungen haben ergeben, dass sich die Biegefestigkeit und die Querzugfestigkeit bei der Variation der Presszeiten nur geringfügig verändern (RITTER, 2007). Bei diesen Untersuchungen wurden Presszeitfaktoren von 9, 12 und 15 s/mm bei der Herstellung von 8 und 10 mm dicken MDF-Platten aus Küstentanne angewendet. Mit der Erhöhung der Presszeit konnte hier ein leichter Anstieg der Querzugfestigkeiten und geringfügig sinkende Biegefestigkeiten festgestellt werden.

4.3.2.2 Dickenquellung

Die prozentualen Dickenquellungen aller Versuchsreihen sinken mit steigenden Plattenrohdichten (Abbildung 4.3-11). Die Quellwerte der Versuchsreihen aus Buchen- und Kiefernfasern (Referenz) liegen zwischen 15 % und 17 % über alle Rohdichten und unterschreiten damit nicht die nach DIN EN 622-5 angegebenen maximale Quellung von 15 % für Platten des Typs MDF und MDF.LA. Die geringsten Quellwerte weisen die Platten aus Buchen-/Küstentannenfasern auf, die stets unterhalb des Maximalwertes bleiben.

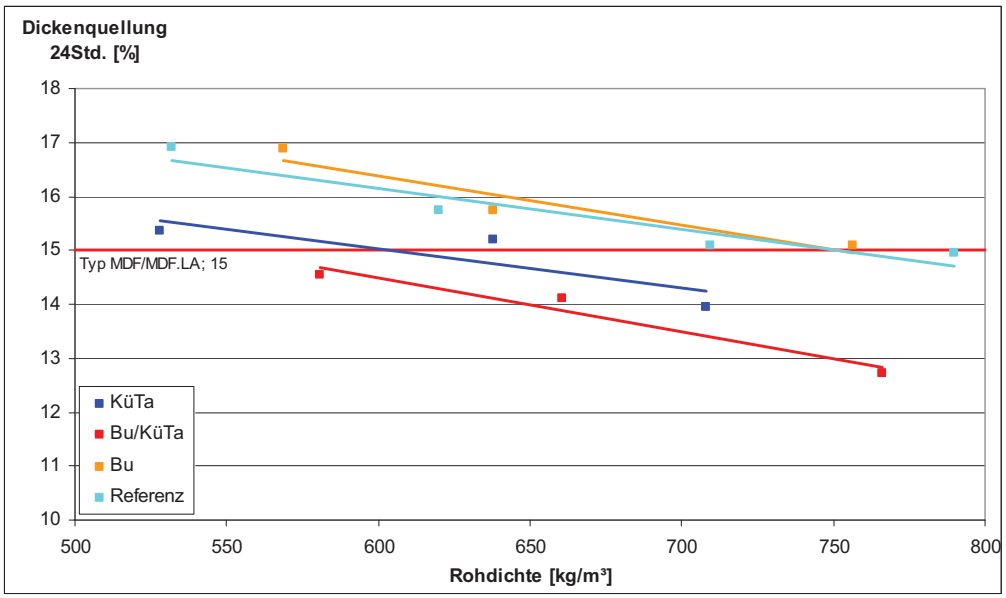

Abbildung 4.3-11: Dickenquellung nach 24 Stunden Wasserlagerung für Mitteldichte Faserplatten aus Küstentannen-, Buchen-/Küstentannen- und Buchenfasern sowie für Referenzfasern aus Kiefernholz.

4.4 Holz- und spanspezifischer Pressdruck bei der Herstellung einschichtiger, UF-Harz gebundener Spanplatten aus Küstentanne; Einflussnahme auf das Rohdichteprofil sowie auf die Querzug- und Biegefestigkeit

4.4.1 Charakterisierung der verwendeten Späne

Zunächst wurden die Spangrößenverteilungen aller Ausgangsmaterialien mittels Siebanalysen charakterisiert (Abbildung 4.4-1). Die Küstentannenspäne, hergestellt aus Messerwellenzerspanung, haben die größten Spandimensionen. Der Anteil der Späne, die eine Spanbreite von größer als 4 mm besitzen, liegt hier bei über 45 %.

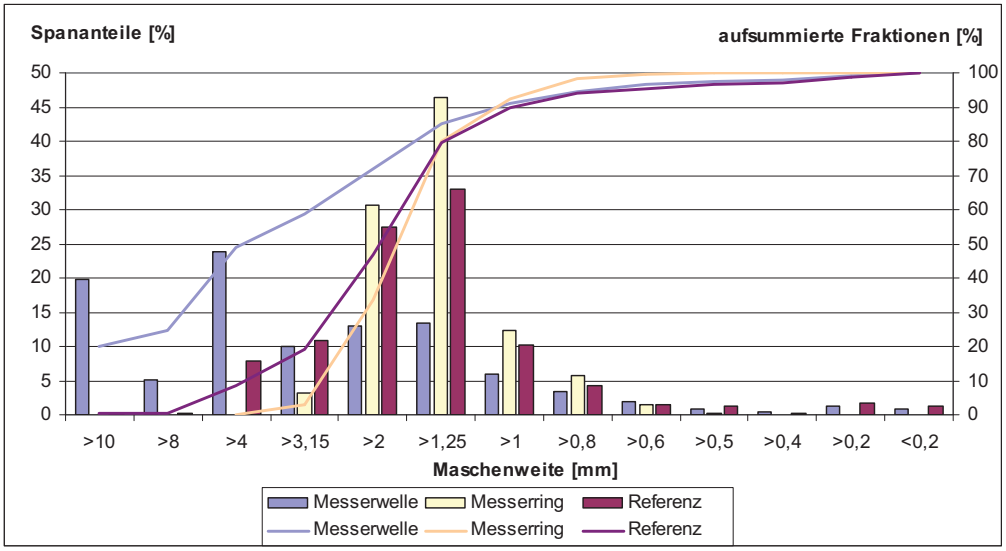

*Abbildung 4.4-1: **Siebanalysen** der zu vergleichenden Spanmaterialien aus Küstentanne nach Messerwellen- und Messerringzerspanung sowie der Referenzspäne.*

Der Schlankheitsgrad als Verhältnis zwischen der Länge und der Dicke der Späne ist in allen Fraktionen relativ konstant. Die Spandicken bei den Messerwellenspänen variieren zwischen 0,2 mm und 0,5 mm. In dem Bereich größer 4 mm weisen die Messerringspäne keine Anteile auf. Die dominierenden Fraktionen sind hier im Bereich von 1 mm und 3,15 mm. Ziel der Verwendung dieser hinsichtlich der Zusammensetzung der Spanfraktionen deutlich differenzierenden Späne ist es, eine deutliche Diskrepanz der Streudichten hervorzurufen. So können die Einflüsse von Holzrohdichte und Streudichte unterschieden werden. Die Spangrößenverteilung der Referenzspäne liegt im Mittel zwischen den beiden Versuchsreihen aus Küstentannenholz.

4.4.2 Spezifischer Pressdruck, Verdichtungsverhältnis und Rohdichteprofil

Die im folgenden Abschnitt dargestellten Ergebnisse der spezifischen Pressdrücke können bezüglich der absoluten Messwerte nicht als allgemein gültig verstanden werden. Gerade die Schließgeschwindigkeit der Presse, die bei den in der Holzwerkstoffindustrie üblichen Pressen über den Druckaufbau geregelt wird, ist entscheidend für den Pressdruck bei Erreichen der Plattensolldicke (LIIRI, 1969). Auch das Plattenformat kann den spezifischen Druck beeinflussen. Allein die relativen Unterschiede der spezifischen Pressdrücke bei gleichen Pressparametern sollen eindeutige Tendenzen aufzeigen.

Der Einfluss der unterschiedlichen Späne auf die maximalen spezifischen Pressdrücke wird in der Abbildung 4.4-2 aufgeführt. Die Pressdrücke zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Versuchsreihen. Die Grafik veranschaulicht, dass die Pressdrücke der jeweiligen Versuchsreihen stark linear über der Rohdichte verlaufen (R^2 >0,96).

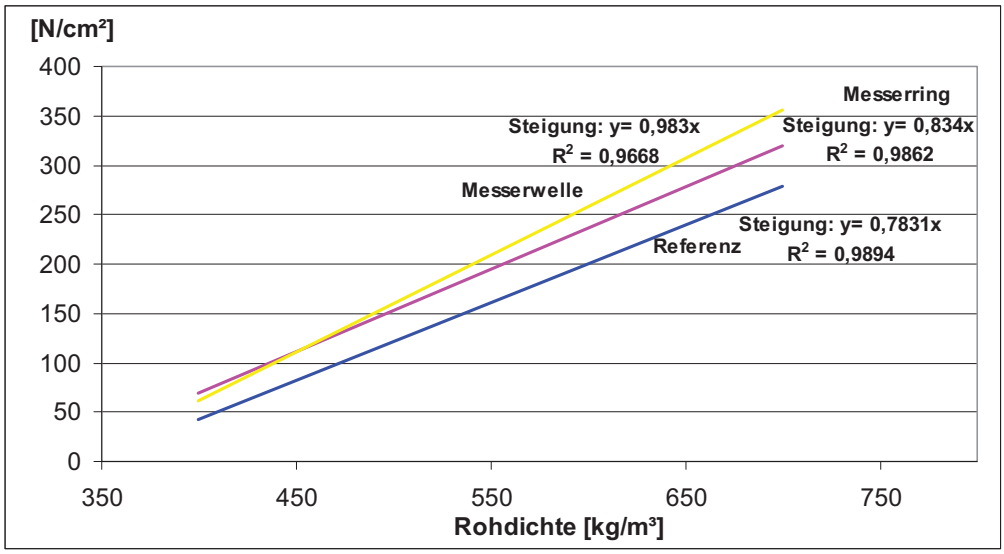

*Abbildung 4.4-2: Lineare Entwicklung der maximalen **spezifischen Pressdrücke** über der Rohdichte für einschichtige Spanplatten mit Küstentannenspänen aus Messerwellen- und Messerringzerspanung sowie mit Referenzspänen bei Erreichen der Plattensolldicke von 20 mm.*

Mit der Betrachtung der absoluten Pressdruckwerte liegen die Versuchsserien aus Küstentanne bei niedrigeren Plattendichten auf nahezu gleichem Niveau und deutlich oberhalb der benötigten Pressdrücke für die Referenzplatten. Mit steigender Plattendichte differenzieren sich die Pressdrücke der beiden Versuchsreihen.

Zu erkennen ist eine Beeinflussung durch die Streudichte des Spanmaterials, die das Verdichtungsverhältnis der Späne in der Platte bestimmt (Abbildung 4.4-3). Der Vergleich der in Abbildung 4.4-2 und Abbildung 4.4-3 dargestellten linearen Zusammenhänge zeigt,

dass je höher die Intensität der Steigung der Pressdrücke verläuft desto flacher ist der Grad der Steigung der Streudichten über der Plattenrohdichte. Die Steigungen der Pressdrücke verlaufen damit konform zur relativen Veränderung des Verhältnisses von der Streuhöhe zur Plattendicke, dem Verdichtungsverhältnis (Cr). Der Anstieg und die Absolutwerte der Pressdrücke sind infolge der Erhöhung der Plattenrohdichte bei Küstentannenspänen aus Messerwellenzerspanung am größten. Die Versuchsserie mit Messerringspänen weist eine ähnliche Erhöhung der Pressdrücke auf wie die der Referenzen. Der Anstieg der Streudichten verläuft hier auch weitestgehend parallel.

Grundsätzlich wird der Pressdruck durch den Widerstand des Spanvlieses gegenüber der zunehmenden Verdichtung bestimmt (PLATH, 1971). Die hier dargestellten unterschiedlichen Pressdrücke werden entscheidend von der Rohdichte des Ausgangsholzes bestimmt. Dies zeigen die nahezu identischen Pressdrücke bei unterschiedlichen Streudichten der beiden Versuchsreihen aus Küstentannenspänen im unteren Bereich der Plattenrohdichten. Bedingt wird der höhere Pressdruck bei niedrigen Holzrohdichten durch eine geringere Interporosität der Späne in der Platte, so dass es frühzeitig zu einem vermehrten Kontakt zwischen den Partikeln kommt und damit zu einer erhöhten Partikelverdichtung (THOLE, 2009). Der Anstieg der Streudichten und des Verdichtungsverhältnisses der Spanmaterialien bewirkt hingegen eine Erhöhung der Steigung der Pressdrücke bei Erhöhung der Plattenrohdichte. Obwohl die relative Verdichtung bei Messerwellenspänen in der Platte stets größer ist als bei den Messerringspänen, zeigt sich dieser Effekt erst bei höheren Plattenrohdichten. Weitere grundlegende Einflüsse auf den maximalen Pressdruck finden sich bei LIIRI (1969). Ausführungen zum Pressprogramm bei der Verwendung von kontinuierlichen Pressen werden bei MEYER und THOEMEN (2006) dargestellt.

Die Verdichtung der Späne ist das Verhältnis zwischen Streuhöhe und Solldicke der Platte beziehungsweise zwischen der Streudichte und der Rohdichte der Platte (HELLER, 1995). In der Literatur wird dieser Zusammenhang auch als Compression ratio (Cr) bezeichnet (BLANCHET et al., 2000). Nach DUNKY UND NIEMZ (2002) ist das Verdichtungsverhältnis während des Pressvorgangs die entscheidende Maßzahl für die Erzielung eines ausreichenden Kontaktes der Späne untereinander. In diesem Sinne hat eine höhere Verdichtung der Späne demnach nichts gemein mit einer erhöhten Dichte in der Platte, die über die Versuchsanordnung vorgegeben war und bei allen hier verglichenen Platten konstant gewesen ist.

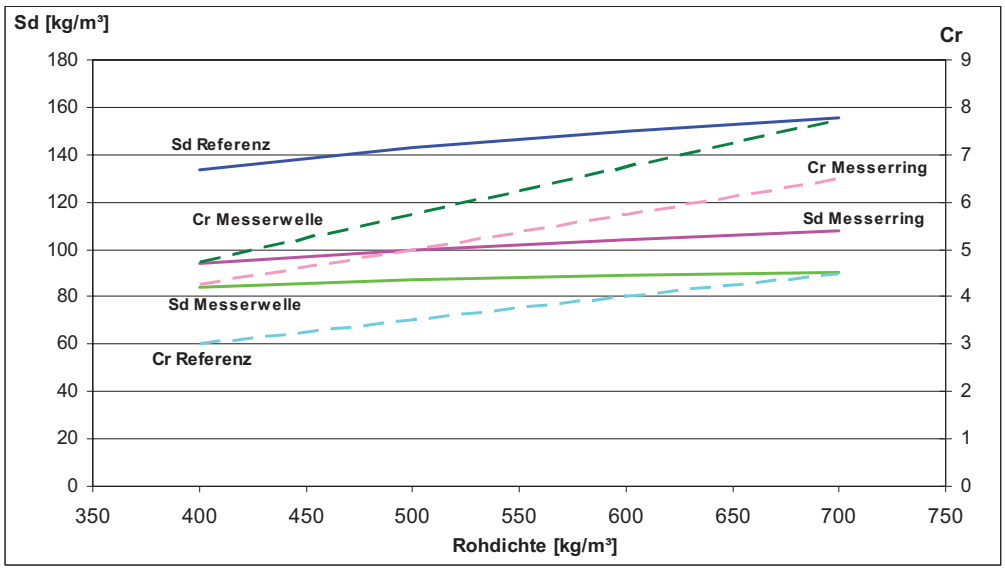

*Abbildung 4.4-3:Lineare Entwicklung der **Streudichte (Sd)** und des **Verdichtungsverhältnisses (Cr)** bei steigender Plattenrohdichte für Küstentannenspäne aus Messerwellenzerspanung und Messerringzerspanung sowie der Referenzspäne.*

Küstentannenspäne aus Messerwellenzerspanung haben die geringsten Streudichten, gefolgt von denen aus Messerringzerspanung. Deutlich höhere Streudichten weisen die Referenzspäne auf. Auffällig ist der Zusammenhang, dass mit höherer absoluter Streudichte auch der Anstieg der Streudichte tendenziell über der Rohdichte größer ist. Somit erhöht sich die Streudichte bei Messerwellenspänen aus Küstentannenholz von 84,2 kg/m³ für eine Plattenrohdichte von 400 kg/m³ um 7,2 % auf 90,3 kg/m³ für eine 700 kg/m³ schwere Spanplatte. Bei den Messerringspänen ist ein Anstieg von 14,4 % von 94,1 kg/m³ auf 107,7 kg/m³ bei gleicher Veränderung der Plattenrohdichte zu verzeichnen. Das industriell aufgearbeitete Referenzmaterial zeigt die höchste Steigung mit 16,7 %. Die Streudichte erhöht sich dabei von 133,3 kg/m³ auf 155,6 kg/m³. Die ermittelten Schüttgewichte (vgl. Kap. 4.2.1.2) der Küstentannenspäne sind stets unterhalb der Streudichtewerte, wohingegen das Schüttgewicht der Referenzspäne im Bereich der Streudichte für die Plattenvariante mit 400 kg/m³ Rohdichte liegt. Demnach besteht bei den Referenzspänen bereits im Vorfeld eine höhere Verdichtung bei der Schüttung des Spanmaterials und eine durchschnittlich höhere Rohdichte der Späne.

Zur Deutung der maximalen Pressdrücke sowie zur Beurteilung der Querzug- und Biegefestigkeiten wurden Rohdichteextreme im Querschnitt der einschichtigen Spanplatten im Verhältnis zur mittleren Plattenrohdichte ermittelt (Abbildung 4.4-4). Die Werte sind aus den Rohdichteprofilen aller zur Querzugfestigkeit geprüften Proben entnommen. Wie auch bei einer dreischichtig aufgebauten Spanplatte liegen die Rohdichtemaxima in den äußeren

Lagen und die Dichteminima im inneren Bereich des Querschnittprofils. CLAD (1967) bezeichnet die Rohdichtemaxima bei einschichtigen Spanplatten als Beplankungen.

Es ist zu erkennen, dass die Beeinflussung der Rohdichtemaxima im Verhältnis zur mittleren Rohdichte durch die Art der verwendeten Späne bei allen Versuchsreihen stärker ausfällt als die Beeinflussung der Rohdichteminima. Ein Zusammenhang, der in der Literatur bereits von MAY (1983) beschrieben wurde. Die Referenzplatten bilden die geringsten Rohdichteextreme im Querschnittprofil aus. Die beiden Versuchsreihen aus Küstentannenspänen zeigen vergleichbare maximale und minimale Dichten. Dabei weisen sie geringfügig höhere maximale Dichten und niedrigere minimale Dichten als die Referenzen auf. Nach HÄNSEL et al. (1988) steigt die Deckschichtrohdichte mit der Verwendung leichter Holzarten. Die physikalischen Vorgänge beim Heißverpressen von Holzwerkstoffen werden bei THOEMEN et al. (2006) in einem rheologischen Modell zur Beschreibung der Entwicklung des Dichteprofils während des Heißpressens dargestellt.

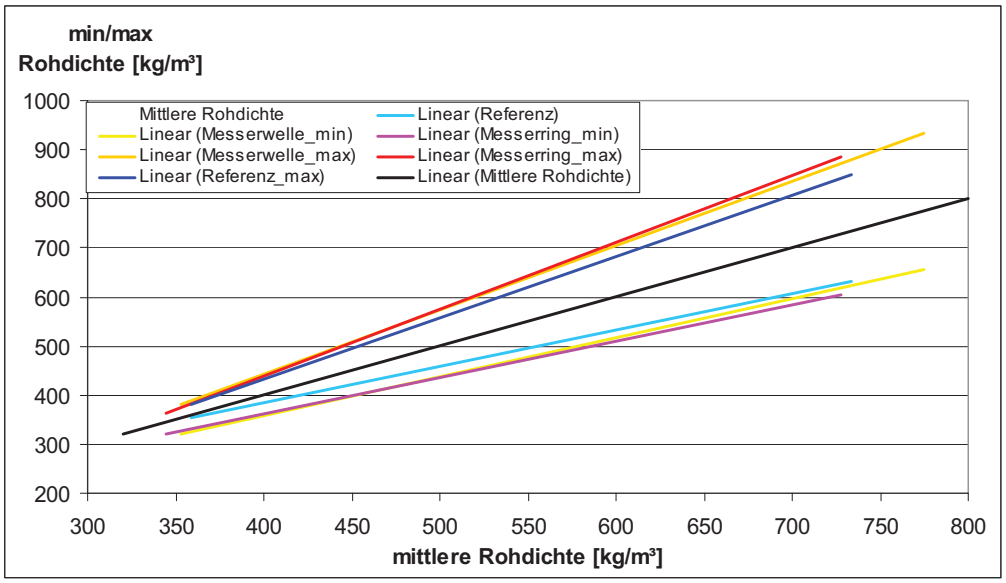

*Abbildung 4.4-4: Lineare Betrachtung der minimalen und maximalen **Rohdichten** im Querschnitt der Versuchsplatten im Verhältnis zur mittleren Rohdichte; vereinfachte Darstellung der Rohdichteprofile.*

Die nach JENSEN UND KEHR (1995) vorgeschlagene Rohdichte-Symmetriemaßzahl liegt hier bei durchschnittlich 1,15 für die Rohdichtemaxima. Diese Maßzahl bezieht das Dichtemaximum der Plattenoberseite auf das der Unterseite. Begründet werden können diese auftretenden Differenzen zwischen den Rohdichtegipfeln vor allem mit pressenbedingten Abweichungen, wie zum Beispiel leichter Temperaturunterschiede zwischen der oberen und unteren Pressbacke. Zur weiteren quantitativen Auswertung des Rohdichteprofils kann der Rohdichte-Gradient herangezogen werden (JENSEN UND KEHR, 1995). Der Gradient

beschreibt das Verhältnis von mittlerem Rohdichtemaximum und -minimum und steigt hier bei allen Versuchsreihen mit der Erhöhung der mittleren Rohdichte an. Der Gradient spiegelt die in Abbildung 4.4-4 aufgezeigte Spreizung der maximalen und minimalen Rohdichte der einzelnen Plattenvarianten wieder. Im Unterschied zu JENSEN UND KEHR (1995), die das Rohdichteprofil in Zonen einteilen und einen Mittelwert dieser Zonen angeben, wurden für diese Untersuchungen die maximalen und minimalen Einzelwerte verwendet. Bei der direkten Gegenüberstellung dieser Werte mit den Querzugfestigkeiten und Biegefestigkeiten hat sich diese Methode als sehr geeignet herausgestellt.

Vergleichend zur Ausbildung des Rohdichteprofils werden die Verdichtungsverhältnisse bei minimaler, mittlerer und maximaler Rohdichte im Dichteprofil der Versuchsplatten ermittelt. Die Werte zeigen, dass die Späneverdichtung, als Verhältnis von Streudichte zur Plattendichte, bei Gegenüberstellung der Versuchsserien deutlich unterschiedlicher ausfallen (Abbildung 4.4-5).

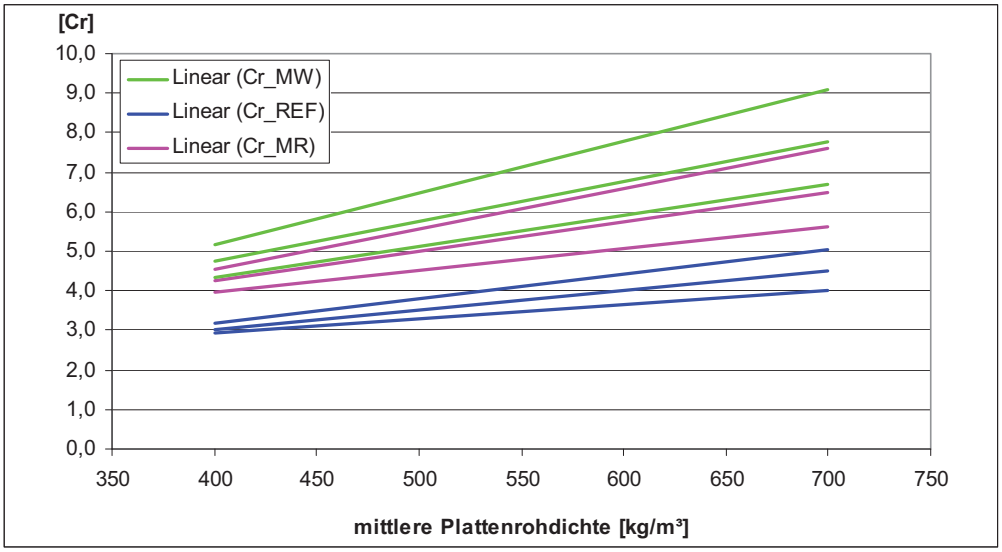

*Abbildung 4.4-5: Darstellung des **Verdichtungsverhältnisses** (Cr) bei Rohdichtemaxima, mittlerer Rohdichte und Rohdichteminima im Querschnitt der Platten für die Versuchsreihen aus Küstentannenholz nach Messerwellenzerspanung (MW) und nach Messerringzerspanung (MR) sowie der Referenzserie (REF).*

Die Messerwellenspäne haben aufgrund der geringsten Streudichte sowie dem niedrigsten Streudichteanstieg das höchste Verdichtungsverhältnis und auch den stärksten Anstieg der Verdichtung bei steigender mittlerer Plattenrohdichte. Durch die stärkere Beeinflussung der Rohdichtemaxima mit steigender Plattenrohdichte (Abbildung 4.4-5) erfährt auch die Verdichtung der Späne einen deutlicheren Anstieg in diesem Bereich. Besonders ausgeprägt ist dies bei den Messerwellenspänen festzustellen.

4.4.3 Querzug- und Biegefestigkeit

Nach Ermittlung der Spaneigenschaften hinsichtlich Spangrößenverteilung, Streudichte, relative Späneverdichtung und den daraus resultierenden spezifischen Pressdrücken soll die Auswirkung dieser Einflussfaktoren auf die Biegefestigkeit und die Querzugfestigkeit untersucht werden.

Die Querzugfestigkeit der hergestellten Platten ist eine wichtige Kontrolleigenschaft in der industriellen Spanplattenfertigung. Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede beim Vergleich der beiden Versuchsreihen aus Küstentannenspänen mit der Referenzserie auf (Abbildung 4.4-6). Sowohl die Messerwellenspäne als auch die Messerringspäne zeigen ähnliche Querzugfestigkeiten bei steigenden mittleren Plattenrohdichten. Die Referenzplatten hingegen weisen über alle Plattenrohdichten deutlich höhere Festigkeitswerte auf.

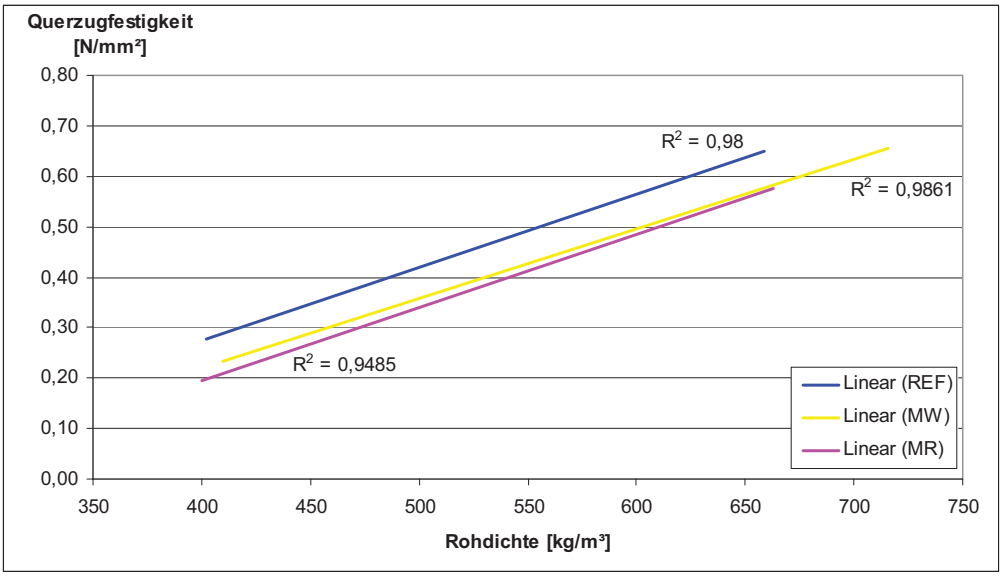

*Abbildung 4.4-6: Vergleich der **Querzugfestigkeiten** für 19 mm dicke einschichtige Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerwellen- und nach Messerringzerspanung sowie aus Referenzspänen in Relation zur **mittleren** Plattenrohdichte.*

Die Korrelation von mittlerer Plattenrohdichte und der Einzelwerte der Querzugfestigkeiten kann zu zufälligen Schwankungen innerhalb einer Platte führen (CLAD, 1981). Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Querzugfestigkeiten mit den minimalen Rohdichten im Querschnitt der einzelnen Prüfkörper korrelieren und nur indirekt mit der mittleren Rohdichte. Auch GRESSEL (1981) stellt bei dem Vergleich verschiedener Bauspanplatten aus unterschiedlichen Ländern zwar eine Korrelation der Platteneigenschaften mit der mittleren Rohdichte fest, die allerdings häufig relativ „lose“ ist. Ein engerer Zusammenhang mit dem Rohdichteprofil wird an dieser Stelle gefordert.

Daher ist es sinnvoll die minimalen Rohdichten im Querschnitt der Platten zur Beurteilung der Querzugfestigkeiten heranzuziehen. Zur Ermittlung der minimalen Rohdichten werden die Rohdichteprofile der einzelnen Querzugproben bestimmt und ausgewertet. Das Rohdichteminima jeder Probe wird dem zugehörigen Querzugwert gegenübergestellt. Erst so lässt sich die Beziehung zwischen Rohdichte und Festigkeit ausblenden und die Spaneigenschaften treten in den Vordergrund.

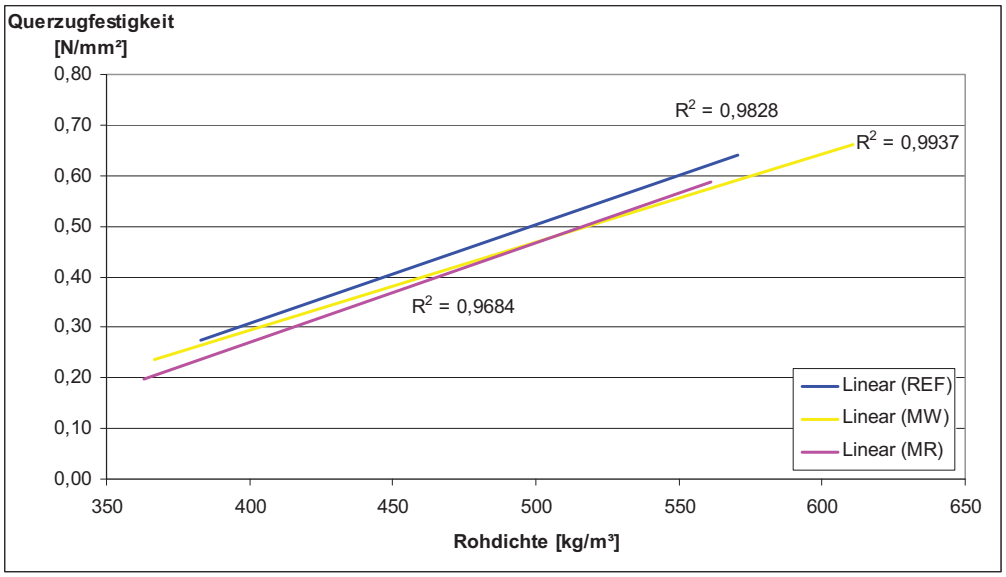

*Abbildung 4.4-7: Vergleich der **Querzugfestigkeiten** für 19 mm dicke, einschichtige Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerwellen- und nach Messerringzerspanung sowie aus Referenzspänen in Relation zur **minimalen** Rohdichte im Querschnitt der Platten.*

Werden die Querzugfestigkeiten mit den Rohdichteminima der Rohdichteprofile korreliert, dann verringert sich die Differenz zwischen den Versuchsreihen aus Küstentannenholz und der Referenzserie (Abbildung 4.4-7).

Es besteht also eine enge Korrelation zwischen dem Rohdichteprofil und der Querzugfestigkeit (PATH et al., 1974). Nach MAY (1983) überlagert der Einfluss der Dichteverteilung im Plattenquerschnitt die Einflüsse der Rohstoffzusammensetzung. Unter der Voraussetzung, dass die Querzugproben mit hoher Wahrscheinlichkeit im Bereich der geringsten Dichte reißen, sind die leicht erhöhten Querzugfestigkeiten auf die Rohstoffkomponenten zurückzuführen. Daraus ist zu schließen, dass nicht allein die höhere Dichte in den Mittellagen im Querschnitt der Referenzplatten ausschlaggebend für die besseren Querzugfestigkeiten ist. Auch die Spangeometrien des Referenzmaterials und die mittlere Rohdichte der einzelnen Späne haben hier einen deutlichen Einfluss. Erläuternd seien hier der geringe Schlankheitsgrad der Späne und die höheren mittleren Spandicken zu nennen, die nach LIIRI et al. (1977) zu besseren Querzugfestigkeiten führen. Hätten die

Referenzplatten bei der Gegenüberstellung der Querzugfestigkeit in Abhängigkeit von der mittleren Rohdichte und der Rohdichtminima das niedrigere Niveau der Platten aus Küstentannenholz erreicht, dann hätte hierfür ausschließlich die höhere Dichte im Plattenquerschnitt als Begründung herangezogen werden können. Es muss hierbei auch berücksichtigt werden, dass die Ausprägung des Rohdichteprofils bei gleichen Herstellungsparametern von den Rohstoffkomponenten selbst bestimmt wird (MAY, 1983). Somit erweist sich die Auswertung der Rohdichteprofile als eine gute Möglichkeit zur Trennung der Einflussparameter für die Querzugfestigkeit.

Ein Zusammenhang zwischen Rohdichteprofil und Biegefestigkeit liegt nach der Betrachtung der Querzugfestigkeiten nahe. PLATH (1971, 1972) gab erste Hinweise auf eine starke Korrelation zwischen Biegefestigkeit, Biege E-Modul und dem Dichteprofil im Plattenquerschnitt. Hier interessieren vor allem die Rohdichtemaxima der Platten, die sich Nahe der Oberfläche der Plattenober- und Unterseite befinden (Abbildung 4.4-4).

Die Werte der Biegefestigkeit über die mittlere Plattenrohdichte zeigen große Unterschiede zwischen allen Varianten (Abbildung 4.4-8). In der Reihenfolge Referenzplatten, Platten aus Küstentannenspänen aus Messerringzerspanung und Platten aus Küstentannenspänen aus Messerwellenzerspanung zeigen die Versuchsreihen jeweils höhere Biegefestigkeiten.

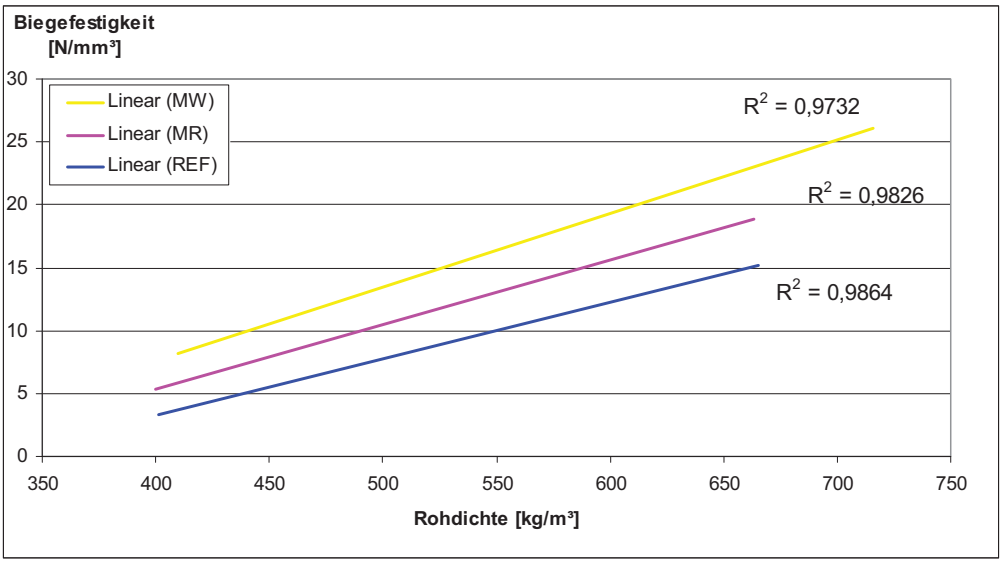

*Abbildung 4.4-8: Vergleich der **Biegefestigkeiten** für 19 mm dicke einschichtige Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerwellen- und nach Messerringzerspanung sowie aus Referenzspänen in Relation zur **mittleren** Plattenrohdichte.*

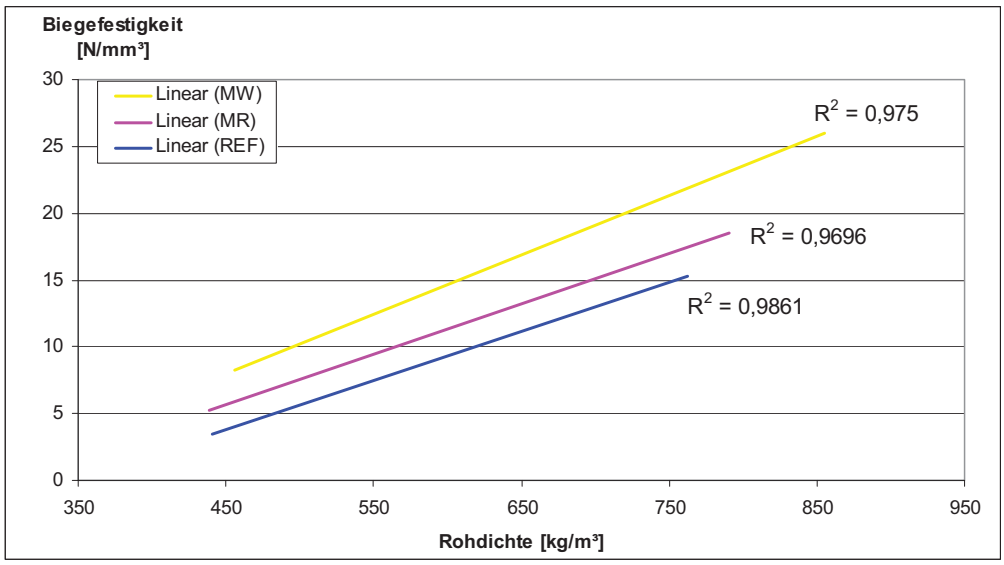

*Abbildung 4.4-9: Vergleich der **Biegefestigkeiten** für 19 mm dicke einschichtige Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerwellen- und nach Messerringzerspanung sowie aus Referenzspänen in Relation zur **maximalen Rohdichte** im Querschnitt der Platten.*

Die Ergebnisse zeigen, dass die Werte der Biegefestigkeit deutlich mit der Dichteverteilung im Querschnitt der Platten in Zusammenhang stehen. Für die Querzugfestigkeit ist ein sehr starker Zusammenhang mit der minimalen Rohdichte im mittleren Bereich des Dichteprofils und für die Biegefestigkeit mit der maximalen Rohdichte im Bereich der Decklagen zu beobachten. Werden die Werte der Biegefestigkeit auf die maximalen Rohdichten im Querschnitt bezogen (Abbildung 4.4-9), dann ergeben sich nur unerhebliche Veränderungen der Biegefestigkeiten aller Plattenvarianten in Relation zueinander. Aufgrund der weiterhin bestehenden Unterschiede zwischen Messerwellenspänen, Messeringspänen und Referenzspänen müssen sowohl Verdichtungsverhältnisse als auch strukturelle Spaneigenschaften eine Rolle spielen. Die Auswertungen der spezifischen Pressdrücke sprechen für einen hohen Einfluss der Späneverdichtung, die sich insbesondere in den Decklagen wiederfindet (vgl. Abbildung 4.4-5).

4.5 Ergebnisse der industriellen Produktionsversuche zur Herstellung von dreischichtigen Spanplatten aus Küstentanne

Mit Hilfe von Industrieversuchen soll einerseits überprüft werden, in wie weit die im Pilotmaßstab gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse in den Industriemaßstab übertragbar sind. Andererseits können darüber hinaus durch Industrieversuche potentielle Probleme erkannt werden, die sich im Labor- und Pilotmaßstab nicht abzeichnen. Es ist von zentraler Bedeutung mittels der Industrieversuche eindeutige und reproduzierbare Ergebnisse zu gewährleisten. Zur Durchführung der geplanten Industrieversuche mussten daher zunächst einige Vorkehrungen an den bestehenden industriellen Anlagen getroffen werden.

Die Spansilos der Industrieanlagen waren während der laufenden Produktion permanent gefüllt, so dass bei der Zuführung neuen Materials keine eindeutige Spantrennung gewährleistet werden konnte. Aufgrund dessen wurde für die Produktionsversuche 1 und 2 das Nassspandosiersilo für Schneidspäne leer gefahren und ausgefegt. Ebenfalls wurde der Grobbunker für die Deckschicht-Nachzerkleinerung sowie die Trockenspansilos Deckschicht/grob und Mittelschicht/fein leer gefahren und ausgefegt. Alle Steuerungsklappen über den Trockenspansilos wurden so eingestellt, dass nur gereinigte Silos befüllt werden konnten.

Die Konzeptionen zu einer versuchsorientierten Plattenproduktion beruhen auf Abstimmungen zwischen wissenschaftlichen Erkenntnissen aus Vorversuchen und industrieller Realisierbarkeit bei gegebener Produktionstechnik. In drei Produktionsversuchen wurde hier ein breites Spektrum hinsichtlich der Rohdichten, Plattendicken und Spansubstitutionsmöglichkeiten abgedeckt. In jedem Produktionsversuch wurden reproduktiv Varianten einer 19 mm dicken Spanplatte mit einer mittleren Rohdichte von 550 kg/m³ hergestellt. Eine Vergleichbarkeit zwischen allen Versuchen konnte so hergestellt werden.

Bei der Begutachtung auf dem Holzplatz erweisen sich die Abschnitte als äußerst geradschaftig und feinastig. Die Abschnitte weisen an den Stirnenden deutliche Farbeinläufe auf, bei denen es sich nicht um einen obligatorischen, vielmehr um einen fakultativen Nasskern handelt (Bild 4-4). Dies bestätigen Untersuchungen an der Universität Göttingen (HAPLA et al., 2009). Im getrockneten Zustand verliert sich der Farbunterschied zwischen Kern und Splint.

Bild 4-3: Küstentannenindustrieholz für den 2. Industrieversuch: links: Anlieferung; rechts: Gesamtmenge

Diese UV-spektroskopischen Untersuchungen haben weiterhin gezeigt, dass keine Veränderungen in der Lignifizierung der einzelnen Zellwandschichten vorliegen sowie kein mikrobieller Abbau der verholzten Zellwände stattfindet. Damit besteht keine Beeinträchtigung der elasto-mechanischen Eigenschaften des Holzes. Das Versuchsholz besitzt damit sehr gute Voraussetzung für eine effiziente Zerspanung mit einer qualitativ hohen Spanausbeute.

Bild 4-4: Fakultativer Nasskern bei Küstentannenholz

4.5.1 Siebanalysen und Schüttgewichte

Die Zerspanung des Versuchsholzes erfolgt in allen Produktionsversuchen nach gleichen Parametern wie in Kapitel 3.8.2 beschrieben wurde. Somit kann ein Vergleich der Siebanalysen zwischen den einzelnen Produktionsversuchen gewährleistet werden. Eine Beurteilung des Einflusses der Holzausgangsfeuchte auf die Spanqualität ist somit ebenfalls möglich.

Weiterhin sollen Analysen von Spansortimenten, die aus verschiedenen Bereichen des Produktionsprozesses stammen, miteinander verglichen werden. So ist eine Bewertung der Verträglichkeit der Küstentannenschneidspäne mit den bestehenden Produktionsmaschinen dokumentierbar. Nach OLDEMEYER (1984) werden die Späne nicht nur in der Beleimungsmaschine, sondern ebenso in Bunkern, Transporteinrichtungen und Streumaschinen zerlegt. Gegenüberstellungen verschiedener Siebanalysen zwischen den Produktionsversuchen aus unterschiedlichen Bereichen der Späneaufbereitung sollen weiterhin klare Tendenzen aufzeigen, inwiefern die eingesetzte Holzart und die bestehende Holzfeuchte ausschlaggebend für eine Nachzerkleinerung während des Produktionsprozesses sein können.

Um den Einfluss der Holzfeuchte auf die qualitative Spanausbeute bei der Zerspanung von Küstentannenholz zu ermitteln, sind in der Abbildung 4.5-1 die Siebanalysen der Messerwellenspäne der drei Produktionsversuche vergleichend gegenübergestellt. Die Späne wurden direkt nach der Zerspanung dem Ausfallschacht entnommen. Die Holzfeuchten wurden nach der in Kapitel 3.8.2 beschriebenen Methode bestimmt und über kontinuierliche Feuchtemessungen der frischen Rohspäne kontrolliert. Die Siebreihen der Küstentannenspäne sind in der Reihenfolge absinkender Holzfeuchten aufgeführt. Die Ausgangsfeuchte für das Versuchsholz des ersten Produktionsversuches lag bei 118 %, für den zweiten Produktionsversuch bei 30 % und für den dritten bei 45 %. Die prozentualen Darrfeuchten der Versuchshölzer sind der Abbildung 4.5-1 beigefügt.

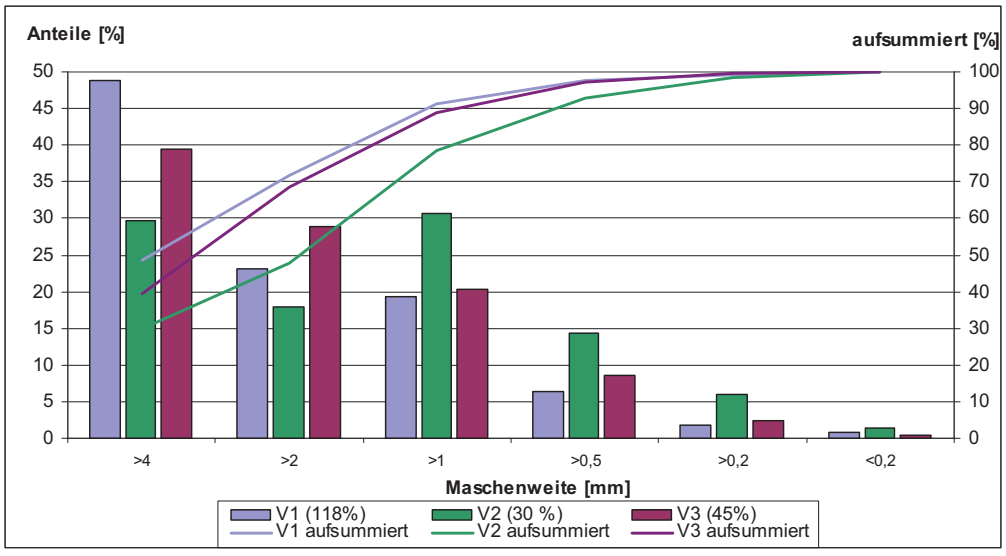

Abbildung 4.5-1: Vergleich der Siebanalysen der Messerwellenspäne (Rohspäne) aus Küstentannenholz aller Produktionsversuche (V1 bis V3) bei verschiedenen Ausgangsfeuchten.

Der Einfluss der Holzfeuchte für den Zerspanungsvorgang hinsichtlich der quantitativen und qualitativen Spanausbeute wird durch die Siebanalysen klar ersichtlich. Mit abnehmender Feuchte kommt es zu einer kontinuierlichen Verschiebung der Spanverteilung hin zu durchschnittlich kleineren Spandimensionen. Deutlich erkennbar ist dieser Zusammenhang bei der Betrachtung der Spanfraktion >4 mm. Parallel steigt der Feinanteil mit sinkender Holzfeuchte deutlich an. Nach KUMAR (1959) ist die Eigenfeuchtigkeit des Holzes zum Zeitpunkt der Zerspanung von ausschlaggebender Wichtigkeit für die Herstellung glatter, dünner und fester Späne, die ihrerseits wieder Einfluss auf die Beleimung, Verpressung und die Platteneigenschaften haben. Die Ausprägung der Spandicke wird weit weniger von der Holzfeuchte beeinflusst als die Spanbreite und Spanlänge, dies ergeben weitere Untersuchungen nach KUMAR (1959). Zur Erlangung hochwertiger Spanausbeuten ist daher eine zeitnahe Verarbeitung des waldfrischen Holzes von großem Vorteil.

Wie bei der Aufführung der Produktionspläne in Kapitel 3.8.2 erwähnt, wurde im dritten Produktionsversuch ein Vergleich zwischen Küstentannenholz und einem Mischsortiment aus Fichten- und Kiefernholz, mit Anteilen zu jeweils 50 %, vorgenommen (Abbildung 4.5-2). Mit einer mittleren Darrfeuchte des Küstentannenholzes von 45 % gegenüber 46 % für das Fichten-/Kiefernholz während der Zerspanung kann ein direkter Vergleich der Spangrößenverteilungen als repräsentativ angesehen werden, insbesondere durch die Auswahl vergleichbarer Holzdimensionen. Zur deutlicheren Darstellung wurden die Siebabstufungen erweitert.

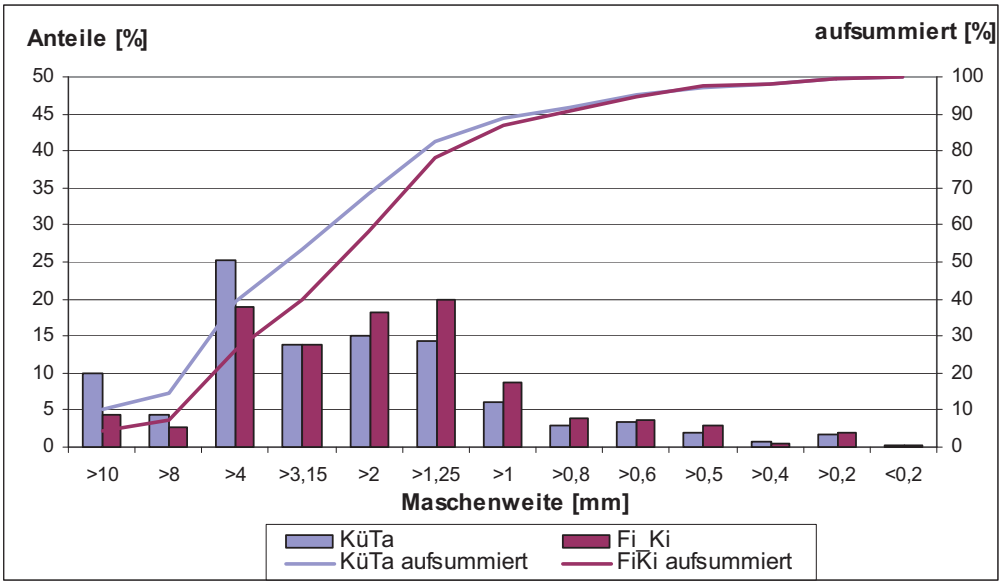

Abbildung 4.5-2: Vergleich der Siebanalysen für Küstentannenspäne und Fichten-/Kiefernspäne nach Messerwellenzerspanung (Produktionsversuch 3).

Die Ergebnisse der Siebanalysen der Rohspäne des dritten Produktionsversuches zeigen ein höheres Aufkommen großflächiger Späne beim Küstentannenmaterial. Zu erkennen sind die deutlich höheren Anteile größerer Späne aus Küstentanne in den Fraktionen >4 mm Maschenweite. Im Bereich <3,15 mm Maschenweite sind größere Spananteile bei Fichten-/Kiefernholz zu verzeichnen. Beide Siebkennlinien zeigen einen tendenziell ähnlichen Verlauf. Die Spandicken liegen für beide Spanmaterialien im Mittel bei 0,3 mm. Dadurch ergibt sich ein höherer Schlankheitsgrad bei Küstentannenspänen, der sich positiv auf die Biegefestigkeit und die Abhebefestigkeit auswirken kann.

Bei der Betrachtung der Mittelschichtspäne vor der Beleimung sind die tendenziellen Unterschiede, die direkt nach der Zerspanung zu erkennen waren, auch hier wieder zu finden (Abbildung 4.5-3). Sehr deutlich ist vor allem der Unterschied zwischen dem ersten Produktionsversuch gegenüber den anderen beiden. Die Referenzspäne wiesen deutlich geringere Spandimensionen auf.

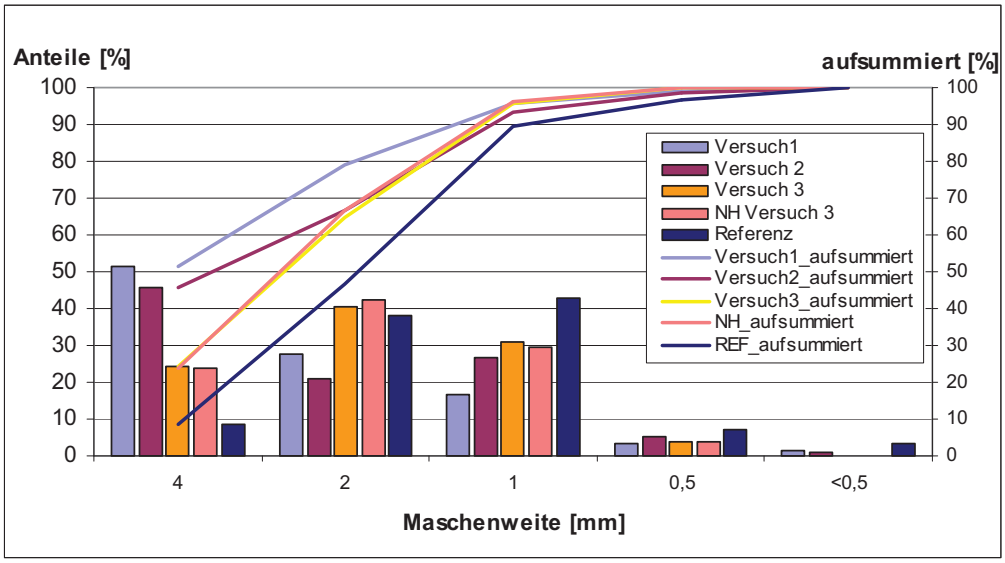

Abbildung 4.5-3: Vergleich der Siebanalysen aller unbeleimten Mittelschichtspäne der Produktionsversuche 1 bis 3.

Die Verläufe der aufsummierten Anteile der beleimten Mittelschichtspäne hingegen relativieren die zuvor genannten Unterschiede vor der Beleimung (Abbildung 4.5-4).

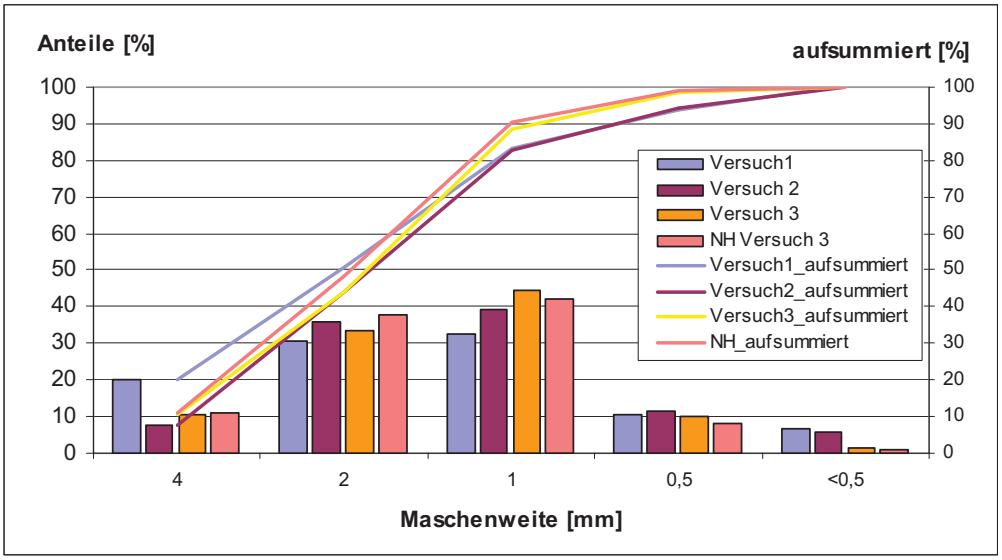

Abbildung 4.5-4: Vergleich der Siebanalysen aller beleimten Mittelschichtspäne der Produktionsversuche 1 bis 3

Die Siebanalyse sortiert vorwiegend nach der Spanbreite (MAY, 1978). Während der Beleimung brechen die Späne vorwiegend längs zur Faser, so dass die Nachzerkleinerung hauptsächlich eine Verringerung der Spanbreite darstellt. Bedingt werden diese bevorzugten Bruchstellen durch den orthotropen Aufbau des Holzes (DUNKY und NIEMZ, 2002). Nach MAY (1978) ist daher die Siebanalyse ein geeignetes Verfahren zur Quantifizierung des Effekts der Nachzerkleinerung. Die Spandicke wird praktisch nicht verändert. Das Ausmaß einer Verkürzung der Späne während der Beleimung ist nur bedingt auszumachen. Nach Untersuchungen des schwedischen Holzforschungsinstitutes STFI kommt es zu einer erheblichen Reduzierung der Spanlänge während der Beleimung mit schnell laufenden Ringmischern (OLDEMEYER, 1984).

Es ist anzunehmen, dass entgegen den Aussagen von MAY (1978) sehr dünne, lange Späne aufgrund der hohen Scherkräfte während der Beleimung bevorzugt quer zur Faser brechen. Eine Verkürzung der Späne und damit eine Reduzierung des Schlankheitsgrades haben eine weitaus größere Bedeutung für die Ausprägung der Platteneigenschaften als eine Verringerung der Spanbreite. ENGELS (1983) unterteilt das Spangut in „gesunde“ und „kranke“ Späne. Kranke Späne besitzen nicht mehr die ursprüngliche Festigkeit des Holzes. Der Autor unterteilt kranke Späne in weitere Kategorien, die mehr oder minder einer Beanspruchung im Beleimungsmischer unterliegen. Im Weiteren relativiert er die Nachzerkleinerung während der Beleimung, da sie teilweise erwünscht sein kann. Er gibt an, dass vor allem hinsichtlich der Querzugfestigkeiten kleinflächigere Mittelschichtspäne von Vorteil sind.

Die nachfolgenden Graphiken (Abbildung 4.5-5 und Abbildung 4.5-6) zeigen die jeweilige Spanzusammensetzung der Deckschichtspäne aller Produktionsversuche. Ausgenommen sind hier die Versuchreihen der Produktionsversuche 1 und 2, die in Abmischung mit anderen Spansortimenten hergestellt wurden. Die Spanproben wurden direkt vor der Beleimung der Bandwaage entnommen.

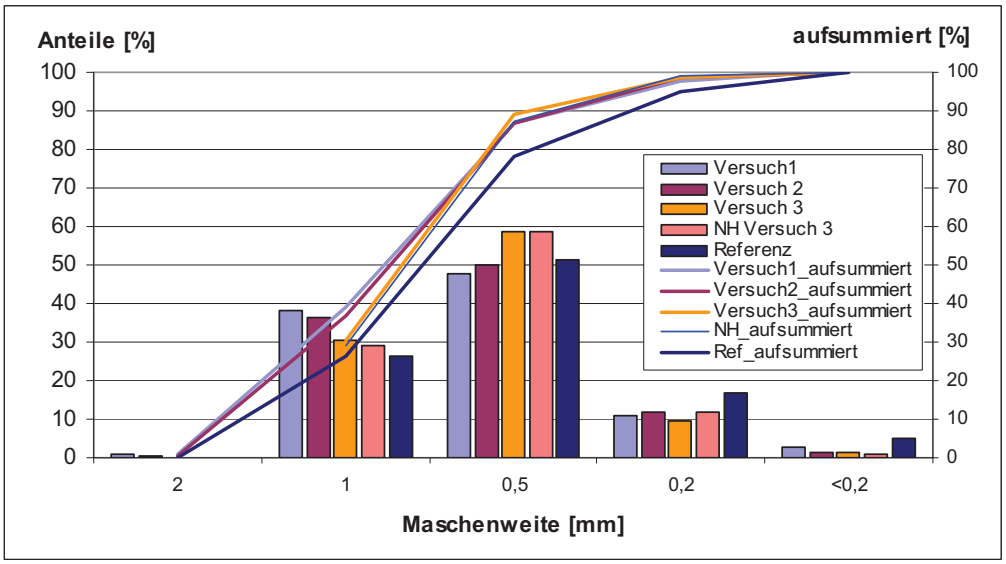

Abbildung 4.5-5: Vergleich der Siebanalysen aller unbeleimten Deckschichtspäne der Produktionsversuche 1-3.

Bei der direkten Gegenüberstellung der Spanzusammensetzungen der Produktionsversuche 1 und 2 zeigt sich neben der oben aufgeführten Verschiebung der Mittelschichtspäne auch eine Verschiebung der Deckschichtspäne hin zu einer geringeren durchschnittlichen Spangröße einhergehend mit einer reduzierten Holzfeuchte während der Zerspanung. Obwohl die Einstellungen zur Spanseparierung mittels Taumelsiebe und Windsichter in beiden Versuchen gleich waren, so können diese Unterschiede aufgrund der unterschiedlichen, massenspezifischen Oberfläche, erklärt werden. Dadurch kommt es zu einer Verschiebung des Sichteffekts. Vorteilhaft ist die einheitliche Rohdichte der Späne, so dass bei optimal eingestellter Luftgeschwindigkeit der Sichteffekt konstant hoch bleibt (RACKWITZ, 1962, 1964). Im dritten Produktionsversuch lag der Anteil der Schneidspäne bei 39 %. Daher ist der Einfluss der Schneidspäne auf die Größenverteilung der Deckschichtspäne zwar erkennbar, aber deutlich geringer als bei den zuvor genannten Produktionsversuchen.

Im Gegensatz zur Veränderung der Spangrößen der Mittelschichtspäne während der Beleimung, erweisen die Spanverteilungen der beleimten Deckschichtspäne kaum Veränderungen zu den unbeleimten (Abbildung 4.5-6).

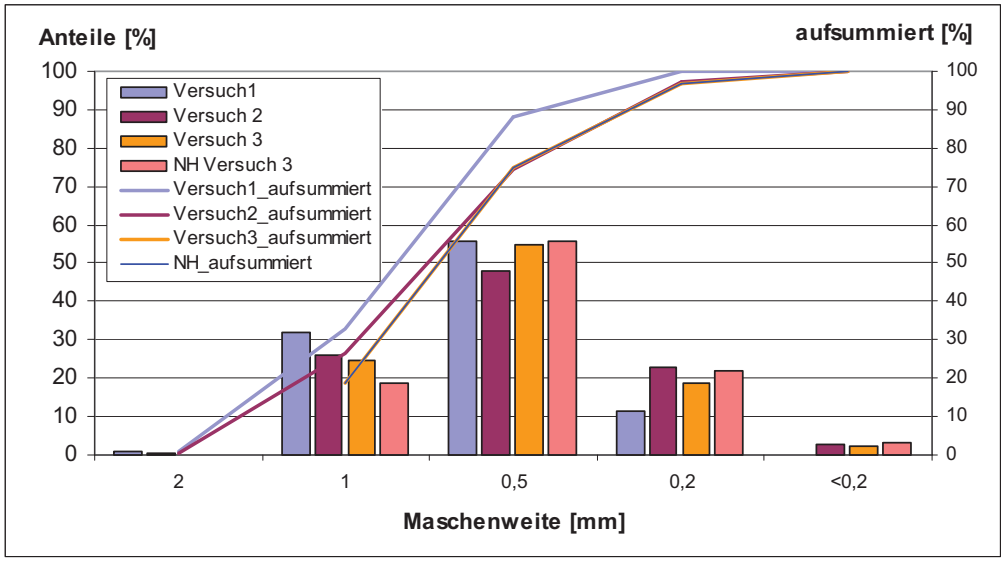

Abbildung 4.5-6: Vergleich der Siebanalysen aller beleimten Deckschichtspäne der Produktionsversuche 1 bis 3.

Werden die beleimten und unbeleimten Spanmaterialien der gleichen Mittelschicht gegenübergestellt, dann wird die starke Nachzerkleinerung der Späne während der Beleimung deutlich (Abbildung 4.5-7 bis Abbildung 4.5-9). Wie zuvor in der Abbildung 4.5-4 zu sehen, haben die beleimten Mittelschichtspäne aller Versuche eine vergleichbare Spangrößenverteilung. Je höher die mittlere Spangröße vor der Beleimung ist, desto größer ist die relative Nachzerkleinerung während der Beleimung. Vor diesem Hintergrund scheint es zunächst von untergeordneter Bedeutung in welcher konkreten Ausprägung letztendlich die Spanverteilung vor der Beleimung ausfällt.

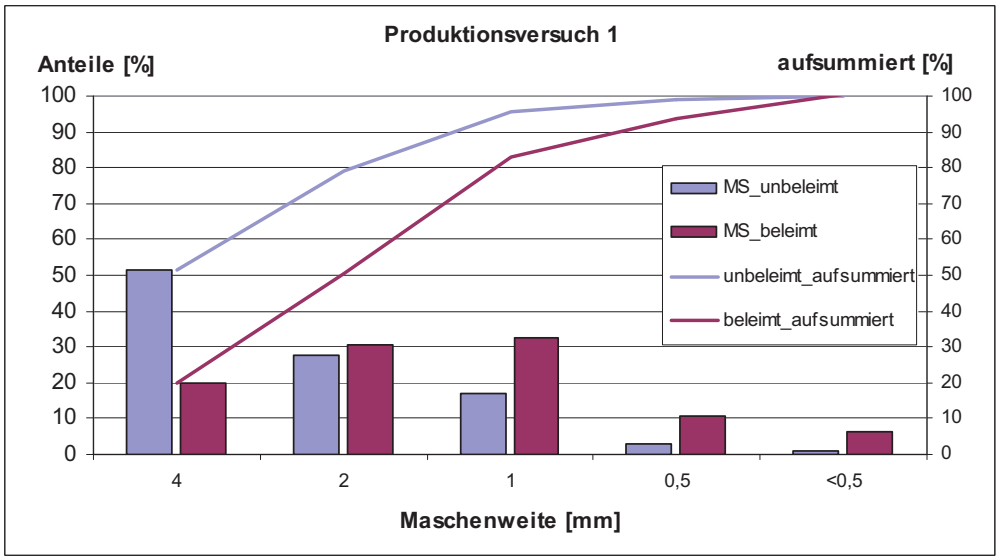

Abbildung 4.5-7: Vergleich der Siebanalysen der Mittelschichtspäne vor und nach der Beleimung (Produktionsversuch 1).

Der Vorteil dieser Homogenisierung der Mittelschichtspäne ist die Möglichkeit der Nutzung eines breiten Spektrums an Spandimensionen der Mittelschichtspäne vor der Beleimung. Somit können die sehr verschiedenen Ausgangsmaterialien, die bei der herkömmlichen Spanplattenherstellung gemeinsam eingesetzt werden, zu Spanmaterialien mit annähernd gleichen Eigenschaften gelenkt werden.

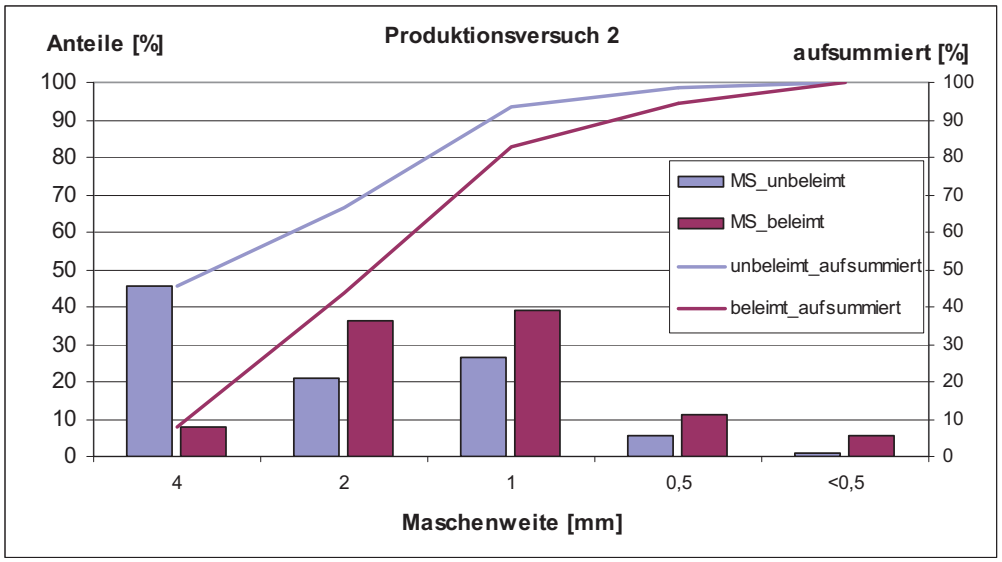

Abbildung 4.5-8: Vergleich der Siebanalysen der Mittelschichtspäne vor und nach der Beleimung (Produktionsversuch 2).

Eine konkrete Steuerung der Spangeometrien zur Ausbildung spezifischer Festigkeitseigenschaften ist somit nur bedingt möglich. Möglichkeiten der Einflussnahme bei vorhandenen Beleimmischern ist nur über eine deutliche Veränderung der Spandicke zur erreichen.

Für die Nutzung von hochwertigen Schneidspänen ist der Einsatz von schnell laufenden Ringmischern daher nur bedingt geeignet, da gleichbleibend homogene Spaneigenschaften mit sehr guten Voraussetzungen für hohe Plattenfestigkeiten nicht optimal genutzt werden können. Eine spanschonende Beleimung mit langsam laufenden Beleimmischern, wie sie bei Strands und Wafers eingesetzt werden, wäre in diesem Zusammenhang eine zu bevorzugende Alternative. Nach OLDEMEYER (1984) kann von einer spanschonenden Beleimung gesprochen werden, wenn die Spanoberfläche erhalten und die Spanzerstörung auf ein Mindestmaß reduziert wird.

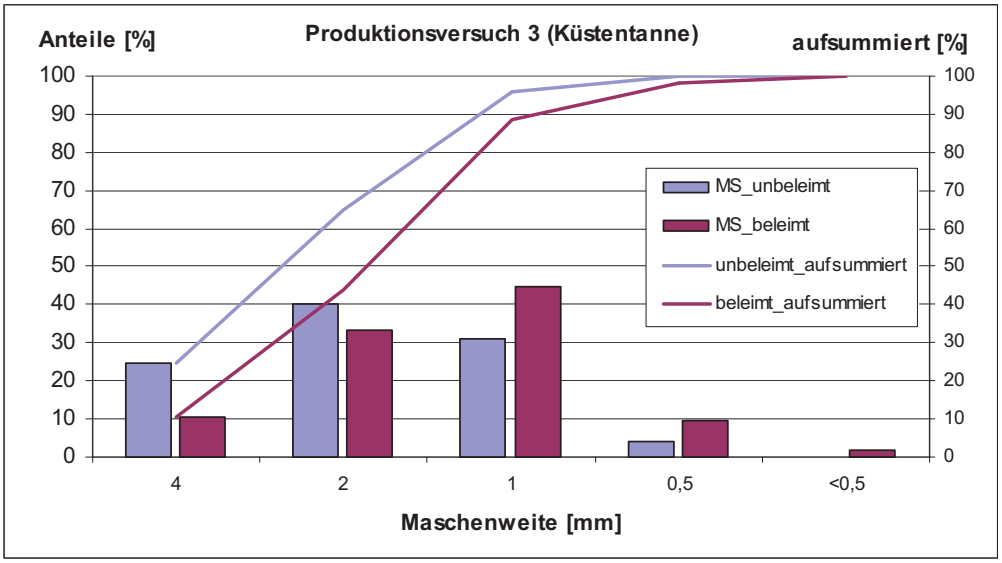

*Abbildung 4.5-9: Vergleich der Siebanalysen der Mittelschichtspäne aus **Küstentanne** (Anteil 39 %) vor und nach der Beleimung (Produktionsversuch 3).*

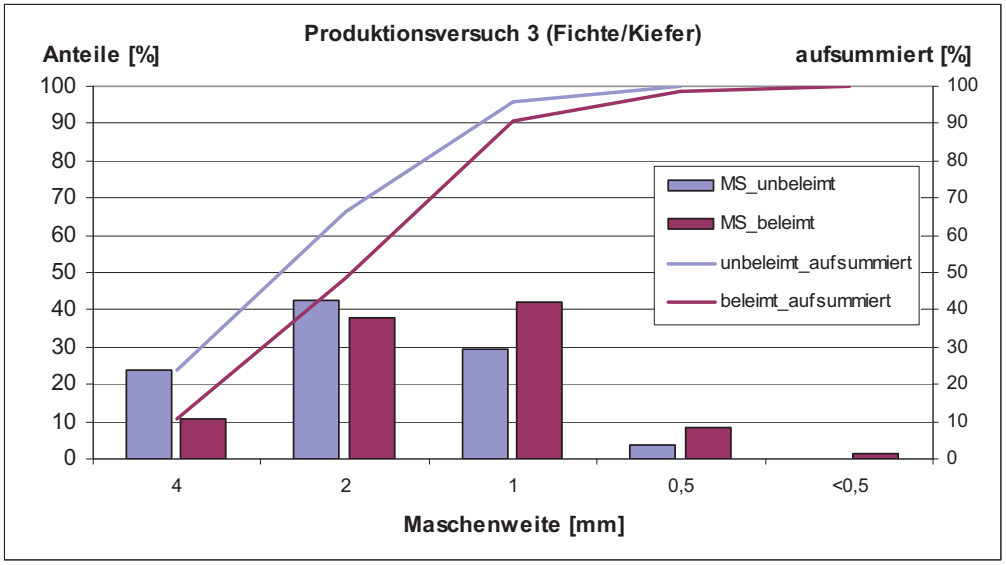

*Abbildung 4.5-10: Siebanalysen der Mittelschichtspäne aus **Fichte-/Kiefer** (Anteil 39 %) vor und nach der Beleimung (Produktionsversuch 3).*

Zum Zwecke der Ermittlung der spezifischen Eigenschaften des Küstentannenholzes stellt diese Homogenisierung der Spandimensionen den entscheidenden Vorteil dar, dass diese zur Beurteilung der Platteneigenschaften teilweise ausgegrenzt werden können. Faktoren wie Rohdichte und Oberflächeneigenschaften der Späne treten so in den Vordergrund.

In der Folgerung geben die verschiedenen Schüttgewichte aus unterschiedlichen Bereichen des Produktionsprozesses geeignete Hinweise zur Differenzierung der Spanmaterialien bezüglich ihrer Auswirkungen auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Platten (Abbildung 4.5-11). Diese Grafik macht deutlich, dass sowohl die

Spangrößenverteilung als auch das spezifische Gewicht der Späne einen Einfluss auf das Schüttgewicht haben.

Die Auswirkungen der Spanrohdichten zeigen sich insbesondere bei der Gegenüberstellung der beiden Versuchsreihen aus Küstentanne und Fichten-/Kiefernholz im dritten Produktionsversuch. Die Siebanalysen der unbeleimten und beleimten Mittelschichtspäne wiesen hier nahezu identische Spanverteilungen auf (vgl. Abbildung 4.5-4 und Abbildung 4.5-5). Trotz des geringen Schneidspananteils von 39 % besitzen die Mitteschichtspäne mit anteiligen Küstentannenspänen ein erkennbar geringeres Schüttgewicht im Vergleich zu denen mit Fichten-/Kiefernspänen. Der Einfluss der Spangrößenverteilung zeigt sich hier besonders bei dem Vergleich der Rohspäne aus Küstentanne des ersten und des dritten Produktionsversuches. Der deutlich geringere Anteil grober Späne im dritten Versuch führt zu einem höheren Schüttgewicht, dies bei annähernd gleichen Spandicken.

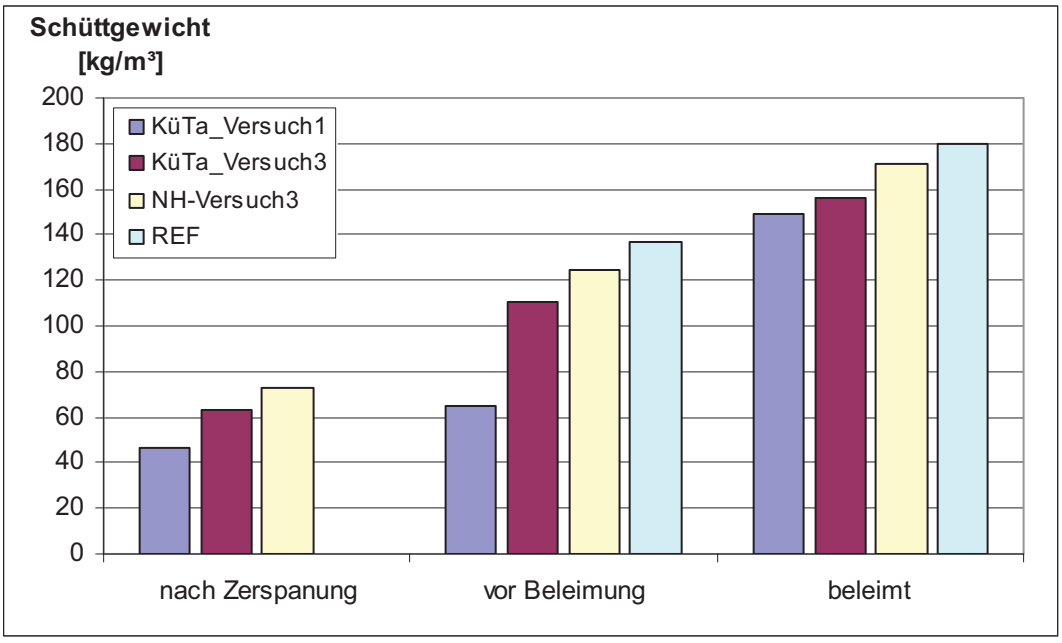

*Abbildung 4.5-11: Vergleich der **Schüttgewichte** der Rohspäne (Produktionsversuch 1 und 3) aus Küstentannenholz und aus Fichten-/Kiefernholz (Produktionsversuch 3) und der Mittelschichtspäne der gleichen Versuche vor und nach der Beleimung sowie die Schüttgewichte der Referenzspäne vor und nach der Beleimung*

Die Gründe für eine Veränderung der Schüttgewichte vor und nach der Beleimung wurden bereits bei Darstellung der Siebanalysen angesprochen (vgl. auch Kap 2.5). Ausschlaggebend ist hier eine Reduktion der Spanbreite und der Spanlänge, wobei die Spanbreite aufgrund des orthotropen Aufbaus des Holzes bevorzugt verringert wird. (ENGELS, 1959).

4.5.2 Eigenschaften von industriell hergestellten, dreischichtigen Spanplatten aus Küstentannenschneidspänen

Die Produktionsversuche 1 und 2 wurden jeweils im direkten Anschluss einer Wartungsschicht durchgeführt. So konnten die entsprechenden Dosiersilos und Spanbunker leer gefahren und ausgefegt werden. Eine Plattenherstellung aus 100 % Küstentannenschneidspänen konnte so gewährleistet werden. Das im ersten Versuch eingesetzte Küstentannenholz hatte eine Ausgangsfeuchte von 118 %. Hohe Holzfeuchten begünstigen die Bildung großflächiger, dünner Schneidspäne bei der Messerwellenzerspanung (DEPPE UND ERNST, 2000). Nachteil dieses Effekts war eine sporadisch auftretende Brückenbildung der Späne im Schneidspanbunker. Die Spanbrücken traten zumeist gemeinsam mit hohen Bunkerfüllständen auf. Probleme dieser Art tauchten in den nachfolgenden Produktionsversuchen aufgrund geringerer Holzausgangsfeuchten und niedrigerer Bunkerfüllstände nicht mehr auf.

4.5.2.1 19 mm Leichtspanplatten aus Küstentanne

Der Produktionsplan des ersten Versuches beinhaltet eine schrittweise Erhöhung der Plattenrohdichte, beginnend mit 350 kg/m, über 450 kg/m³ auf schließlich 550 kg/m³. Bei der Versuchseinstellung zur ersten Variante (KüTa**1***2*) mit einer Solldichte von 350 kg/m³ konnte die Sollstärke der Rohplatte von 19,4 mm nicht erreicht werden. Ausschlaggebend war das hohe Gewicht der Pressbänder der CONTIROLL®, die ohne weiteren Pressdruck den Spankuchen auf 18 mm Dicke zusammenpresst hatte. Erst bei einer Erhöhung der Plattenrohdichte auf 380 kg/m³ konnte die Sollstärke von 19,4 mm eingehalten werden.

Im weiteren Verlauf der Produktion wurde eine ergänzende Erhöhung der Rohdichte auf 650 kg/m³ (Variante KüTa**1***5*) in Abmischung mit Buchenschneidspänen durchgeführt. Der prozentuale Gewichtsanteil der Buchenspäne lag hier bei 50 %. Bei dieser Versuchseinstellung mussten alle Pressrahmen der CONTIROLL® auf maximalen Druck eingestellt werden. Die ersten Versuchsplatten waren zu dick oder sind gespalten. Erst nach einer Reduzierung der Vorschubgeschwindigkeit beziehungsweise des Pressfaktors konnten die Sollwerte gehalten werden. Vor dem Hintergrund einer durchschnittlichen Rohdichte von ungefähr 670 kg/m³ für 19,4 mm dicke Standardplatten kann diese Erkenntnis durchaus von Bedeutung sein. Ähnliche Erfahrungen konnten bei der industriellen Verarbeitung von

Pappelholz gemacht werden. Bei diesem Versuch traten Spalter ab einer Rohdichte von 625 kg/m³ auf (BRINKMANN, 1982).

Im folgenden Abschnitt werden die mechanisch-technologischen Eigenschaften der 19 mm dicken Versuchsplatten aus 100 % Küstentannenspänen aufgeführt. Dies sind aus dem Produktionsversuch 1 die Versuchsreihen KüTa**1***2* bis KüTa**1***4* und die Versuchsreihen KüTa**2***1* sowie KüTa**2***2* aus dem Produktionsversuch 2 (Tabelle 3-7 und Tabelle 3-8). Zur vergleichenden Beurteilung der Festigkeitswerte ist eine Referenzreihe (REF**1***1*) mit einer Rohdichte von 530 kg/m³ während des Produktionsversuches 1 angefertigt worden. Neben diesen industriell produzierten Referenzplatten sind in Abbildung 4.5-12 bis Abbildung 4.5-18 weitere Referenzserien aufgeführt, die im Technikumsmaßstab hergestellt wurden und ein breiteres Rohdichtespektrum abdecken. Für beide Referenzserien wurde das gleiche Spanmaterial aus industriell aufbereiteten Spansortimenten verwendet. Ein direkter Vergleich der Herstellungsbedingungen im Pilotmaßstab mit den industriellen Produktionsbedingungen wird somit möglich.

Querzugfestigkeit

Die in Abbildung 4.5-12 dargestellten Querzugfestigkeiten der Versuchsreihen aus Küstentannspänen zeigen eine sehr gute Übereinstimmung der auf die Rohdichte bezogenen Werte für die Produktionsversuche 1 und 2.

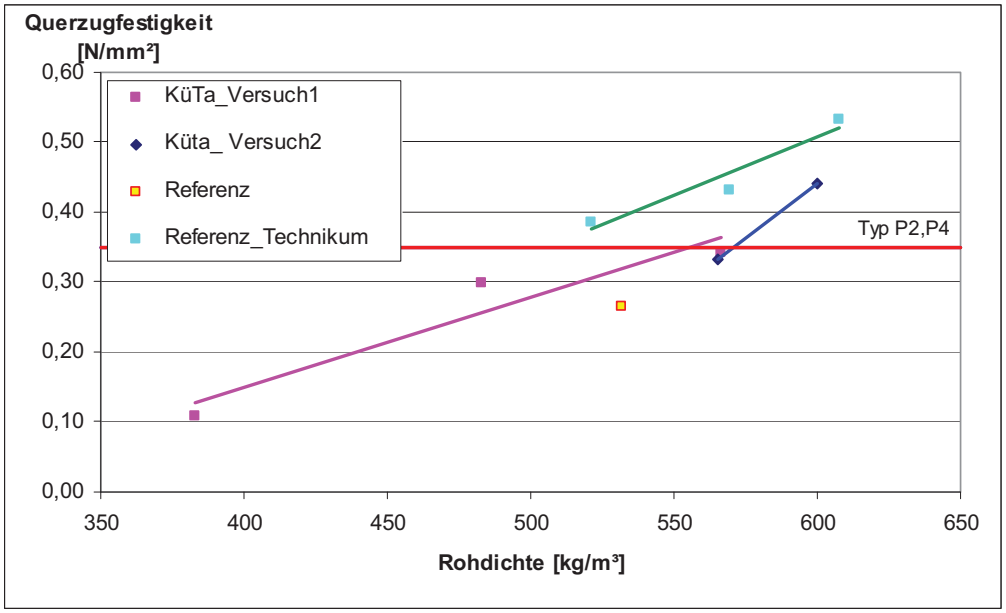

*Abbildung 4.5-12: Vergleich der **Querzugfestigkeiten** für 19 mm dicke, dreischichtige Spanplatten aus 100 % Küstentannenschneidspänen und der Referenzplatten.*

Bei Gegenüberstellung der Siebanalysen der Mittelschichtspäne des ersten und des zweiten Produktionsversuchs verdeutlicht sich eine Verschiebung der mittleren Spangröße (vgl. Abbildung 4.5-3 und Abbildung 4.5-4). Die Küstentannenspäne des ersten Produktionsversuches sind im Mittel erheblich größer dimensioniert bedingt durch die höhere Holzausgangsfeuchte von 118 % gegenüber 30 % im zweiten Produktionsversuch. Die mittlere Querzugfestigkeit der industriell hergestellten Referenzreihe ist deutlich unterhalb der linearen Regression zwischen den Querzugfestigkeiten der Platten aus Küstentannenspänen. Hingegen zeigen die im Technikum angefertigten Referenzplatten höhere Festigkeiten. Dies ist auf eine spanschonende Beleimung im Pilotmaßstab zurückzuführen.

Die bestimmenden Einflüsse der vorliegenden Ergebnisse sind vor allem die Spangrößenverteilungen und die Spangeometrien in den Mittelschichten, die entscheidend während der Beleimung geprägt werden (ENGELS, 1978, 1983; OLDEMEYER, 1984). Deutlich wird dies bei dem Vergleich der beiden Referenzserien, die mit gleichem Ausgangsmaterial auf industrieller Seite mit schnell laufenden Ringmischern und auf Technikumsebene mit spanschonender Beleimung im Umwälzverfahren hergestellt wurden. Gerade die Mittelschichtspäne reagieren empfindlich auf starke Scherkräfte wie sie bei Ringmischern auftreten (OLDEMEYER, 1984**)**, die sich hier durch eine starke Zerkleinerung in einer Erhöhung des Schüttgewichts bemerkbar machen. Die einhergehende Senkung des Verdichtungsverhältnisses führt gerade bei der Herstellung von leichten Platten zu Festigkeitseinbußen.

Daher sind die Werte der Spanplatten aus Küstentannenspänen als sehr positiv anzusehen, nicht zuletzt vor dem Hintergrund, dass ein erhöhter Einsatz von Schneidspänen in der Mittelschicht zu niedrigeren Querzugfestigkeiten führen kann (LIIRI, 1977). Auch ENGELS (1983) bestätigt dieses Phänomen und führt diesen Sachverhalt auf eine örtliche Verminderung der Streudichte und auf eine unregelmäßige Beleimung bei einer weit überrepräsentativen Anzahl großflächiger Späne zurück. Die Vorteile der Küstentannenspäne können somit auf das Schüttgewicht beziehungsweise auf die Streudichte des Spanmaterials zurückgeführt werden. Inwiefern die Oberflächenstruktur der Späne einen Einfluss auf die Querzugfestigkeiten hat, kann hier nicht abschließend beurteilt werden.

Biegefestigkeit

Die Biegefestigkeit ist eine der wichtigsten baustatischen Eigenschaften und korreliert stark mit dem Biege-Elastizitätsmodul (BRINKMANN, 1982). Die Vorzüge des Küstentannenholzes in Verbindung mit der Verwendung von Schneidspänen zeigen sich in den Resultaten der

Biegeprüfung (Abbildung 4.5-13). Die Biegefestigkeiten sind hier deutlich höher als die der Referenzplatten. Dabei wird die Mindestanforderung für P2-Platten nach DIN EN 312 von 13 N/mm² bei einer Rohdichte im Bereich von 530 kg/m³ erreicht.

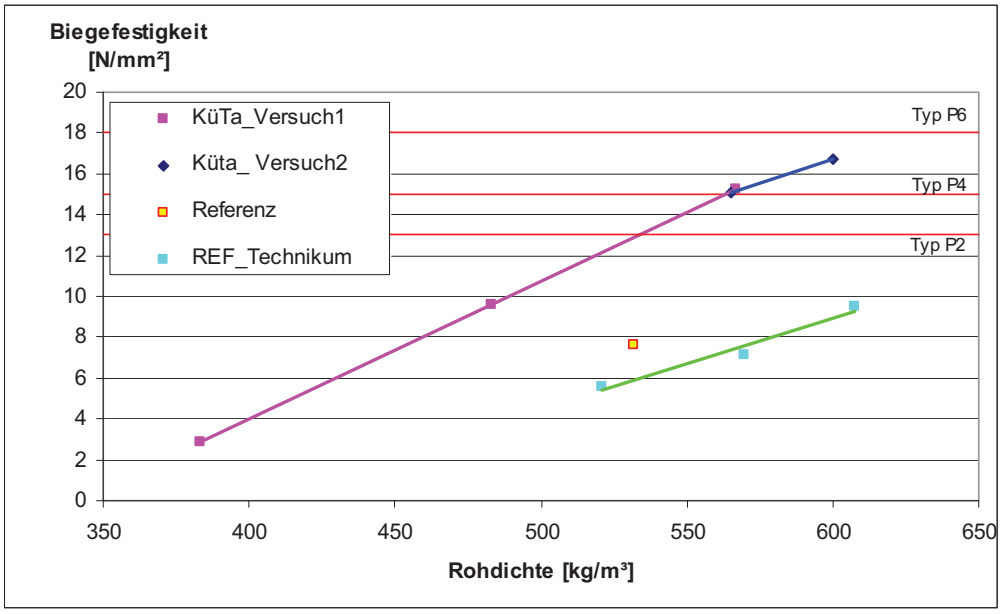

*Abbildung 4.5-13: Vergleich der **Biegefestigkeiten** für 19 mm dicke, dreischichtige Spanplatten aus 100 % Küstentannenschneidspänen und der Referenzplatten.*

Die Referenzserien übersteigen den Normwert für P2-Platten bei ca. 670 kg/m³. Diese Rohdichte stellt auch die üblich angenommene Rohdichte für industriell produzierte, 19 mm dicke P2-Platten dar. Somit ist die Biegefestigkeit der limitierende Faktor für Platten zur Verwendung im Trockenbereich zur Erlangung der jeweiligen Mindestanforderungen der verschiedenen Plattentypen nach DIN EN 312. Ausführliche Darstellungen zur Biegefestigkeit und zum Biege-E-Modul verschiedener industriell hergestellter Spanplatten finden sich bei BOEHME (1993) und GRESSEL (1981).

Die erheblichen Unterschiede zwischen den Versuchsserien und den Referenzen haben ihre Begründung im hohen Schlankheitsgrad und dem geringen Schüttgewicht der Deckschichtspäne aus Küstentannenholz. Die ermittelten Schüttgewichte mit 175 kg/m³ der beleimten Küstentannenspäne gegenüber 204 kg/m³ der beleimten Referenzspäne verdeutlichen die Unterschiede. Daraus ergibt sich ein besseres Verdichtungsverhältnis in der Deckschicht für die Versuchsplatten aus Küstentannenholz. Die Rohdichteprofile der Versuchsplatten aus Küstentanne zeigen zudem höhere Rohdichtemaxima in Relation zur mittleren Rohdichte gegenüber den Referenzplatten bei gleichen Herstellungsparametern (Abbildung 4.5-14). Gerade die Biegefestigkeit korreliert sehr stark mit den Eigenschaften der Deckschicht. Als wesentliche Einflussfaktoren seien neben der Dichte der Deckschicht der

Schlankheitsgrad der Späne sowie die Verdichtung der Deckschichtspäne zu nennen. Gerade bei kontinuierlichen Pressverfahren ist es möglich, Platten mit verbessertem Rohdichteprofil zu erzeugen (SOINÉ, 1984).

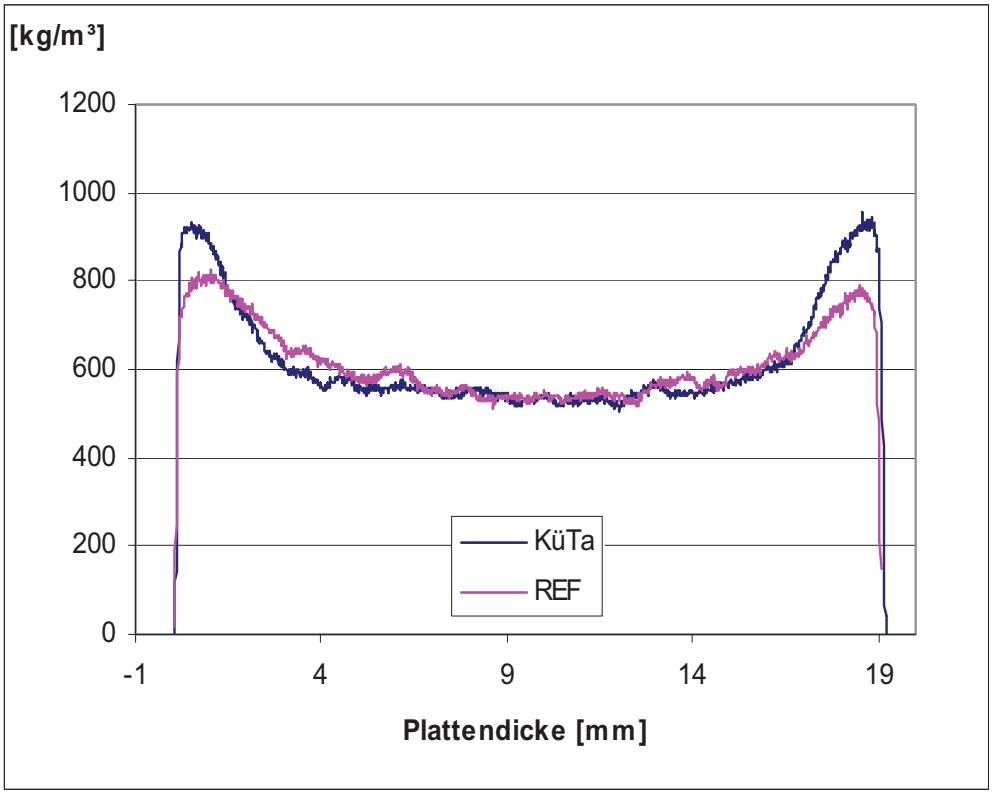

*Abbildung 4.5-14: Vergleich der **Rohdichteprofile** einer 19 mm dicken, dreischichtigen Spanplatte aus Küstentannenholz mit einer aus Referenzspänen, hergestellt auf einer kontinuierlich arbeitenden Presse (CONTIROLL®, Siempelkamp). Beide Platten haben eine mittlere Rohdichte von 610 kg/m³ und sind geschliffen.*

Sehr aufschlussreich ist die gute Übereinstimmung der Produktionsversuche 1 und 2 bezüglich der linearen Fortführung der Biegefestigkeiten über der Rohdichte. Obwohl die Ausgangsfeuchten des zerspanten Küstentannenholzes große Unterschiede in den Produktionsversuchen aufwiesen, so konnte hier kein direkter Einfluss auf die Qualität der Deckschichtspäne respektive auf die Qualität der daraus produzierten Platten festgestellt werden. Der Vergleich der Siebanalysen der Deckschichtspäne aus Küstentannenholz des ersten und zweiten Produktionsversuches verdeutlicht eine geringfügige Verkleinerung der mittleren Spangröße der Deckschichtspäne des zweiten Industrieversuches. Diese haben jedoch keine ersichtlichen Auswirkungen auf die Biegefestigkeit. Es ist zu berücksichtigen, dass Veränderungen der Festigkeiten durch die Verwendung verschiedener Leimtypen bei Gegenüberstellung der ersten beiden Produktionsversuche auftreten können. Laut

Werksleitung sind die Unterschiede der verwendeten Leime hinsichtlich ihrer Eigenschaften zu vernachlässigen.

Die Qualität der Deckschicht spiegelt sich auch in den Ergebnissen zur Prüfung der Abhebefestigkeit wieder. Die Abhebefestigkeit stellt eines von mehreren Kenndaten zur Beschichtungsfähigkeit der Platten dar und korreliert stark mit der Deckschichtrohdichte, deren Spanform und dem Festharzanteil (BRINKMANN, 1982).

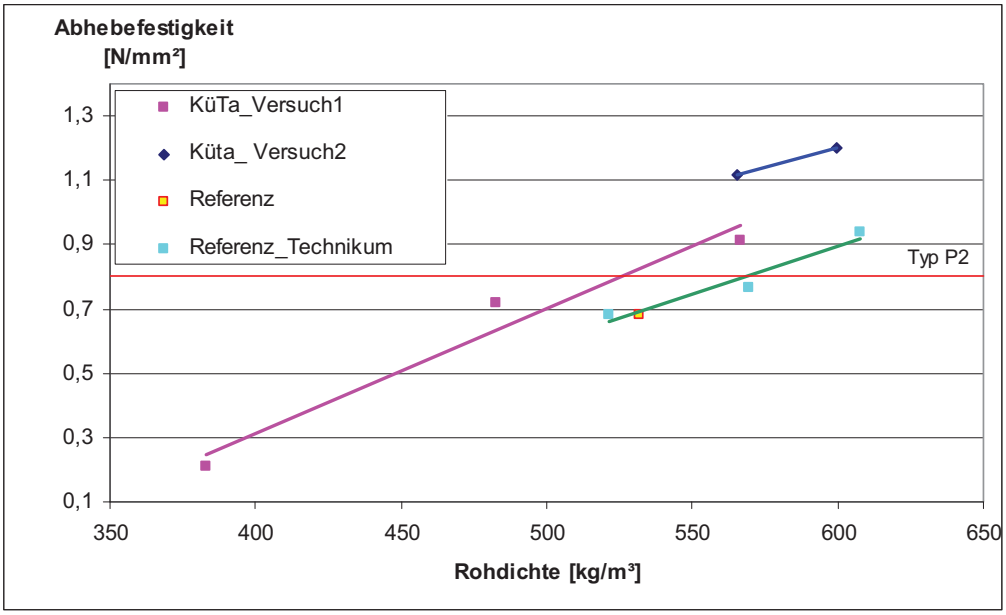

*Abbildung 4.5-15: Vergleich der **Abhebefestigkeiten** für 19 mm dicke, dreischichtige Spanplatten aus 100 % Küstentannenschneidspänen und der Referenzplatten*

Ein erheblicher Einfluss der Mittelschicht auf die Prüfergebnisse war während der Durchführung des Prüfverfahrens deutlich zu erkennen. Somit überschneiden sich zu einem gewissen Teil die Abhebe- mit den Querzugeigenschaften. Dennoch zeigen die Platten aus Küstentannenspänen höhere Abhebefestigkeiten und erfüllen die Mindestanforderung für P2-Platten nach DIN EN 312 bei einer Plattenrohdichte von 530 kg/m³ (Abbildung 4.5-15). Vergleichend zur Biegefestigkeit ist die Überlegenheit der Platten aus Küstentannenspänen allerdings erkennbar geringer. Neben dem Vorteil des günstigen Verdichtungsverhältnisses ergeben sich auch höhere Rohdichtemaxima in den Deckschichtlagen vergleichend zur Referenzserie (vgl. Abbildung 4.5-15). Diese zwei Faktoren können die Nachteile der Schneidspäne hinsichtlich der Beanspruchung von Zugkräften quer zur Plattenebene mehr als nur ausgleichen.

Dickenquellung

Die Untersuchungen zu den Quelleigenschaften aller hier aufgeführten Versuchsreihen nach 24 Stunden Wasserlagerung zeigen steigende Quellwerte bei Erhöhung der Rohdichte (Abbildung 4.5-16). Die industriell produzierte Referenzserie liegt dabei auf gleichem Niveau mit den Versuchsserien des ersten Produktionsversuches. Geringere Quellungen ergeben sich bei den im Technikumsmaßstab angefertigten Platten. Der Zusammenhang, dass mit steigender Rohdichte auch die Dickenquellung größer wird, wurde in der Literatur mehrmals dargestellt (STEGMANN UND KRATZ, 1967; HANNA et al., 1962; ROFFAEL UND RAUCH, 1972). Auf der anderen Seite werden Untersuchungen aufgeführt, die zu keinen eindeutigen Zusammenhängen zwischen Rohdichte und Dickenquellung gelangen (SUCHSLAND, 1973; LEHMANN UND HEFTY, 1973; STEWART UND LEHMANN, 1973). STEGMANN UND KRATZ (1967) unterscheiden zwischen der Deformationsquellung und der reinen Holzquellung. Je nach Verdichtungsgrad der Späne werden die Späne während des Pressvorgangs unterschiedlich stark deformiert (SCHNEIDER et al., 1982).

Nach SCHNEIDER et al. (1982) kommt es zwangsläufig zu entsprechenden Veränderungen in der Porenstruktur der Holzbestandteile, die zu erhöhten Rückstellspannungen der deformierten Holzstruktur in den Spänen führen. Die Beeinflussung der Dickenquellung aufgrund der Rückstellspannungen ist bei entsprechend hohen Rohdichten beziehungsweise Verdichtungsgraden größer als die reine Holzquellung. Aufgrund der geringen Schüttgewichte der Deck- und Mittelschichtspäne aus Küstentannenspänen kommt es zu einem sehr hohen Verdichtungsgrad und damit zu starken Deformationen der Holzzellen. Nach ROFFAEL und DIX (1988) sind hier vor allem dünnwandige Frühholzzellen betroffen, wie Untersuchungen an Pappelholz ergeben haben. Von dieser Seite ist daher tendenziell mit einer gewissen Erhöhung der Quellwerte bei der Verwendung von Küstentannenspänen zu rechnen.

Von einer reduzierten holzeigenen Quellung ist hingegen ebenfalls auszugehen. Untersuchungen nach MAY (1978) ergeben bei Fichten- und Kiefernholz niedrigere Quellwerte bei geringeren Holzrohdichten. Über die Eigenschaften von Schneidspänen mit hohen Schlankheitsgrad hinsichtlich ihrer Quelleigenschaften werden zum Teil widersprüchliche Aussagen in der Literatur getroffen (LIIRI, 1977; RACKWITZ, 1963). Möglichkeiten zur Senkung der Dickenquellung sind bei allen Versuchsreihen gegeben. Eine Optimierung der Paraffin- und Bindemittelzugabe kann hier zu Verbesserungen führen. Die Dickenquellung nach 2 Stunden Wasserlagerung wurde hier nicht aufgeführt, da sie

ausschließlich die Wirksamkeit einer hydrophobierenden Paraffinemulsion zur Dämpfung von Dimensionsänderungen bei Feuchtigkeitsschwankungen nachweist (BRINKMANN, 1982). Die Einflüsse des Rohdichteprofils auf die 2-Stunden-Quellung (BOEHME, 1986) werden hier nicht berücksichtigt.

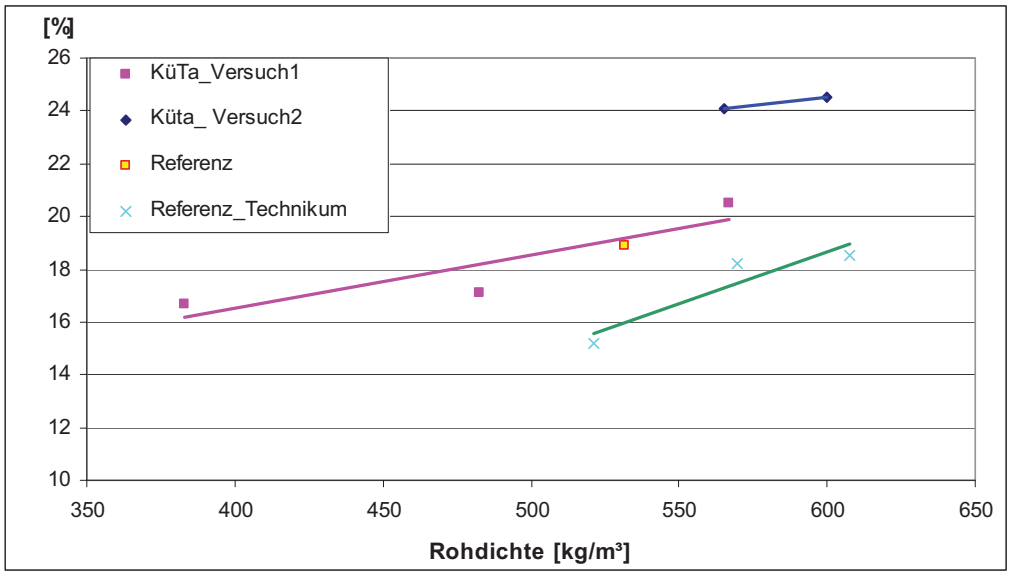

*Abbildung 4.5-16: Vergleich der **Dickenquellungen** nach 24 Stunden Wasserlagerung von dreischichtigen Spanplatten aus 100 % Küstentannenspänen und der Referenzplatten*

Im zweiten Teil des Produktionsversuches wurde der Anteil der Küstentannespäne schrittweise herabgesetzt. Dabei wurde eine konstante Rohdichte aller zu vergleichenden Plattenvarianten von ungefähr 560 kg/m³ eingehalten. Die Referenzplatten haben mit 532 kg/m³ eine leicht niedrigere Rohdichte. Verglichen wurden Platten mit einem Küstentannenschneidspananteil von 100 %, 33 % und 25 %.

Die Abbildung 4.5-17 verdeutlicht, dass mit sinkendem Schneidspananteil die Biegefestigkeiten ebenfalls sinken. Mit der Herabsetzung des Schneidspananteils verringert sich die mittlere Spanlänge und die mittlere Spandicke erhöht sich. Nach DUNKY und NIEMZ (2002) führt dies zu sinkenden Biegefestigkeiten.

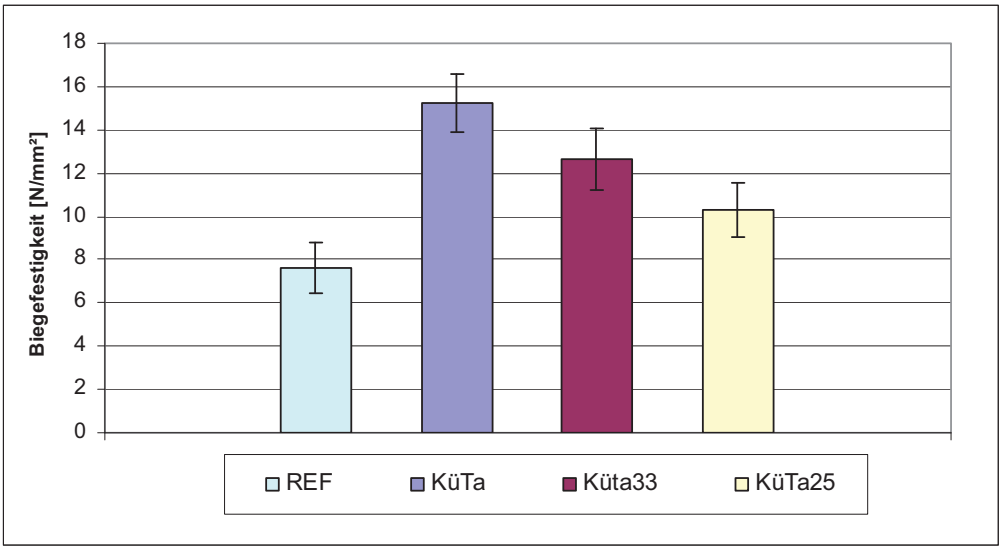

Abbildung 4.5-17: Vergleich der Biegefestigkeiten von 19 mm dicken Spanplatten mit einem Küstentannenspananteil von 100 % (KüTa), 33 % (KüTa33) und 25 % (KüTa25) sowie der Referenzplatten.

Die Querzugfestigkeiten zeigen hingegen steigende Werte bei einer Verringerung des Schneidspananteils (Abbildung 4.5-18). Der Sachverhalt, dass kürzere, dickere Späne in der Mittelschicht zu höheren Querzugfestigkeiten führen wird in der Literatur ebenfalls beschrieben (LIIRI, 1977).

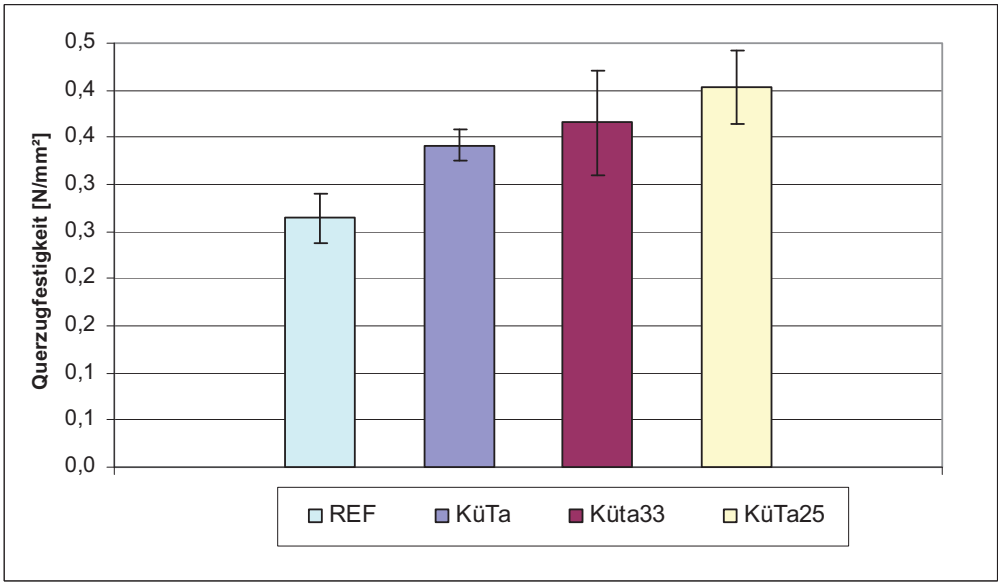

Abbildung 4.5-18: Vergleich der Querzugfestigkeiten von 19 mm dicken Spanplatten mit einem Küstentannenspananteil von 100 % (KüTa), 33 % (KüTa33) und 25 % (KüTa25) sowie der Referenzplatten.

Die Untersuchungen im Technikumsmaßstab bestätigen diese Zusammenhänge. Hier erweisen sich kubische Spangeometrien als weitaus geeigneter zur Verwendung in der Mittelschicht als dünne, flache Späne. Das Schüttgewicht der Späne spielt bei der Ausbildung

der Querzugfestigkeit eine weitaus geringere Rolle im Vergleich zur Einflussnahme des Schüttgewichts der Deckschichtspäne auf die Biegefestigkeit.

Die Ergebnisse des zweiten Teils bestärken damit die Forderung nach einer strikten Trennung der Spanaufbereitung für Deckschicht und Mittelschicht. Erst durch eine Trennung können optimale Festigkeitswerte für die Deck- und Mittelschicht erreicht werden. Bei einem Vergleich der mechanisch-technologischen Eigenschaften der Pilotspanplatten (vgl. Kap. 4.2.2.1) mit den hier aufgeführten Ergebnissen, ist ein optimaler Einsatz hochwertiger Schneidspäne mit der Verwendung in der Deckschicht zu sehen. Bei einem Waldholzanteil von 30 % in der Spanplatte und einer ausschließlichen Verwendung von Schneidspänen in der Deckschicht würde der gesamte Waldholzanteil in die Deckschicht fließen. Dies würde zu einer deutlichen Optimierung der Platteneigenschaften führen ohne zusätzliche Rohstoffkosten zu verursachen. Weiterhin sind nach SOINÉ (1984) bei kontinuierlichen Pressverfahren durch ein verbessertes Rohdichteprofil deutliche Senkungen des Deckschichtanteils möglich, die weit unter 30 % liegen. Erreichbar wird dies unter anderem mit der Verringerung des Schleifzuschlages.

Die Messungen zur Emission von Formaldehyd (HCHO) wurden mittels der Perforatormethode nach DIN EN 120 (1992) durchgeführt. Sowohl die Versuchs- als auch die Referenzserien zeigen Perforatorwerte von 6 mg bis 6,9 mg HCHO/100 g atro Spanplatte bei einem Feuchtegehalt der Probe von 6,5 %. Tendenzielle Unterschiede zwischen den Varianten waren dabei nicht zu erkennen. Letztendlich übersteigen alle Platten geringfügig die Kriterien zur Emissionsklasse E1 nach DIN EN 312 (2003).

4.5.2.2 Eigenschaften von leichten Arbeitsplatten aus Küstentanne

Der Produktionsversuch zur Herstellung von Arbeitsplatten aus Küstentannenholz soll die Möglichkeiten der Rohdichtesenkung für dieses wichtige Plattensortiment aufdecken. Die Referenzplatte ist eine industriell gefertigte 38 mm dicke Standard-Arbeitsplatte mit einer Rohdichte von 630 kg/m³. Die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Referenzen sind den Abbildungen beigefügt. Die an die Arbeitsplatten gestellten Anforderungen richten sich in der Regel an die Mindestwerte für P2-Platten, die ebenfalls in den Grafiken aufgeführt werden.

Querzugfestigkeit

Die Ergebnisse der Querzugfestigkeiten zeigen, dass diese Mindestanforderungen bei einfach linearem Zusammenhang der Einzelergebnisse bei einer Rohdichte von 460 kg/m³ für Arbeitsplatten aus Küstentannspänen erfüllt werden (Abbildung 4.5-19). Die theoretisch berechneten Querzugfestigkeiten liegen bei linearer Betrachtung unterhalb der Versuchsreihe.

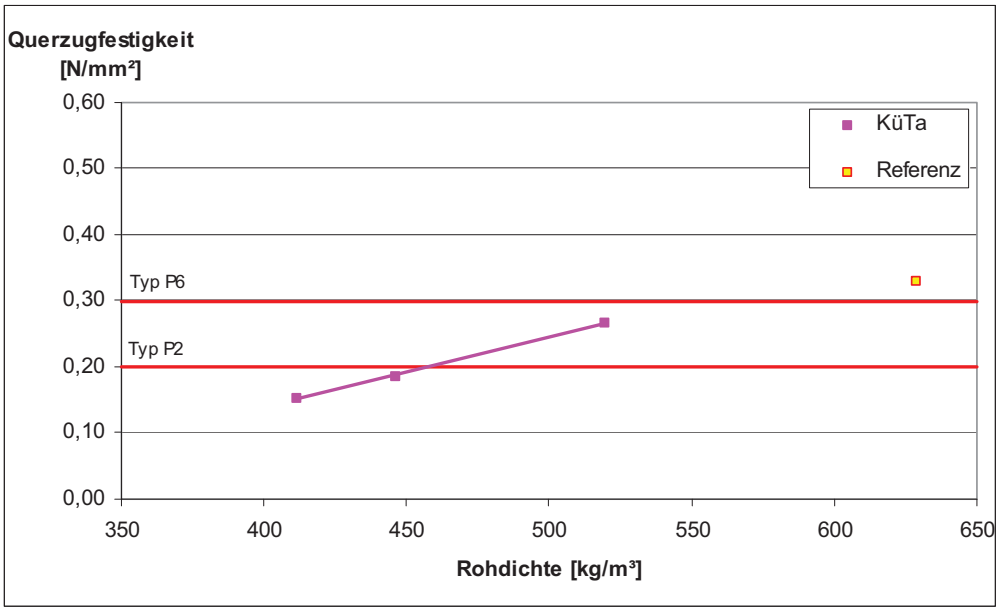

*Abbildung 4.5-19: Vergleich der **Querzugfestigkeiten** für 38 mm dicke Spanplatten aus Küstentannenspänen und der Referenzserie.*

Biegefestigkeit

Ähnlich deutliche Vorteile, vergleichend zu den Ergebnissen der im Kapitel 4.5.2.1 aufgeführten Versuchsreihen mit 19 mm dicken Spanplatten, ergeben sich bei der Verwendung von Schneidspänen aus Küstentannenholz bei der Biegeprüfung (Abbildung 4.5-20). Die Mindestanforderungen für P2-Platten werden im Rohdichtebereich von 420 kg/m³ erreicht, die für P6-Platten bei ungefähr 510 kg/m³. Die klare Überlegenheit gegenüber den Referenzplatten ist wiederum auf den hohen Schlankheitsgrad und das geringe Schüttgewicht der Schneidspäne zurückzuführen. Dafür spricht auch die höhere Diskrepanz zwischen den absoluten Werten der Versuchsreihe und der Referenzserie vergleichend zu der Darstellung der 19 mm Platten. Die Differenz der Rohdichten zwischen der Versuchsreihe und den Referenzplatten zur Erlangung der gleichen Biegefestigkeit liegt bei 200 kg/m³. Es erhöht sich demnach der Effekt des Verdichtungsverhältnisses auf die Festigkeitseigenschaften mit steigender Plattendicke.

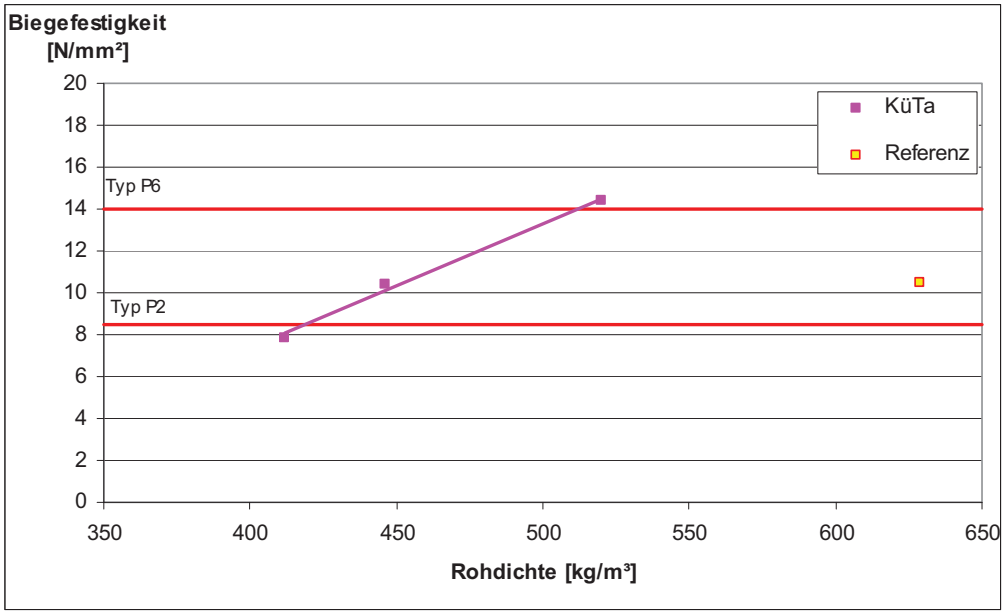

*Abbildung 4.5-20: Vergleich der **Biegefestigkeiten** für 38 mm dicke Spanplatten aus Küstentannenspänen und der Referenzserie.*

Zur Erreichung aller Mindestanforderungen nach DIN EN 312 für Platten zur Verwendung im Trockenbereich stellt die Biegefestigkeit die limitierende Eigenschaft für Standard-Arbeitsplatten dar, so wie es auch bei den 19 mm dicken Platten aufgeführt wurden. Die Standard-Arbeitsplatte in diesem Werk hat eine Rohdichte von ~630 kg/m³. Wie in Abbildung 4.5-20 zu sehen, erfüllt sie damit sicher die P2-Norm.

Abhebefestigkeit

Die Normerfüllung der Abhebefestigkeit nach DIN EN 312 für P2-Platten stellt keine der aufgeführten Varianten vor größere Probleme (vgl. Abbildung 4.5-21). Dennoch ist die Wertedifferenz der Versuchsreihen aus Küstentanne zur Referenzserie sehr deutlich. Abbildung 4.5-20 zeigt die sehr ausgeprägten Rohdichtemaxima im Profil der Platten aus Küstentannenholz. Zusammen mit dem günstigen Verdichtungsverhältnis in der Deckschicht können diese hohen Abhebefestigkeiten realisiert werden.

Zu berücksichtigen sind die verschiedenen, teilweise erhöhten Anforderungen an die Deckschicht- und Oberflächenbeschaffenheit dieser Platten zur weiteren Verwendung mit unterschiedlichen Beschichtungen (PLATH, 1971). Nach PLATH (1971) ist unabhängig von der Abhebefestigkeit ein Rohdichtemaximum in der Deckschicht von 800 kg/m³ bis 900 kg/m³ für die Anforderungen an die Drucksteifigkeit für eine Beschichtung als ausreichend anzusehen.

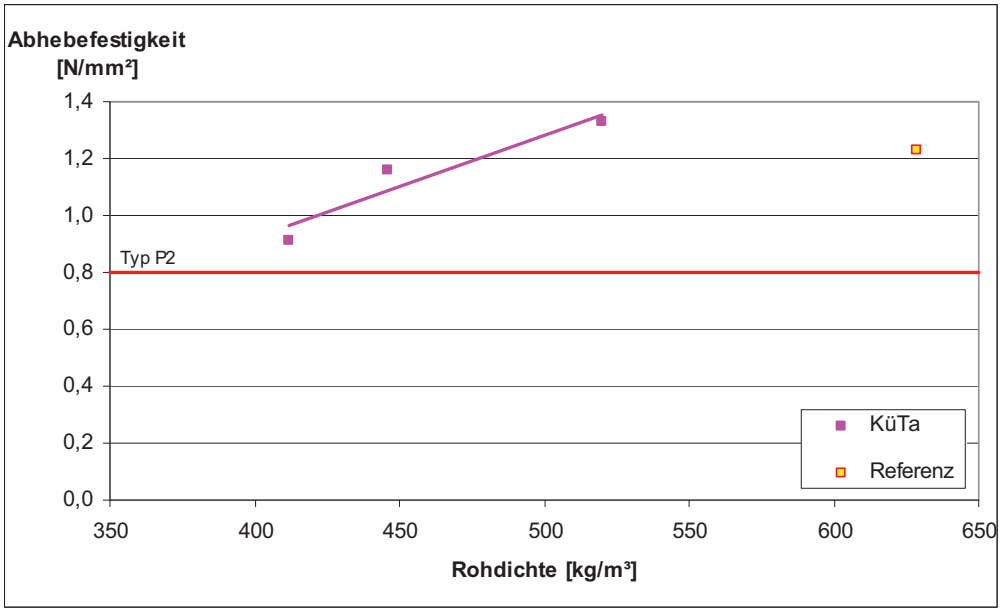

*Abbildung 4.5-21: Vergleich der **Abhebefestigkeiten** für 38 mm dicke Spanplatten aus Küstentannenspänen und der Referenzserie*

Die Auswertung der Rohdichteprofile der Versuchsplatten aus Küstentanne ergeben Rohdichtemaxima von 900 kg/m³ bei einer mittleren Rohdichte von 536 kg/m³. Bei einer mittleren Rohdichte von 456 kg/m³ ergeben sich maximale Rohdichten von 770 kg/m³ in der Deckschicht (Abbildung 4.5-22).

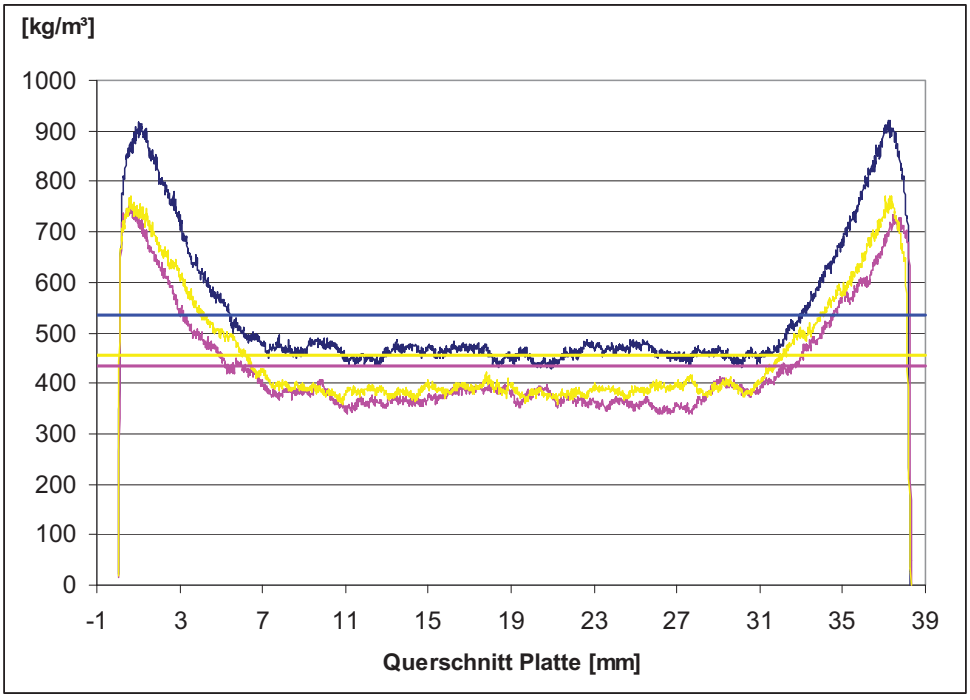

*Abbildung 4.5-22: Vergleich der **Rohdichteprofile** für 38 mm dicke Spanplatten aus Küstentannenspänen, hergestellt mit einer kontinuierlich arbeitenden Presse (CONTIROLL®, Siempelkamp).Mittlere Plattenrohdichten: 430 kg/m³,456 kg/m³ und 536 kg/m³.*

Die ermittelten Quellwerte lassen keine eindeutige Korrelation zur Rohdichte zu. Die Dickenquellungen schwanken zwischen 17 % und 22 % für Platten aus Küstentannenspänen (Abbildung 4.5-23). Die industriell gefertigte Referenzserie liegt mit einer Dickenquellung von fast 26 % über den Werten der Versuchsserien.

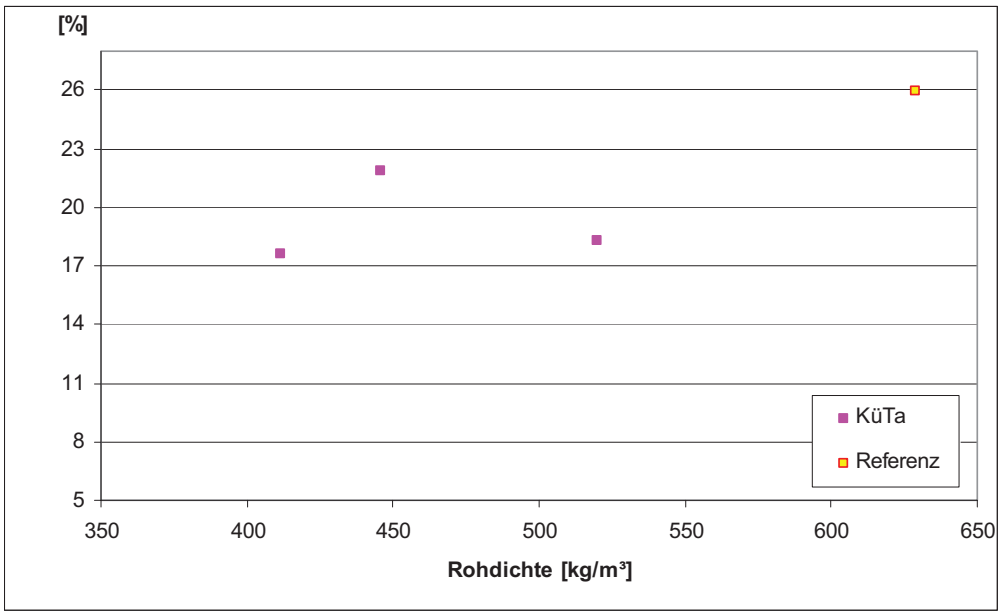

*Abbildung 4.5-23: Vergleich der **Dickenquellungen** (nach 24 Stunden Wasserlagerung) für 38 mm dicke, dreischichtige Spanplatten aus 100 % Küstentannenspänen und der Referenzserie.*

Die erhöhten Quellwerte im Vergleich zu den zuvor dargestellten 19 mm Platten haben verschiedene Ursachen. Zahlreiche Untersuchungen zur Dickenquellung haben keine eindeutigen Zusammenhänge zur Rohdichte herstellen können (SUCHSLAND, 1973; LEHMANN UND HEFTY, 1973; STEWART UND LEHMANN, 1973).

Die Perforatorwerte liegen mit 3,5 mg bis 5 mg HCHO/100 g atro Spanplatte für einen Feuchtegehalt der Probe von 6,5 % deutlich unterhalb der Werte der 19 mm Platten aus Küstentanne. Möglicherweise können aufgrund der höheren Plattendicke und geringeren Verdichtung (größerer Porenraum) in der Mittelschicht der Platten größere Anteile flüchtiger Stoffe bei der Verpressung und während der Abkühlung entweichen (KHARAZIPOUR, 2009).

4.5.2.3 Dünnspanplatten aus Küstentannenschneidspänen und Fichten-/ Kiefernschneidspänen

In diesem dritten Produktionsversuch wurden 12 mm dicke Spanplatten mit einem Schneidspananteil von 39 % hergestellt, getrennt nach Küstentannen- und Fichten/Kiefernspänen. Die möglichen Effekte auf die Platteneigenschaften, die durch unterschiedliche Schneidspäne hervorgerufen werden, fallen somit geringer aus. Als schwierig erwies sich die Ermittlung der exakten Spanzusammenstellung, da die verschiedenen Anlagenkomponenten teilweise nach volumetrischen und teilweise nach gravimetrischen Prinzipien arbeiten. Zudem mussten die verschiedenen Ausgangsfeuchten der einzelnen Spansortimente berücksichtigt werden. Vor- und Nachteile dieser Prinzipien werden bei ENGELS (1959), HUTSCHNEKER (1963) und STEGMANN und MAY (1966) behandelt.

Trotz der relativ niedrigen Beimischung liegen die gemessenen Schüttgewichte des Spanmaterials mit anteiligen Küstentannenschneidspänen in allen Produktionsabschnitten 10 % bis 15 % unter denen mit anteilig beigefügten Fichten-Kiefernspänen. Auch die beleimten Küstentannenspäne zeigten geringere Streudichten beziehungsweise erhöhte Streuhöhen des Spankuchens, wodurch eine gesteigerte Spanverdichtung bei der Verpressung gegeben war. Die Auswertung der Plattenprüfungen offenbarte diesen physikalischen Vorteil hinsichtlich der mechanisch-technologischen Eigenschaften.

Die Siebanalysen der Spansortimente für Deck- und Mittelschicht der beiden Versuchsreihen haben vergleichbare Spanverteilungen ergeben (vgl. Kap. 4.5.1). Dennoch können unterschiedliche Querzug- und Biegefestigkeiten bei der Verwendung von Küstentannenspänen im Vergleich zu Fichten-Kieferspänen festgestellt werden.

Querzugfestigkeit

Abbildung 4.5-24 verdeutlicht die stets höheren Querzugfestigkeiten der Küstentannenplatten. Dies kann nur auf Schüttgewichtsvorteile und einer besseren Beleimbarkeit der Küstentannenspäne zurückgeführt werden, da auch die Spandicken der Ausgangsspäne sich kaum voneinander unterscheiden.

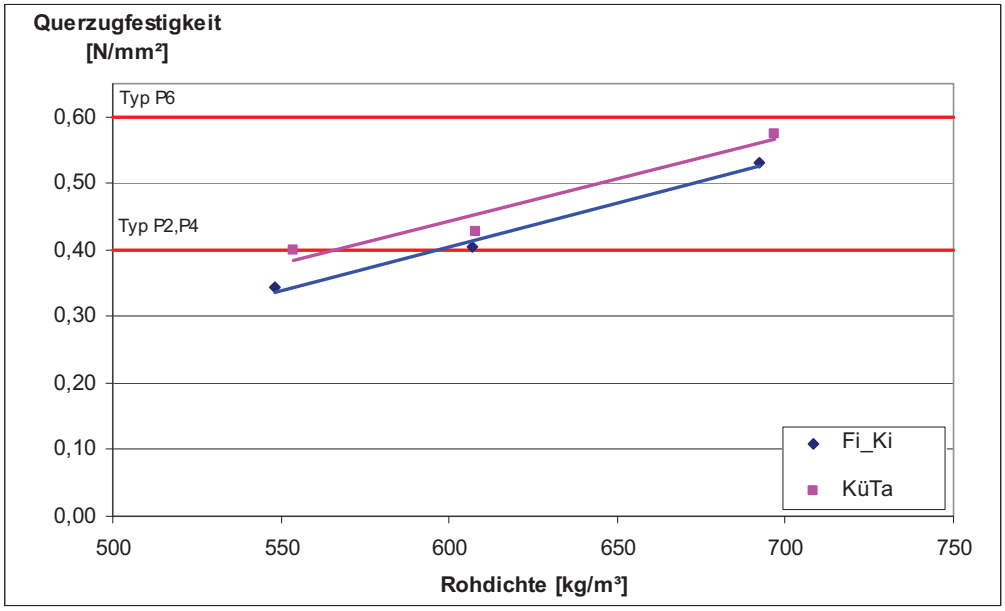

*Abbildung 4.5-24: Vergleich der **Querzugfestigkeiten** für dreischichtige, 12 mm dicke Spanplatten aus anteilig 39 % Küstentannenschneidspänen vergleichend zu 12 mm Spanplatten aus anteilig 39 % Fichten-/Kiefernschneidspänen, jeweils bei konstanter Beimischung verschiedener Spansortimente.*

Biegefestigkeit

Wie in den zuvor aufgeführten Produktionsversuchen (Kap. 4.5.2.1 und 4.5.2.2) erweisen sich die Küstentannenspäne gerade für die Verwendung in der Deckschicht auch hier als sehr vorteilhaft. Dies zeigen die Ergebnisse zur Messung der Biegefestigkeit (Abbildung 4.5-25). Die Platten aus Küstentanne erfüllen die Mindestanforderungen nach DIN EN 312 für P2-Platten bei einer Rohdichte von 610 kg/m³. Die Versuchsreihe aus Fichte/Kiefer erreicht diese Norm bei einer Rohdichte von 630 kg/m³. Die absolute Wertedifferenz zwischen den beiden Versuchsserien bleibt bei einfacher linearer Betrachtung der Einzelwerte nahezu konstant bei 1 N/mm².

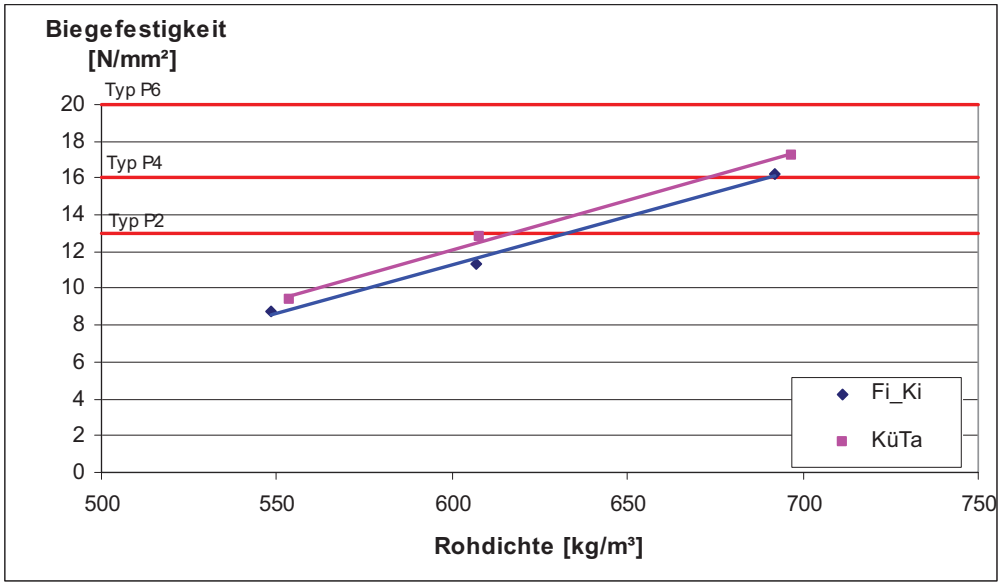

*Abbildung 4.5-25: Vergleich der **Biegefestigkeiten** für dreischichtige, 12 mm dicke Spanplatten aus 39 % Küstentannenschneidspänen vergleichend zu 12 mm Spanplatten aus 39 % Fichten-/Kiefernschneidspänen, jeweils bei konstanter Beimischung verschiedener Spansortimente.*

Abhebefestigkeit

Vergleichbar mit den Biegefestigkeiten sind die Ergebnisse der Deckschicht-Abhebefestigkeiten, wobei hier die absolute Wertedifferenz bei ungefähr 0,05 N/mm² bei gleicher Plattenrohdichte beziehungsweise bei 20 kg/m³ Rohdichtedifferenz zur Erlangung des gleichen Festigkeitswertes liegt (Abbildung 4.5-26). Die geforderten 0,8 N/mm² für P2-Platten werden bei einer Rohdichte von 555 kg/m³ für Platten aus Küstentanne und 575 kg/m³ für Platten aus Fichte/Kiefer erreicht.

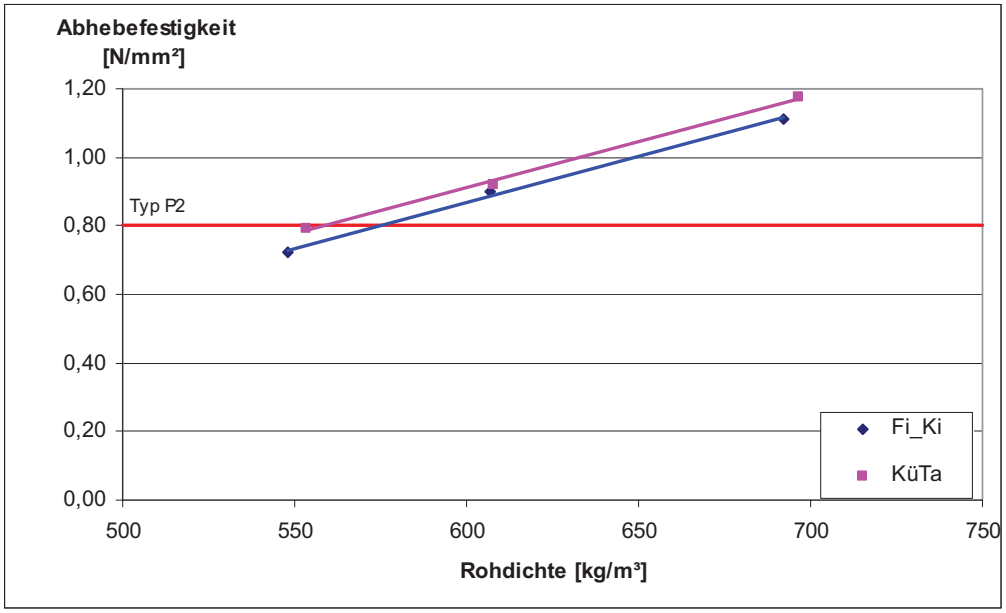

*Abbildung 4.5-26: Vergleich der **Abhebefestigkeiten** für dreischichtige, 12 mm dicke Spanplatten aus 39 % Küstentannenschneidspänen vergleichend zu 12 mm Spanplatten aus 39 % Fichten-/Kiefernschneidspänen, jeweils bei konstanter Beimischung verschiedener Spansortimente.*

Kaum Unterschiede zeigen die Quelleigenschaften der beiden Versuchsserien nach 24 Stunden Wasserlagerung (vgl. dazu auch Abbildung 4.5-27). Eine klare Tendenz zu erhöhten Quellwerten bei steigenden Rohdichten ist dabei zu erkennen.

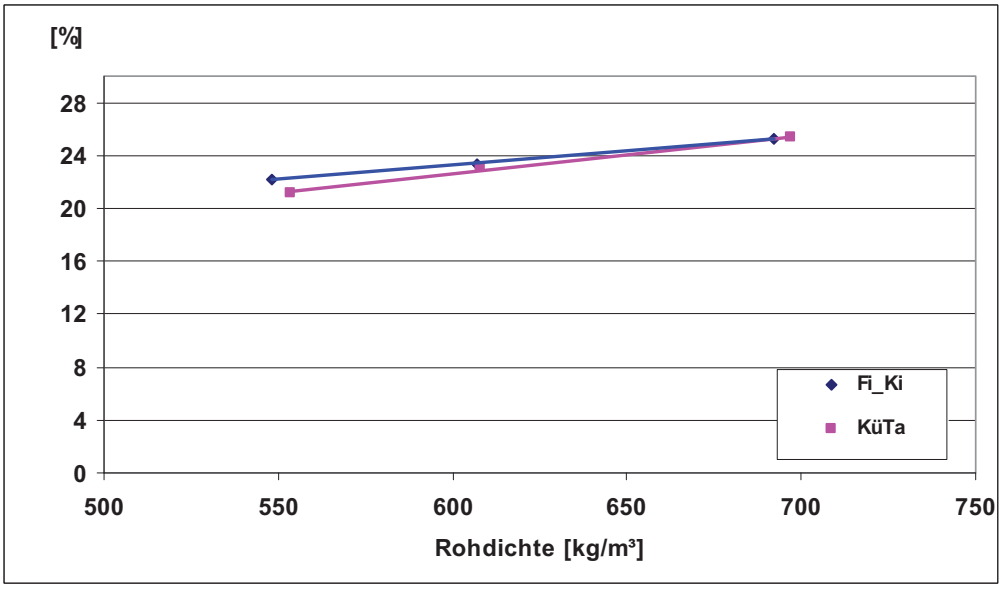

*Abbildung 4.5-27: Vergleich der **Dickenquellungen** nach 24 Stunden Wasserlagerung für dreischichtige, 12 mm dicke Spanplatten aus 39 % Küstentannenschneidspänen vergleichend zu 19 mm Spanplatten aus 39 % Fichten-/Kiefernschneidspänen, jeweils bei konstanter Beimischung verschiedener Spansortimente.*

Negativ ist das hohe Niveau der Quellwerte zu sehen. Dies kann vor allem mit dem Einsatz des formaldehydarmen UF-Harzes in Zusammenhang gebracht werden, der in Folge einer Änderung des Harnstoff/Formaldehyd-Molverhältnisses eine verringerte Hydrolyseresistenz aufweisen kann.

Mit der Verwendung des formaldehydarmen Harnstoff-Formaldehydharzes konnte hingegen eine deutliche Verringerung der Formaldehydabgabe festgestellt werden. Die Perforatorwerte lagen zwischen 3,7 und 4,0 mg HCHO/100 g atro Spanplatte bei einem Feuchtegehalt der Probe von 6,5 %. Diese Werte wären zur Erfüllung des Industrie-Standards „EPF-S“, der einen maximalen Perforatorwert von 4,0 mg HCHO/100 g atro Spanplatte vorgibt, ausreichend (SAUERWEIN, 2008; GÖRDER, 2008).

Sowohl Querzug- und Biegefestigkeiten als auch die Abhebefestigkeiten der Spanplatten mit Küstentannenspänen liegen signifikant über den Festigkeitswerten der produzierten Referenzplatten mit Fichten-/Kiefernspänen. Hervorzuheben ist die Biegefestigkeit, die um 13 % erhöht ist. Die Einbeziehung des benötigten spezifischen Pressdrucks bei der Verpressung der Versuchsplatten bestätigt die Annahme des bedingten Zusammenhangs zwischen Holzrohdichten, Schüttgewichten und mechanisch-technologischen Eigenschaften der Platten. Die Produktionsversuche zur Herstellung von 19 mm dicken und 38 mm dicken Spanplatten haben gezeigt, dass dieser Effekt mit steigendem Anteil von Küstentannenspänen und steigender Plattendicke deutlicher wird. Bei Spanplatten die zu 100 % aus Küstentannenholz hergestellt wurden ist eine Herabsetzung der Plattenrohdichte um bis zu 30 % gegenüber einer herkömmlichen Spanplatte möglich; dies bei gleichzeitiger Erfüllung der entsprechenden Festigkeitswerte nach den derzeitigen DIN EN Normen.

Durch Optimierung der industriellen Zerspanungsparameter und der Spanbeleimung können die holzspezifischen Eigenschaften der Küstentanne zu einer noch ökonomischeren Produktionsweise führen. Neben der Einsparung von Rohstoffen und Energie bei einer Verringerung der Plattenrohdichte können auch neue Eigenschaftsprofile der Platten entstehen. Im Rohdichtebereich von 400 kg/m³ bis 500 kg/m³ weisen Spanplatten gute wärmeisolierende und schallschluckende Eigenschaften auf (CLAD, 1967). In Verbindung mit hohen Festigkeiten könnten hier neue Anwendungsmöglichkeiten entstehen. Beispielhaft seien die Ergebnisse der 38 mm dicken Spanplatten aus Küstentanne anzuführen, die diese Eigenschaften am besten verbinden.

4.6 Holzspezifischer Energieverbrauch bei der Zerspanung

Gemeinhin werden die inneren Merkmale eines Zerspaners, wie Abnutzung und Energieverbrauch sowie die Leistungseigenschaften wie zum Beispiel die Qualität der Späne und der Spandurchsatz, als objektive Beurteilungskriterien zur Leistungsfähigkeit dieser Maschine herangezogen (KUMAR, 1959). Diese Werte werden als durchschnittlich angegeben ohne dabei einen genaueren Bezug zu bestimmten Holzarten oder Holzdimensionen, die zerspant werden, herzustellen. Bei konstanten Zerspanungsparametern und Holzdimensionen kann folglich eine Beurteilung der Holzart stattfinden. Neben den Abmaßen des Ausgangsholzes ist eine konstante Holzfeuchte während der Zerspanung von entscheidender Bedeutung (KUMAR, 1959).

Die ermittelten Ausgangsparameter des Versuchsholzes sowie die Ergebnisse des Zerspanungsversuchs sind in der Tabelle 4-3 dargestellt. Die bereitgestellte Teilmenge des Küstentannenindustrieholzes hat eine Masse von 19,86 t bei einer Holzfeuchte von 45 %. Damit beträgt das Atro-Gewicht 10,9 t. Die Bestimmung des Volumens des gestapelten Holzes ergeben 39,3 Rm, umgerechnet mit dem Faktor 0,7 ergeben sich 27,52 Fm. Aus der Volumenermittlung über die Darrdichte resultieren 30,27 Fm bei einer mittleren Darrdichte des Küstentannenholzes von 0,36 g/cm³. Die vergleichende Zerspanung aus einem Industrieholzsortiment mit anteilig 50 % Fichtenholz (*Picea abies*) und 50 % Kiefernholz (*Pinus sylvestris*) wird mit einer Gesamtmenge von 27,74 t waldfrischem Holz durchgeführt. Bei einem Feuchtegehalt von 46 % stehen 12,8 t atro Holz zur Verfügung. Das Versuchsholz hat gestapelt ein Volumen von 39,71 Rm, das sind umgerechnet 27,8 Fm. Bei einer durchschnittlichen Darrdichte von 0,46 g/m³ ergeben sich 27,82 Fm.

Aufgrund der leicht gekrümmten Kiefernindustrieholzabschnitte erweist sich der Umrechnungsfaktor von 0,7 als gut geeignet, für das bereitgestellte Küstentannenindustrieholz muss der Umrechnungsfaktor höher angesetzt werden. Die Ergebnisse der Zerspanungsleistung berücksichtigen nur die Volumenermittlung über Darrdichtebestimmung. Ein gewisses Quellverhalten bei steigender Holzfeuchte sowie der Rindenanteil werden nicht berücksichtigt. Die gegenübergestellten Industrieholzsortimente zeigen hier vergleichbare Ausgangswerte hinsichtlich der Holzfeuchte und der Holzdimensionen. Somit können repräsentative Ergebnisse vorausgesetzt werden.

Tabelle 4-3:Ergebnisse der Holzaufnahme und des spezifischen Energieverbrauchs bei der Zerspanung für Küstentannenindustrieholz und Fichten-/Kiefernindustrieholz.

		Küstentanne	Fichte/Kiefer
Masse Holz (waldfrisch)	**t**	**19,86**	**23,74**
mittlere Feuchte	**%**	**45**	**46**
Masse Holz atro	**t**	**10,9**	**12,8**
Volumen Holz (Rm in Fm, Umrechnungsfaktor 0,7)	**Rm / Fm (m³)**	**39,3 / 27,52**	**39,71 / 27,8**
Volumen Holz (aus Darrdichte)	**Fm (m³)**	**30,27**	**27,82**
Zerspanungsdauer	**Std.**	**0,663**	**0,708**
mittlerer Zerspanungsleistung	**kW**	**270,29**	**300,34**
absoluter Energieverbrauch	**kWh**	**179,13**	**212,66**
Energieverbrauch pro Tonne atro Holz	**kWh/ t atro Holz**	**16,43**	**16,61**
Energieverbrauch pro m³ Holz	**kWh/ m³ Holz**	**5,91**	**7,64**

Bei der Auswertung der Datensätze zur Stromaufnahme werden die Leerlaufintervalle des Zerspaners hinsichtlich der benötigten Energie sowie der verstrichenen Zeit nicht berücksichtigt. Leerlaufzeiten entstehen durch das Zurückfahren der Messerwelle in die Ausgangsposition und die Beschickung des Spanraumes mit Holz. Aufgrund von Unregelmäßigkeiten bei der Befüllung des Zuführbandes können zeitliche Differenzen für eine volle Beschickung des Spanraumes eintreten, die eine Verzerrung der auf das Holz bezogenen Energieverbräuche hervorrufen würden. Der tatsächliche Stromverbrauch liegt somit höher als hier angegeben.

Die reine Zerspanungsdauer beträgt bei 10,9 t atro Küstentannenholz 39,8 Minuten und bei der Vergleichszerspanung mit 12,8 t atro Holz 42,5 Minuten. Daraus ergibt sich eine Zerspanungsdauer von 3,65 Minuten für eine Tonne atro Küstentannenholz und 3,32 Minuten für eine Tonne atro Fichten-/Kiefernholzgemisch. Für einen Festmeter Küstentanne werden somit 1,31 Minuten und für einen Festemeter Fichte-/Kiefer 1,53 Minuten benötigt. Die während der Zerspanung der Küstentanne durchschnittlich erforderte Leistung ist mit 270 kW deutlich niedriger als die mittlere, permanente Zerspanungsleistung bei Fichten-/Kiefernholz mit 300 kW. Die Aufzeichnungen zur Stromaufnahme ohne Leerlaufzeiten werden in der Abbildung 4.6-1 grafisch aufgeführt.

Für eine vergleichende Gegenüberstellung werden die Kurvenverläufe über einfache, lineare Regressionen überschaubarer dargestellt. Diese Trendlinien zeigen die konstant geringere Stromaufnahme bei Küstentannenholz. Insgesamt benötigt der Langholzzerspaner hier 179,13 kWh für 10,9 t atro Holz beziehungsweise für 30,27 Fm. Auf eine Tonne bezogen sind das 16,43 kWh/t atro Küstentanne und auf einen Festmeter bezogen 5,92 kWh.

Demgegenüber wird bei der Zerspanung des Fichten-/Kiefernholzsortiments für 12,8 t atro Holz oder 27,82 Fm insgesamt 212,66 kWh verbraucht. Dies entspricht 16,61 kWh/t atro Holz beziehungsweise 7,64 kWh/m³ Versuchsholz. Trotz der geringeren, durchschnittlichen Stromaufnahme für die Zerspanung von Küstentannenholz ist der Energieverbrauch pro Tonne vergleichbar mit dem der Zerspanung von Fichten-/Kiefernholz. Bezogen auf einen Festmeter Holz ist der Verbrauch bei der Küstentanne um circa 1,72 kWh/m³ Holz geringer als bei Fichte/Kiefer.

Zur Begründung der zeitlichen Differenzen bei der gravimetrischen Betrachtung der Zerspanung ist das jeweilige holzspezifische Gewicht, die Rohdichte beziehungsweise Darrdichte anzuführen. Die Messungen haben eine mittlere Darrdichte von 360 kg/m³ des verwendeten Küstentannenholzes und 460 kg/m³ für das Sortiment aus Fichten- und Kiefernholz ergeben. Aufgrund der konstanten, volumetrischen Befüllung des Spanraumes für jedes Intervall, ist ein permanent geringerer Massedurchsatz bei Küstentannenholz gegeben.

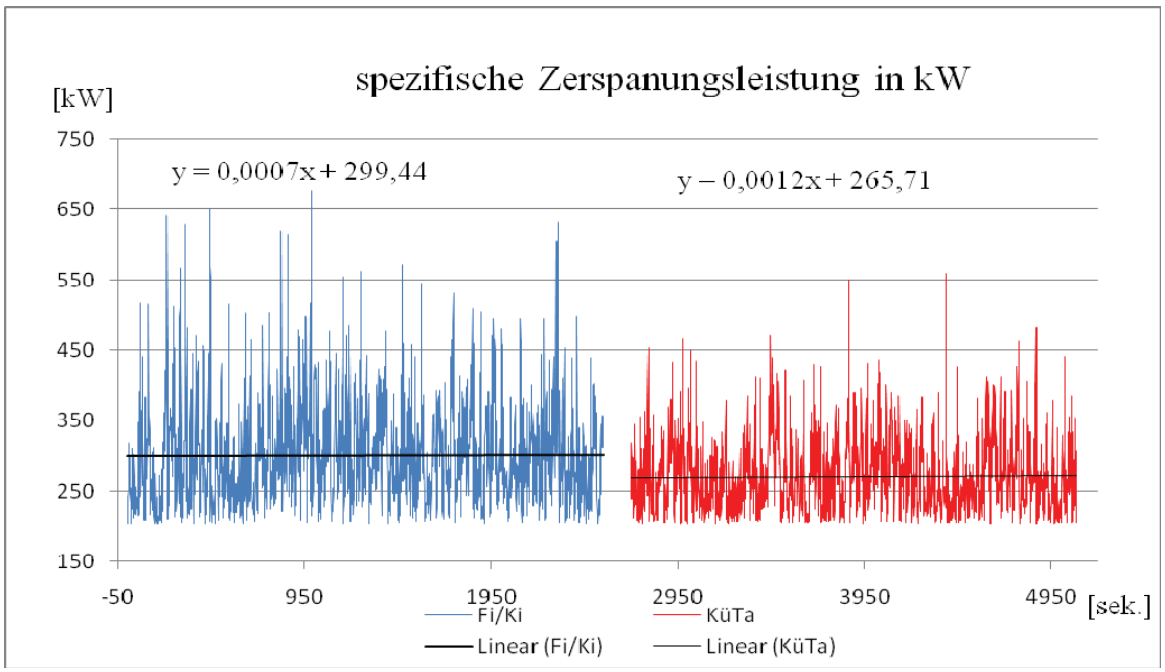

Abbildung 4.6-1: Grafische Darstellung der Zerspanungsleistung

Durch die bessere Bearbeitbarkeit des Küstentannenholzes zeigt sich dieser Effekt nur in einer Verlängerung der Zerspanungsdauer pro Tonne atro Holz, der Energieverbrauch pro Tonne bleibt auf gleichem Niveau. Schlussfolgernd muss der Energieverbrauch bei gleichem Volumendurchsatz geringer ausfallen. Das schnelle Wachstum der Küstentanne mit der Ausprägung breiter Jahrringe und dem hohen Frühholzanteil geben dem Holz das geringe spezifische Gewicht und damit auch eine besserer Bearbeitbarkeit. Der gleichmäßige

Faserverlauf des Küstentannenholzes spielt hier sicherlich auch eine Rolle. Dieser Einfluss kann aber aufgrund der großen Rohdichteunterschiede der beiden Versuchshölzer nicht herausgestellt werden. Trotz der vorausgesetzten konstanten volumetrischen Füllung des Spanraumes, ist der Festmeterdurchsatz pro Zeiteinheit bei der Referenzmessung geringer ausgefallen. Zurückzuführen ist dieser Sachverhalt auf die leicht krummschaftigen Kiefernindustrieholzabschnitte. Ein Aspekt, der in die Gesamtbewertung zur Beurteilung einer Baumart einfließen sollte.

Die Holzfeuchten wurden zum einen über die Atro-Gewichtsabrechnung ermittelt und zum anderen über kontinuierliche Probennahme der Frischspäne. Die angegebenen Werte geben die durchschnittliche Feuchte an, die gewissen Schwankungen unterliegt. Die maximalen Abweichungen vom Mittelwert der beiden Versuchshölzer beliefen sich auf +/-10 % Feuchtegehalt. Jeder Feuchtigkeitszustand zwischen Vollsättigung und Darrtrockenheit ist in dieser Hinsicht als instabil zu bezeichnen und ruft in der Folge Unregelmäßigkeiten hervor (KUMAR, 1959). Aufgrund der Größe des Versuchsaufbaus relativieren sich diese Schwankungen, so dass der Mittelwert der Holzfeuchte als repräsentativ angesehen werden kann. Nach KUMAR (1959) hat hat die Holzfeuchtigkeit einen entscheidenden Einfluss auf die Standzeiten der Zerspanermesser, da zum Beispiel zu trockenes Holz eine rasche Abstumpfung hervorruft. Aufgrund der gleichen Holzausgangsfeuchten der beiden Sortimente sowie der vergleichsweisen kurzen Zerspanungsdauer in beiden Versuchsreihen, kann eine Beurteilung zur Holzfeuchte und zur Holzart hier nicht vorgenommen werden.

Die Ergebnisse des Versuches können nur Tendenzen aufzeigen und sollen hier nicht als allgemein gültig angesehen werden. Variierende Einflüsse wie Holzfeuchte, Rohdichte und Holzabmaße bestimmen im Wesentlichen den Energieverbrauch bei konstanten Zerspanungsparametern. Sinnvoll wäre ein Vergleich von Küstentannenholz und Fichtenholz mit gleicher Rohdichte, Holzfeuchte und gleichen Dimensionen.

Die Zerspanung stellt nur einen Bereich unter vielen nachfolgenden Produktionsabschnitten in der Spanplattenproduktion dar. Dennoch ist der Energieverbrauch bei der Zerspanung nicht unerheblich und liegt zwischen 10 % und 30 % bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch pro Tonne Spanplattenherstellung. Dabei wird ein Gesamtverbrauch von 190 bis 230 kWh/t Spanplatten vorausgesetzt (HINSELMANN, 1967) beziehungsweise 110 kWh/m³ Spanplatten (DUNKY U. NIEMZ, 2000). Die Zerspanung ist also ein großer Kostenfaktor in der gesamtbetrieblichen Kostenanalyse.

4.7 Ergebnisse der industriellen Produktionsversuche zur Herstellung von UF- Harz gebundenen, Mitteldichten Faserplatten aus Küstentanne

Vergleichend zu den Produktionsversuchen zur Herstellung von dreischichtigen Spanplatten, sollen hier erste Erkenntnisse über die Wirkung des Küstentannenholzes und der Fasern auf die Produktionsabschnitte im Faserplattenwerk erlangt werden. Dabei stehen vor allem die Zerfaserung sowie die anschließende Beleimung und Trocknung im Mittelpunkt des Interesses. Die Auswirkungen der Küstentannenfasern auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften der MDF-Platten soll bei einer sukzessiven Erhöhung des Faseranteils während des zweiten Produktionsversuches gezeigt werden.

Produktionsversuch 1

Querzug- und Abhebefestigkeit

Bei der Betrachtung der Querzugfestigkeiten (Abbildung 4.7-1) zeigt sich, dass im Mittel die Werte der Versuchsplatten mit 0,94 N/mm² über denen der Referenzplatten mit 0,9 N/mm² liegen. Damit erreichen die Platten aus Küstentannenfasern und der Referenzfasern deutlich den geforderten Mindestwert für Platten des Typs MDF und MDF.LA für tragende und nichtragende Anwendungen im Trockenbereich. Etwas deutlicher zeichnen sich die Wertedifferenzen hinsichtlich der Abhebefestigkeiten ab. Für die Prüfung der Abhebefestigkeit gibt es für MDF-Platten keine Norm. Sie wird hier ausschließlich zur internen Qualitätskontrolle herangezogen und gibt Auskunft über die Qualität der äußeren Beplankungen der Platten für anschließende Beschichtungen.

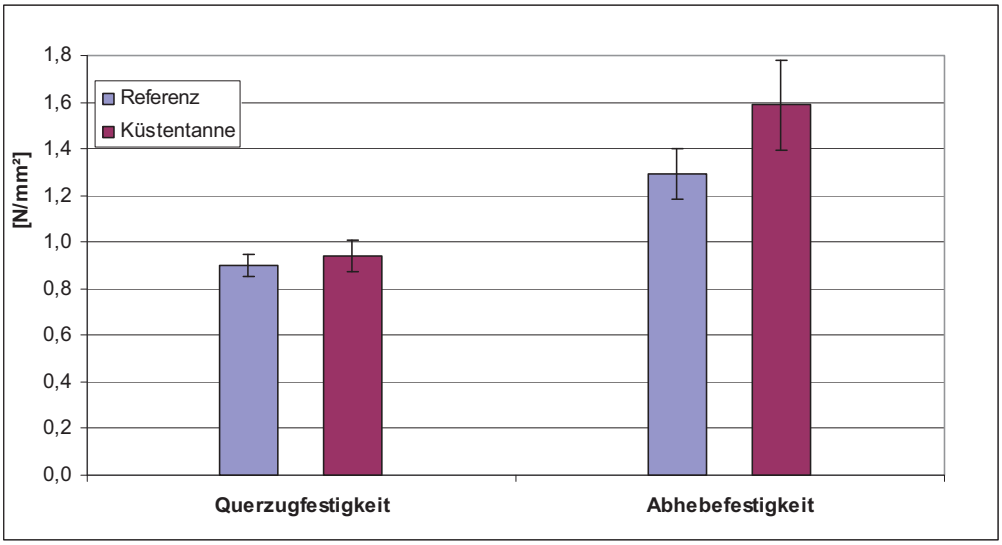

*Abbildung 4.7-1: Vergleich der **Querzug**- und der **Abhebefestigkeiten** der Versuchsreihe mit einem Küstentannenfaseranteil von 20 % und der Referenzplatten.*

Biegefestigkeit und Biege-E-Modul

Abbildung 4.7-2 zeigt die Ergebnisse des Biegeversuches. Auch hier liegen die Biegefestigkeiten und die E-Module der Küstentannenplatten signifikant über denen der Referenzplatten. Den Anforderungen der Platten für tragende Zwecke im Trockenbereich werden nur die Versuchsplatten mit Küstentannenfasern gerecht.

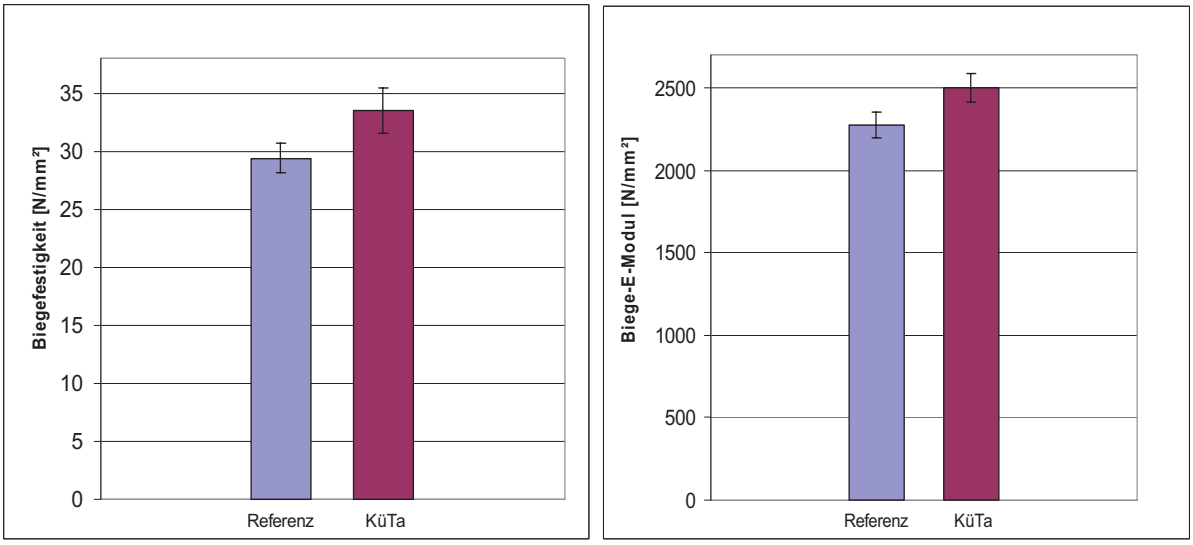

*Abbildung 4.7-2: Vergleich der **Biegefestigkeit en** (links) und der **Biege-Elastizitäts-Module** (rechts) der Versuchsserie mit einem Küstentannenfaseranteil von 20 % und der Referenzserie.*

Dickenquellung

Die Quellwerte nach 24 h Wasserlagerung liegen bei den Versuchsplatten mit 7,11 % leicht über denen der Referenzplatten mit 6,04 % aber deutlich unterhalb dem von der Norm angegebenen Maximalwert von 12 % für Platten zur Verwendung im Trockenbereich (Abbildung 4.7-3).

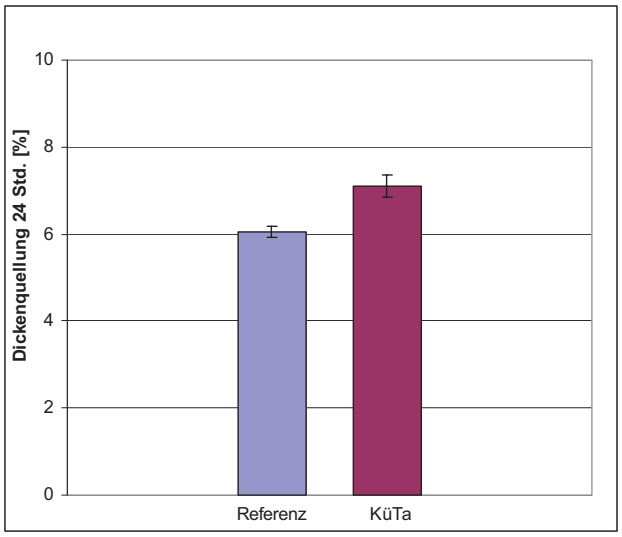

*Abbildung 4.7-3: Vergleich der **Dickenquellungen** nach 24 Stunden Wasserlagerung der Versuchsplatten mit einem Küstentannenfaseranteil von 20 % und der Referenzserie*

Bei der industriellen Herstellung der Küstentannenfasern zeigt sich, dass der Druck, der die Mahlscheiben des Defibrators aufeinander presst, für das leichte, weiche Holz der Küstentanne zu hoch ist und die Faserstruktur teilweise zerstört wird. Durch Herabsetzen des Druckes wird der Abstand zwischen den Mahlscheiben vergrößert und damit die Faserqualität erhöht (röschere Mahlung). Diese Tatsache spricht für die der Küstentanne zugesprochenen, leichten Bearbeitbarkeit (ALDEN, 1997; SACHSSE, 1991). Inwiefern das zu einer Senkung des Energieverbrauchs beiträgt, konnte an dieser Stelle nicht gesagt werden. Die Platten, die anteilig mit Küstentannenfasern produziert wurden zeigen sehr gute mechanisch-technologische Eigenschaften, die denen der Referenzplatten überlegen sind.

Produktionsversuch 2

Der zweite Industrieversuch beinhaltete die schrittweise Substitution der Fichtenfasern durch Küstentannenfasern. In den nachfolgenden Grafiken werden die Versuchsreihen mit einem Faseranteil aus Küstentanne von 40 %, 60 % und 80 % aufgeführt. Die zur vergleichenden Beurteilung aufgeführten 19 mm dicken Referenzplatten haben eine Rohdichte von 700 kg/m³ und stellen für dieses Werk übliche Standardplatten dar.

Querzugfestigkeit

Nach DIN EN 622-5 (2004) müssen MDF für allgemeine Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich (Typ MDF) einen Mindestwert von 0,55 N/mm² für die Querzugfestigkeit aufweisen, der von allen Versuchsreihen erfüllt werden. Die Variante mit einem Küstentannenfaseranteil von 40 % zeigt hier höhere Querzugfestigkeitswerte als die Referenz, jedoch sinkt mit Erhöhung des Küstentannenfaseranteils die Querzugfestigkeit recht deutlich unter die Querzugfestigkeiten der Referenzplatten (Abbildung 4.7-4).

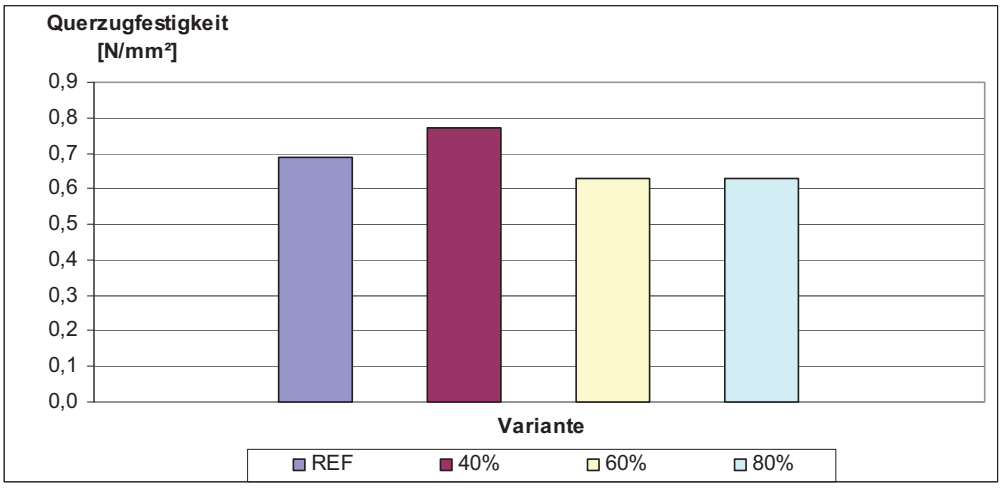

*Abbildung 4.7-4: Vergleich der **Querzugfestigkeiten** für 19 mm dicke Mitteldichte Faserplatten mit einem Küstentannenfaseranteil von 40 %, 60 % und 80 %, sowie der Referenzserie.*

Die Ausbildung des Rohdichteprofils spielt für MDF, die einer Beschichtung zugeführt werden oder an denen Profilier- und Fräsarbeiten durchgeführt werden, eine wichtige Rolle. Für solche Anwendungsbereiche wird auch bei MDF die Abhebefestigkeit geprüft. Abbildung 4.7-5 zeigt ähnliche Tendenzen der Ergebnisse zur Abhebefestigkeit vergleichend zu den Querzugfestigkeiten, wobei alle Versuchserien geringere Werte im Vergleich zur Referenzserie aufweisen.

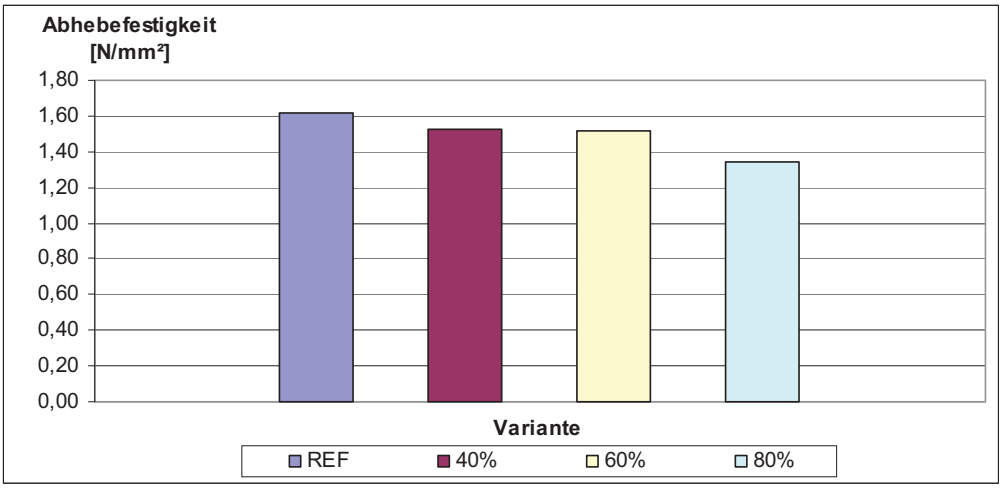

*Abbildung 4.7-5: Vergleich der **Abhebefestigkeiten** für 19 mm dicke, mitteldichte Faserplatten mit einem Küstentannenfaseranteil von 40 %, 60 % und 80 % sowie der Referenz.*

Ebenfalls zeigen die Werte der Biegefestigkeiten (Abbildung 4.7-6) und der E-Module (Abbildung 4.7-7) gleiche Entwicklungen. Auch bei sinkenden Biegefestigkeiten und E-Modulen, die mit der Erhöhung des Küstentannenfaseranteils einhergehen, sind alle Mittelwerte innerhalb der geforderten Mindestwerte von 20 N/mm² für die Biegefestigkeit und 2200 N/mm² für den E-Modul nach DIN EN 622-5 (2006).

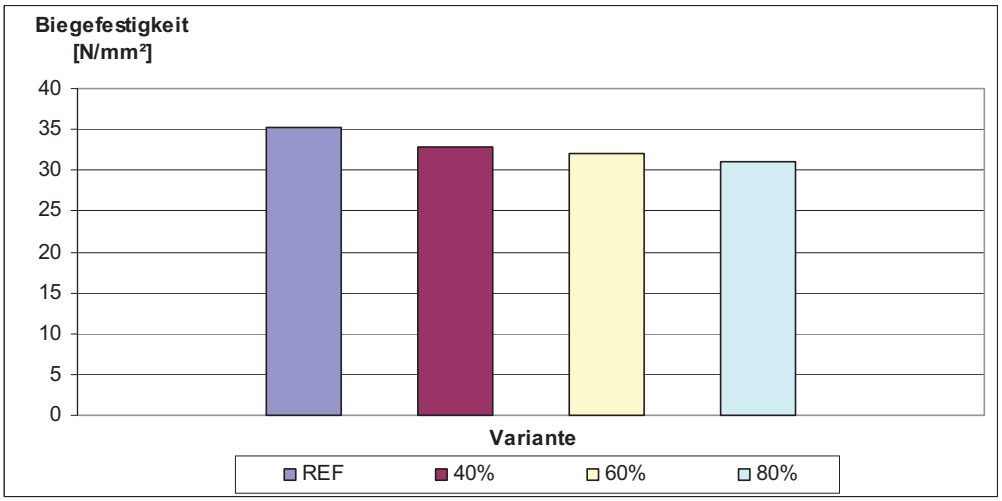

*Abbildung 4.7-6: Vergleich der **Biegefestigkeiten** für 19 mm dicke Mitteldichte Faserplatten mit einem Küstentannenfaseranteil von 40 %, 60 % und 80 % sowie der Referenz.*

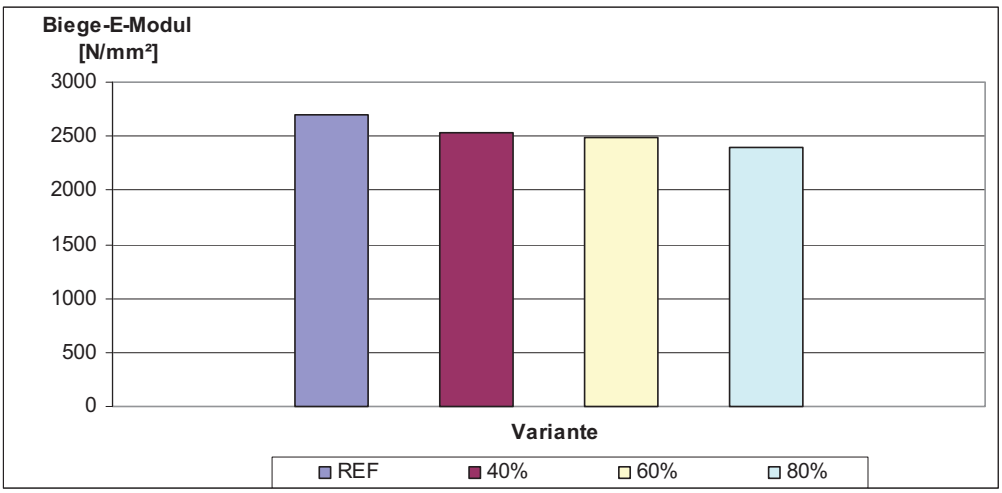

*Abbildung 4.7-7: Vergleich der **Biege-E-Module** für 19 mm dicke Mitteldichte Faserplatten mit einem Küstentannenfaseranteil von 40 %, 60 % und 80 % sowie der Referenzplatten.*

Zusammenfassend kann für den zweiten MDF- Industrieversuch festgehalten werden, dass es tendenziell zu sinkenden Festigkeitseigenschaften bei steigenden Küstentannefaseranteilen kommt. Die Ursachen für diese Entwicklungen sind nur schwer auszumachen. Berücksichtigt werden sollten die Grundeinstellungen des Refiners, die für eine optimale Ausnutzung des relativ konstanten Hackschnitzelmixes (vgl. Tabelle 3-11) bei standardisierter Plattenherstellung voreingestellt waren. Gerade die verstärkte Nutzung von Altholz in der MDF-Produktion führt zu langen Verweilzeiten der Hackschnitzel im Kocher (ERBREICH, 2002), die negative Einflüsse auf das Küstentannenholz haben können.

Eine Berücksichtigung der spezifischen Holzeigenschaften der Küstentanne bei der Parametrisierung des Produktionsprozess hat nicht stattgefunden. Schon im ersten Produktionsversuch traten Probleme hinsichtlich der Faserqualität bei unveränderten Einstellungen des Defibrators auf. Mit einer Erhöhung des Abstands der Mahlscheiben konnten hier diese Probleme weitestgehend behoben werden. Ähnliche Eingriffe hätten im zweiten Versuch wohlmöglich auch zu Verbesserungen geführt.

4.8 Beschichtungsfähigkeit industriell hergestellter Span- und Mitteldichter Faserplatten aus Küstentanne

Zur Beurteilung der Beschichtungsfähigkeit leichter und ultraleichter Spanplatten aus Küstentannenholz wurden zwei Beschichtungsversuche durchgeführt. Zum einen fanden industrielle Direktbeschichtungsversuche mit Dekorpapieren statt. Zum anderen wurden im Technikumsmaßstab HPL-Beschichtungen getestet, deren Ergebnisse hier begleitend aufgeführt werden

4.8.1 Direktbeschichtung

An zwei 19 mm dicken Spanplattenvarianten aus 100 % Küstentanneschneidspänen mit Rohdichten von 600 kg/m³ und 560 kg/m³ wurden Direktbeschichtungsversuche mit Melaminharz getränkten Papieren durchgeführt (vgl. Kap. 3.11.1). Die Auswertungen zeigen, dass sich die qualitativen Eigenschaften der Platten aus 100 % Küstentannenspänen von denen der Vergleichsplatten nur sehr geringfügig unterscheiden.

Dabei konnte ein sehr guter Verbund zwischen der Trägerplatte und dem Dekorfilm festgestellt werden. Die guten Ergebnisse der Oberflächeneigenschaften wie zum Beispiel Risszahl, Kiton und Geschlossenheit der Oberfläche bestätigen die sehr guten Eigenschaften der beschichteten Platten mit Küstentannenplatten als Trägerelement (Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4: Prüfdaten nach DIN EN 14323

Versuch	Dekor (o/u)	Rohdichte [kg/m³]	Kiton (o) Stufe	Kiton (u) Stufe	Ritzhärte (o) [N]	Glanzgrad (o/u)	Risszahl [70°C, 80°C] (o/u)	Geschlossenheit (o/u)
KüTa**1**1	U1188	594	3,5	3	1,5	11	0	2
KüTa**2**1	W 300	594	3	3	1,5	11	0	1,5
KüTa**1**2	U1188	566	3,5	3	1,5	11	0	2
KüTa**2**2	W 300	566	3	3	1,5	11	0	1,5
REF1	U1188	580	3,5	3	1,5	11	0	1,5
REF2	W 300	580	3,5	3	1,5	11	0	2

Die optischen Kontrollen der großformatigen, beschichteten Dekorplatten ergeben darüber hinaus keine Auffälligkeiten hinsichtlich Planlage und Verzug. Das Küstentannenholz verhält sich somit unkritisch auf die Beschichtungsfähigkeit. Weiterhin wirken sich die verschiedenen Rohdichten der Rohplatten nicht negativ auf die Ergebnisse aus. Spezielle Harzmodifizierungen oder Katalyseänderungen sind nicht notwendig. Insofern kann

festgestellt werden, dass leichte Platten aus 100 % Küstentannenspänen für Direktbeschichtungen mit Melamin-Papieren in Kurztaktpressen voll einsatzfähig sind.

PLATH (1971) gibt an , dass für die Beschichtung in Kurztaktpressen die Rohdichte der Platten niedriger sein darf, da es durch eine Anpassung des Melaminträgkharzes möglich ist, noch mit geringeren Drücken eine einwandfreie Fließfähigkeit des Harzes zu erreichen. Bei der Beschichtung mittels Doppelbandpressen könnten noch geringere Rohdichten der Trägerplatten eingesetzt werden, da hier verfahrensbedingt niedrigere Pressdrücke benötigt werden (SOINÉ, 1986).

4.8.2 High-Pressure-Laminate-Beschichtung (HPL)

Weiterhin wurden zwei industriell hergestellte Leichtspanplatten aus 100 % Küstentannholz mit 0,5 mm dicken Schichtpressstoffen, auch HPL (High Pressure Laminate) genannt, beschichtet (PFLEIDERER, DURUPAL). Die Rohdichten der Trägerplatten liegen bei 480 kg/m³ und 570 kg/m³ bei einer Plattendicke von 19 mm. Die Herstellungsbedingungen der Rohplatten sind im Kapitel 3.8.2 aufgeführt, die mechanisch-technologischen Eigenschaften dieser Platten im Kapitel 4.5.2.1.

Die Verpressung der Platten mit HPL und Weissleim erweist sich als durchweg unproblematisch. Dabei verfügen die beiden Varianten über eine gute Anfangshaftung. Das Postforming wird als insgesamt unproblematisch eingestuft bei einer sehr guten Kantenhaftung. Die Verleimungsqualität in der Fläche wird ebenfalls als sehr gut eingestuft. Platten mit HPL-Beschichtung finden Anwendung in Bereichen mit hohen Ansprüchen, wie zum Beispiel im Möbelbau (Küchenplatte, Regale, Theken).

4.9 Zerspanbarkeit von Span- und Mitteldichten Faserplatten bei der Fräs- und Schleifbearbeitung

Die in diesem Kapitel 4.9 dargestellten Ergebnisse zur Zerspanbarkeit von Span- und Mitteldichten Faserplatten bei der Fräs- und Schleifbearbeitung sind Auszug eines Untersuchungsberichtes des INSTITUTS FÜR WERKZEUGMASCHINEN UND FERTIGUNGSTECHNIK, Braunschweig (IWF, 2008). Weitere Ergebnisse sind im Anhang (Kap. 12.1) aufgeführt. Die Zusammenstellung der untersuchten Plattenvarianten zeigt Tabelle 4-5.

Tabelle 4-5: Untersuchte Plattenvarianten für Fräs- und Schleifversuche

	Typ	Rohdichte [kg/m³]	Dicke	KüTa [%]	BU [%]	Ind.-Mix [%]
1	**Spanplatte**	520	38	100	0	0
2	**Spanplatte**	400	38	100	0	0
3	**Spanplatte**	450	38	100	0	0
4	**Spanplatte**	450	19	100	0	0
5	**Spanplatte**	550	19	33,3	33,3	33,3
6	**Spanplatte**	550	19	100	0	0
7	**Spanplatte**	650	19	50	50	0
8	**Spanplatte**	550	19	25	25	50
9	**Spanplatte (beschichtet)**	550	19	100	0	0
10	**Spanplatte (beschichtet)**	550	19	33,3	33,3	33,3
11	**MDF**	700	19	20	Bu 25 / Fi 40	15
12	**Referenz FPO**	645	19	-	-	-
13	**Referenz FPO (beschichtet)**	677	19	-	-	-
14	**Referenz-MDF**	780	19	-	-	-

4.9.1 Fräsuntersuchungen

In den in Kapitel 3.12 bereits dargestellten Intervallen wurde das Werkzeug demontiert und mittels Tastschnittverfahren vermessen, wobei die Schneiden im Fräsgrundkörper montiert blieben. Bild 4-5 zeigt beispielhaft den Verschleißverlauf einer der beiden Schneiden, mit denen eine dreischichtige Spanplatte mit einem Küstentannenschneidspananteil von 25 % bearbeitet wurde. Deutlich ist der Einfluss der beiden stärker verdichteten Deckschichten zu erkennen.

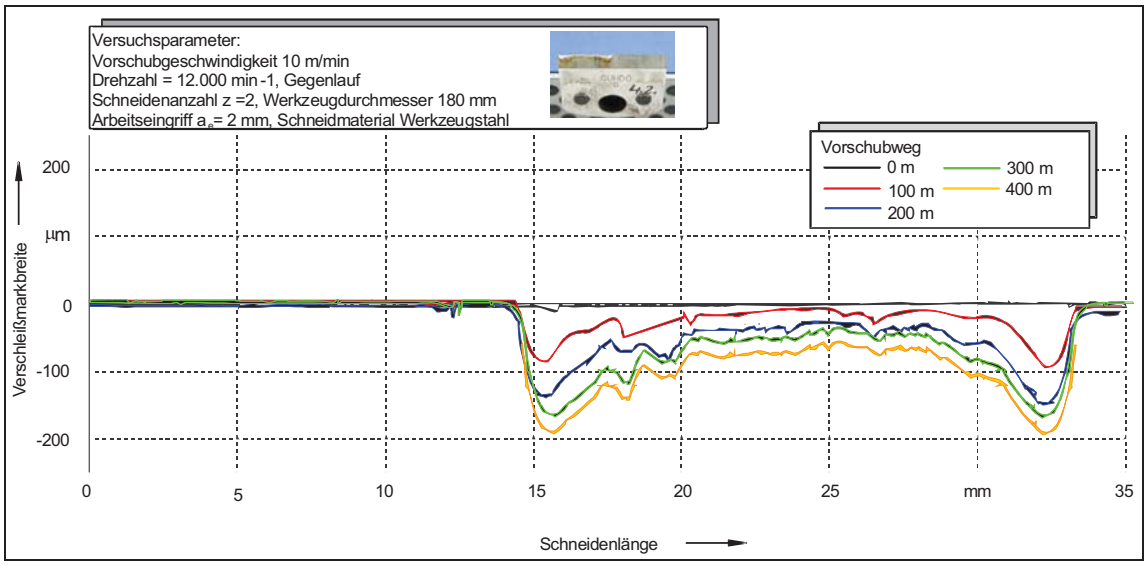

Bild 4-5: Verschleißverlauf anhand der Plattenvariante 8, mit einem Küstentannenschneidspananteil von 25% (Quelle: IWF, 2008).

Der Schneidenzustand einer jeden Schneide wurde nach Erreichen des Vorschubweges von 400 m zusätzlich mittels Fotos der Freifläche dokumentiert. Deutlich wird dabei der unterschiedliche Anteil an Anhaftungen auf der Freifläche. Den größten Einfluss auf die Anhaftungsentwicklung haben Aufbau und Art des Plattenwerkstoffes. Deutlich wird, dass MDF-Platten zu den größten Anhaftungen auf der Freifläche führen (vgl. Kap. 12.1). Dabei besteht kein deutlicher Unterschied zwischen der Platte aus Küstentanne und der Referenz.

Anders verhält es sich bei den geprüften, unbeschichteten Spanplatten. Die deutlich größten Anhaftungsbereiche entstehen bei Variante 7, einer Platte aus 50 % Küstentannenspänen und 50 % Buchenspänen (Bild 4-6). Die geringsten Anhaftungen treten bei der Referenzplatte und der Variante vier, einer Platte aus 100 % Küstentanne auf. Da das Verhältnis der verwendeten Späne bei Variante sechs und vier identisch ist, kann die Holzart der verwendeten Späne nur einen geringen Einfluss auf die Anhaftungsbildung haben, vielmehr ist hier die niedrigere Plattenrohdichte ausschlaggebend. Zusätzlich wird anhand der Schneidenfotografien deutlich, dass die Abrasivität der offen gestreuten Mittelschicht der 38 mm Platten im Vergleich zu den 19 mm Platten sehr gering ist (vgl. Kap. 12.1).

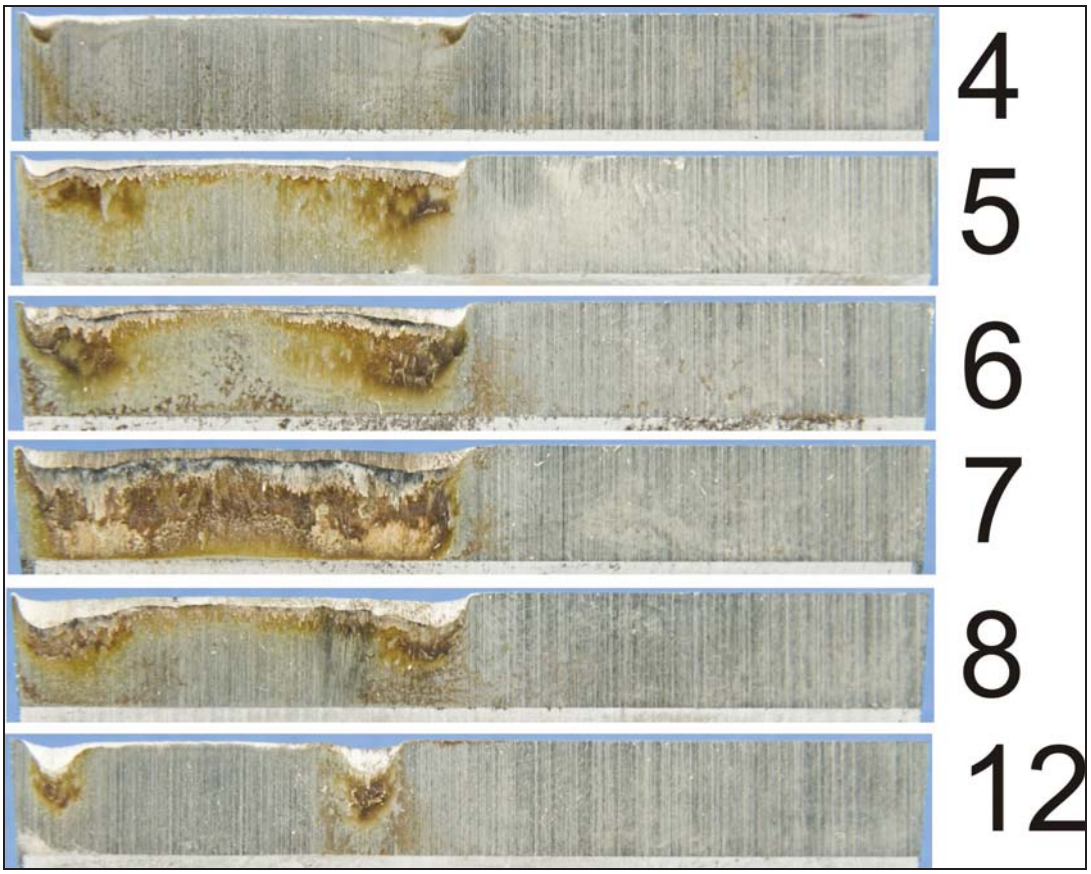

Bild 4-6: Freiflächen der Schneiden nach 400 m Vorschubweg (unbeschichtete Spanplatten, Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 4-5) (Quelle: IWF, 2008).

Im Rahmen der Tastschnittuntersuchungen wurden die Kenngrößen R_z, R_a und R_{max} dokumentiert. Dabei entspricht die Kenngröße R_z dem arithmetischen Mittelwert aus den maximalen Profilhöhen von fünf Einzelmessstrecken. R_a ist das arithmetische Mittel der Absolutbeträge der Ordinatenwerte des Rauheitsprofils. Da R_a unempfindlich gegenüber extremen Profilspitzen und Tälern reagiert, ist der Aussagewert im Vergleich zu R_z deutlich geringer. Im Fall der geprüften Werkzeugschneiden kommt es jedoch zu Ausbrüchen, so dass der Kennwert R_a gegenüber R_z aussagekräftiger ist.

Der zusätzlich aufgenommene Wert R_{max} zeigt die größten Riefen im Schneidteil auf. In Abbildung 4.9-1 sind die Ergebnisse der geprüften unbeschichteten Spanplatten dargestellt. Deutlich ist darauf zu erkennen, dass bei der Variante 8 mit einem Mischungsverhältnis von 25% Küstentanne und 25% Buche die Ergebnisse der Referenzplatte für den Messwert R_a nicht erreicht werden konnten. Alle anderen Variationen weisen teilweise deutlich bessere Werte als die Referenzplatte auf und sind somit besser zerspanbar. Beim Kennwert R_z sind drei Tendenzen in den Messwerten erkennbar. Zum einen wird deutlich, dass die Variante 8 stark über den Werten der Referenz liegt, zum anderen gibt es bei den Varianten 4 und 5 Messergebnisse, die im Bereich der Referenz liegen. Die anderen Varianten liegen deutlich

unterhalb der Ergebnisse der Referenzplatte. Bei den Messergebnissen der maximalen Rauheitsprofilhöhe (R_{max}) zeigt sich ebenfalls, dass die Varianten eins, zwei und drei die geringsten Höhen und somit auch die kleinsten Schädigungen des Werkzeuges aufweisen. Diese Spanplatten haben die geringsten Dichten und sind vollständig aus Spänen der Küstentanne hergestellt worden. Die Varianten 5, 6 und 8 führen zu größerem Verschleiß an der Werkzeugschneide und liegen im Maximum bei bis zu 180 m.

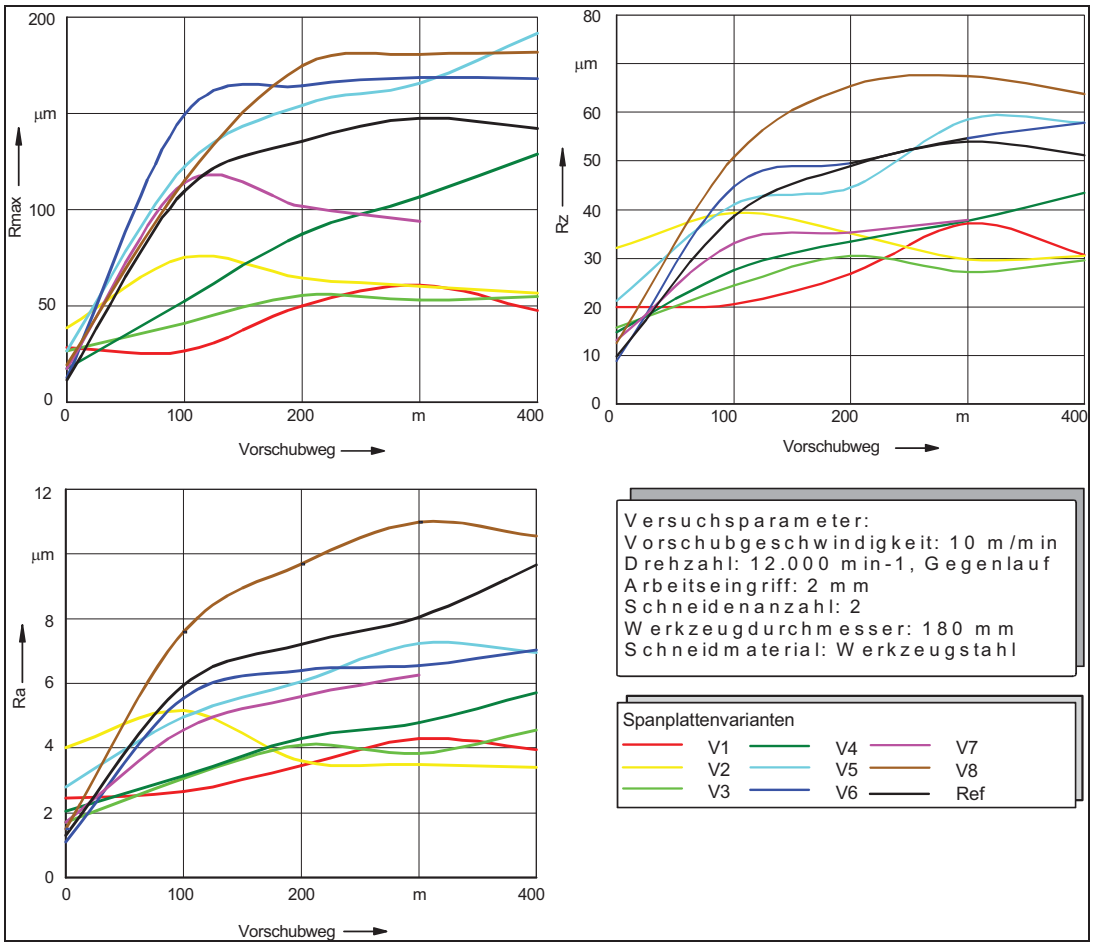

Abbildung 4.9-1 Kennwerte der Werkzeugschneiden bei der Bearbeitung der unbeschichteten Spanplatten (vgl. Tabelle 4-5) (Quelle: IWF, 2008).

Zusammenfassend ist im Hinblick auf die verwendeten Späne festzustellen, dass die Holzarten Küstentanne und Buche keinen Einfluss auf die Abrasivität an den verwendeten Werkzeugschneiden haben. Dieses wird an den Kurvenverläufen der Varianten 6 und 4 besonders deutlich, da beide vollständig aus Küstentanne hergestellt wurden, wobei Variante vier weniger abrasive Eigenschaften aufweist als Variante sechs. Dieses kann nur auf die unterschiedlichen Plattendichten zurückzuführen sein.

Die beiden untersuchten beschichteten Spanplatten sind für die Kennwerte R_a, R_z und R_{max} jeweils deutlich weniger abrasiv als die Referenzplatte (vgl. Kap. 12.1). Mit Werten um

die 9 µm liegen beide Spezifikationen um etwa ein viertel geringer als der R_a der Referenzplatte. Bei R_z und R_{max} sind die Werte nur annähernd halb so hoch. Der verwendete Industrie-Mix (Referenzplatte) ist deutlich abrasiver, wobei der von der Beschichtung verursachte Anteil nicht durch Bilder oder entsprechende Referenzplatten belegt werden kann (vgl. Kap. 12.1).

Neben den Spanplatten wurde auch eine mitteldichte Faserplattenvariante (MDF) geprüft. Diese hat einen Küstentannenanteil von ca. 20%. Die erzielten Ergebnisse entsprechen innerhalb eines sehr schmalen Toleranzfeldes den Ergebnissen der Referenzplatte (vgl. Kap. 12.1). Mit einem maximalen R_a Wert von ca. 7 µm liegt die Prüfplatte knapp unterhalb der Referenz. Bei R_z sind die Ergebnisse annähernd deckungsgleich, während bei R_{max} die Referenzwerte leicht überschritten werden. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Testplatte der Referenz in ihren Zerspanungseigenschaften entspricht. Generell weisen MDF gegenüber Spanplatten einen geringeren Werkzeugverschleiß auf (BOEHME, 1993).

Da die Qualität einer spanend bearbeiteten Werkstückkante von Holzwerkstoffen nicht eindeutig durch die Charakterisierung der verwendeten Werkzeugschneide bestimmt werden kann, wurde zusätzlich bei den beschichteten Spanplatten eine Messung der Kantenschartigkeit mittels Equam-System (**E**dge **Qua**lity **M**easurement Device; GRÜBEL, 1981) durchgeführt. Abbildung 4.9-2 zeigt auf der linken Seite die ermittelten Kennwerte der Referenzplatte über den kompletten Vorschubweg. Rechts sind die ersten achtzig Vorschubmeter der geprüften beschichteten Spanplatten dargestellt.

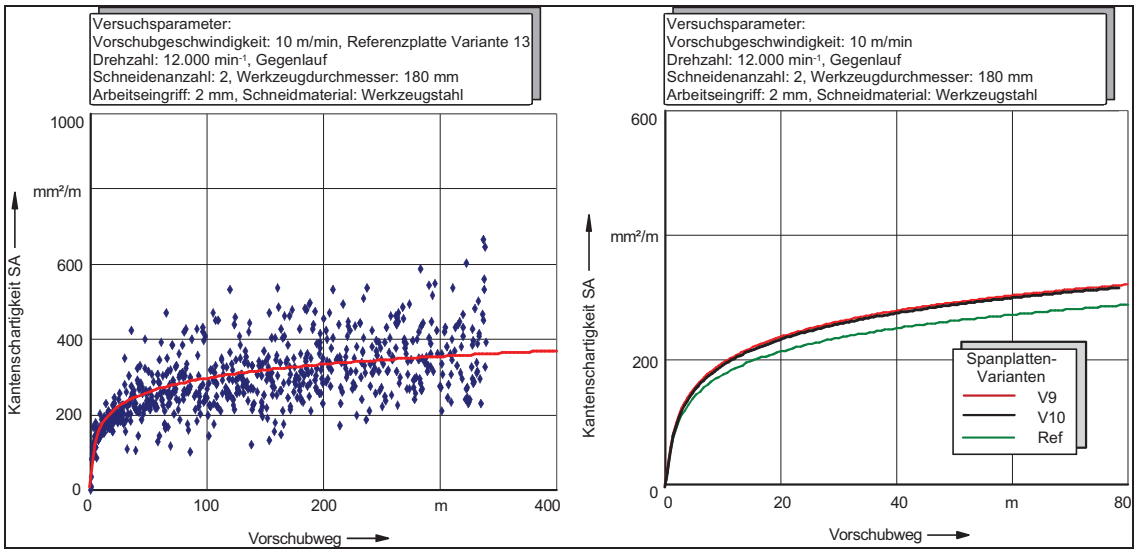

Abbildung 4.9-2: Equam Kennwerte der Referenzplatte (links) und als Detailbereich bis 80 m Vorschubweg (Quelle: IWF, 2008).

Dabei wird deutlich, dass die Referenzplatte eine bessere Kantenschartigkeit liefert als die beiden Versuchsvarianten. Dieses kann zum einen durch eine schlechtere Beschichtungsfähigkeit der Prüfplatten verursacht werden, so dass die Adhäsionskräfte zwischen Beschichtungswerkstoff und Platte nicht ausreichend sind und es so zu Ausbrüchen kommt. Zum anderen kann die Qualität des Beschichtungsstoffes unterschiedlich sein, so dass dieser innerhalb seines Gefüges bricht und es so an der Plattenkante zu Splittererscheinungen kommt.

Zusätzlich wurden die bei der Bearbeitung entstandenen Späne vor der Absaugung aufgefangen und mittels Siebung klassifiziert. Dabei zeigt sich ein deutlicher Trend der Partikelverteilungen. In Abhängigkeit von der Dichte der Platte und ihrer Beschichtung sind die einzelnen Klassen unterschiedlich stark ausgeprägt. Generell wird deutlich, dass beschichtete Spanplatten einen höheren Anteil an Grobpartikeln haben (Abbildung 4.9-3). Dieses liegt wahrscheinlich daran, dass die Beschichtung als Span nicht zum Brechen neigt und daher den Anteil der Fraktionen mit großer Siebmaschenweite erhöht. Die drei 38 mm dicken Spanplatten zeigen zwei Verteilungsmaxima auf. Daher ist davon auszugehen, dass die lockerer gestreute Mittelschicht zu einem Anteil gröberer Späne führt, da diese aus dem Verbund nicht durch Zerspanen herausgelöst werden sondern eher „herausgerissen“ werden. Dieses führt zu größeren Spänen, da diese nicht zerteilt, sondern durch Reißen der Klebefuge entstehen.

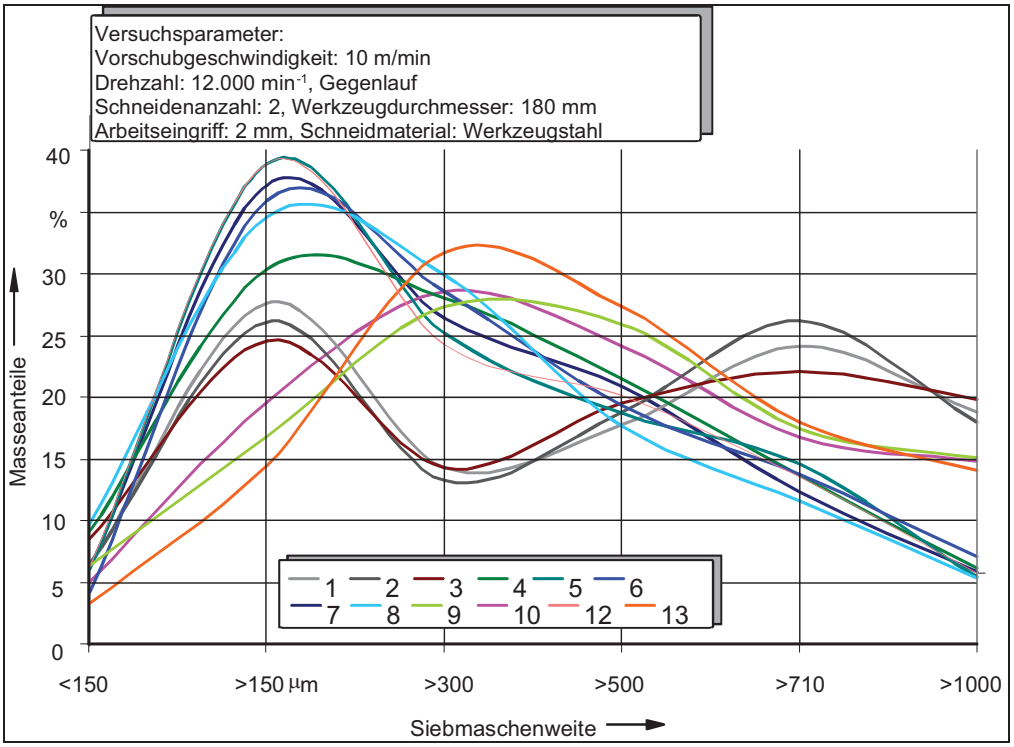

Abbildung 4.9-3 Ergebnisse der Siebfraktionierung der aufgefangenen Späne (Quelle: IWF, 2008).

4.9.2 Schleifuntersuchungen

Untersucht wurde die Zerspanungsleistung der Körnungen P60 und P180 bei den einzelnen Plattenvarianten bei der Bearbeitung der Breitflächen (Abbildung 4.9-4). Dazu wurden sowohl das Zeitspanvolumen als auch die Volumenabnahme der Probe, bezogen auf das Ausgangsvolumen, dokumentiert.

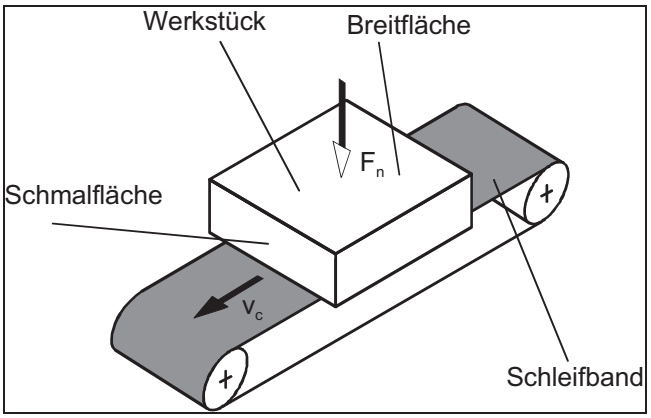

Abbildung 4.9-4: Flächenbezeichnungen am Werkstück beim Bandschleifen (Quelle: IWF, 2008).

Die Schleifuntersuchungen zeigen deutliche Unterschiede innerhalb der einzelnen Varianten als auch verglichen mit den Referenzplatten. Da die Zerspanungsleistung direkt abhängig von der Dichte des Werkstoffes ist, hat diese einen direkten Einfluss auf das Ergebnis. Dass wird an der Variante 4 mit einer Rohdichte von 450 kg/m³ deutlich. Diese Plattenvariante zeigt die schnellste Volumenabnahme über die gesamte Versuchsdauer. Innerhalb von 80 Sekunden bei P60 beziehungsweise 240 Sekunden bei P180 ist bereits die Hälfte der Platte abgeschliffen worden.

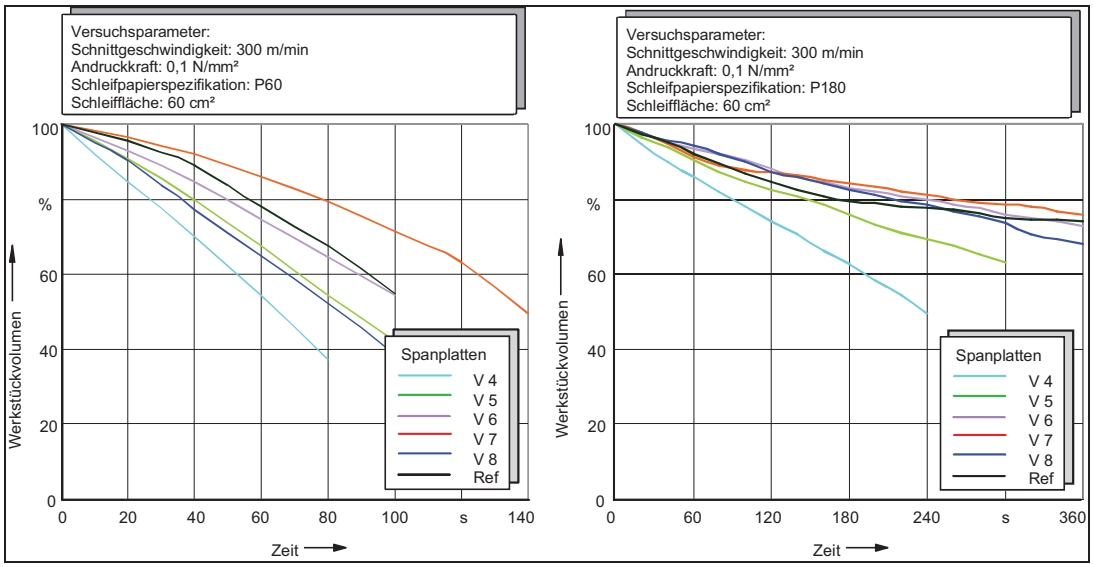

Abbildung 4.9-5 Volumenabnahme der unbeschichteten 19 mm dicken Spanplatten beim Schleifen (Quelle: IWF, 2008).

Die Varianten 5 und 8 liegen in den Volumenabnahmen leicht unterhalb der Referenzplatte und sind aufgrund ihrer geringeren Dichte ebenfalls leichter zerspanbar. Die Variante 7 mit einer mit der Referenzplatte vergleichbar hohen Dichte von 650 kg/m³ läst sich schwerer zerspanen als die Referenz. Der Unterschied ist bei der Körnung P60 deutlicher als bei P180 zu erkennen, wobei es bei P180 zu einem deutlich abfallenden Zeitspanvolumen kommt. Dieses liegt zum einen an dem deutlich geringeren Spanraum des P180 Schleifpapiers. Vor allem die höhere Spanverdichtung der Variante 7 durch die ausschließliche Verwendung von Schneidspänen verursacht das geringe Zeitspanvolumen.

Bei den 38 mm dicken Platten wird nochmals der Einfluss der Rohdichte deutlich. So ist die Variante zwei einfacher zu zerspanen (vgl. Kap. 12.1). Deutlich wird zusätzlich, dass die Randzonen der Mittelschicht bei der Variante eins höher verdichtet sind als bei den beiden anderen Varianten. So wird erst am Ende der Messzeit in etwa das gleiche Zeitspanvolumen erreicht wie bei der Variante drei. Dabei sind beide Plattenspezifikationen bis zur halben Dicke zerspant worden.

Das Spanverhalten der beschichteten Spanplatten ist aufgrund des vorhandenen Beschichtungsmaterials deutlich abhängiger von der verwendeten Schleifmittelkörnung. So wird bei der Körnung P60 die Beschichtung und der damit durch das Melaminharz verursachte Störeinfluss schneller zerspant als bei der Körnung P180 (vgl. Kap. 12.1). Beide geprüften Varianten unterschieden sich nur geringfügig voneinander, sind jedoch deutlich (P60) besser zerspanbar als die Referenzplatte. Es besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der verwendeten Spananteile. Bei der Körnung P180 ist jedoch der Unterschied zur Referenzplatte nur sehr gering.

Bei der Prüfung der MDF-Platten (Referenz und Variante 11) wird erneut deutlich, dass sich die Platte mit einem Anteil von 20% Küstentanne besser zerspanen lässt als die Referenzplatte. Das Zeitspanvolumen ist bei beiden Schleifkörnungen annähernd doppelt so hoch (vgl. Kap. 12.1).

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die in Nordamerika beheimatete große Küstentanne (*Abies grandis (Douglas) Lindley*) ist derzeit in Deutschland auf einer Fläche von mehr als 10.000 Hektar angebaut. Sie zählt zu den 14 fremdländischen Baumarten in Deutschland, die eine Relevanz auf dem deutschen Holzmarkt haben. Dabei liegt ihre Marktbedeutung deutlich hinter denen der Douglasie, der japanischen Lärche und der Hybrid-Pappel. Die in Deutschland vorhandenen Küstentannenbestände, darunter zahlreiche bestände aus Anbauversuchen, haben gezeigt, dass diese Baumart ein enormes Wuchspotential und eine gute ökologische Integrationsfähigkeit besitzt. So wird die große Küstentanne als die leistungsfähigste Nadelbaumart Westeuropas bezeichnet. Das helle und in der Textur gleichmäßige Holz zeigt vergleichbare physikalische und mechanische Eigenschaften wie das der Fichte *(Picea abies)* und der heimischen Weißtanne *(Abies alba)*. Vorhandene Literaturangaben über die bisherigen Verwendungsmöglichkeiten des Küstentannenholzes beziehen sich auf den nordamerikanischen Raum. Geschätzt wird sie dort aufgrund der größeren Faserlänge, Harzfreiheit und des hellen, weichen Holzes. Diese Eigenschaften prädestinieren ihren Einsatz in der amerikanischen Zellstoff- und Papierindustrie. Das geringe spezifische Gewicht sowie die Geruchlosigkeit im getrockneten Zustand machen das Holz zusätzlich sehr begehrt für die Verwendung im Innenbereich, wie zum Beispiel für Vertäfelungen und Holzverkleidungen. Des Weiteren wird die Küstentanne für die Herstellung von Kistenholz eingesetzt. Für die Verwendung der großen Küstentanne bei der Holzwerkstoffherstellung liegen hingegen bis dato kaum Literaturangaben vor. Über die oben angeführten Holzeigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten der Küstentanne hinaus ist das Holz hinsichtlich der Bearbeitbarkeit und der Trocknungseigenschaften vergleichbar mit dem der Fichte und der Weißtanne. Anders verhält es sich mit der Beleimbarkeit, da in dieser Hinsicht die Küstentanne durch exzellente Eigenschaften überzeugt. Damit besitzt dieses Holz beste Voraussetzungen für die Herstellung von Holzwerkstoffen, insbesondere der Produktion von Span-, OSB- und Faserplatten.

Das Versuchsholz aus Küstentanne, als Ausgangsmaterial der verwertungsorientierten Untersuchungen, erwies sich als durchweg geradschaftig und feinastig. Die Abschnitte zeigten an den Stirnenden deutliche Farbeinläufe, bei denen es sich um einen fakultativen Nasskern handelt. Veränderungen in der Lignifizierung der einzelnen Zellwandschichten sowie ein mikrobieller Abbau der verholzten Zellwände konnten dabei nicht festgestellt werden. Damit besteht keine Beeinträchtigung der elasto-mechanischen Eigenschaften des

Holzes. Das Versuchsholz besitzt daher sehr gute Voraussetzungen für eine effiziente Zerspanung mit einer qualitativ hohen Span- und Faserausbeute.

Die chemischen Analysen der verwendeten Span- und Faserstoffe verdeutlichen, dass sich das Küstentannenholz hinsichtlich der Lignin-, Pentosan- und Extraktstoffgehalte in den für Nadelhölzer üblichen Bereichen bewegt. Die Ergebnisse zeigen hier vergleichbare Werte wie bei Untersuchungen der Fichte und der Weißtanne. Auch die ermittelten pH-Werte und Pufferkapazitäten ergeben keine signifikanten Abweichungen, die eine besondere Berücksichtigung im Vergleich zu generell verwendeten Nadelhölzern bei der Härterdosierung in der Leimflotte bedürfen. Der geringe Extraktstoffgehalt des Küstentannenholzes hat zudem Vorteile bei der Laminierung mit dünnen Beschichtungsmaterialien.

Die Küstentannenspäne weisen geringe Schüttgewichte beziehungsweise geringere Streudichten auf. Industriell produzierte Mittelschichtspäne aus Messerwellenzerspanung zeigen die geringsten Schüttgewichte mit 50 kg/m³. Im Labor hergestellte Messerringspäne aus Küstentanne haben mit 75 kg/m³ ein leicht höheres Schüttgewicht. Die Deckschichtspäne aus Küstentanne weisen geringfügig höhere Schüttgewichte auf. Die Schüttgewichte der industriellen Referenzspäne liegen mit 137 kg/m³ für die Mittelschicht und 170 kg/m³ für die Deckschicht zwar in einem sehr hohen aber durchaus üblichen Bereich bezogen auf die derzeitige industrielle Spanplattenproduktion. Die Siebanalysen bestätigen einen großen Einfluss der Spangrößenverteilung und der Spanstruktur auf das Schüttgewicht. Bei gleichen Herstellungsbedingungen und Spangrößenverteilungen ist die Holzrohdichte der ausschlaggebende Faktor. Dies zeigt der Vergleich zu Fichtenspänen, die höhere Schüttgewichte aufweisen.

Die im Pilotmaßstab hergestellten Spanplatten aus Küstetannenspänen weisen klare Vorteile hinsichtlich der Biegefestigkeit und der Abhebefestigkeit auf. Die Deckschichtspäne aus Messerwellenzerspanung erweisen sich hierbei als geeigneter als die Messerringspäne. Das niedrigere Schüttgewicht und der höhere Schlankheitsgrad dieser Späne führen hier zu höheren Festigkeiten. Die Ausprägung des Rohdichtegradienten im Querschnitt der Platte spielt gerade im unteren Rohdichtebereich eine untergeordnete Rolle. Allein das bessere Verdichtungsverhältnis, bedingt durch Spanstruktur und Holzrohdichte, führt zu höheren Biege- und Abhebefestigkeiten. Späne aus Messerringzerspanung zeigen hingegen wesentlich höhere Querzugfestigkeiten. Dies auch aufgrund des geringeren Schlankheitsgrades, der sich bis zu einem bestimmten Grad positiv auf die Querzugfestigkeit auswirkt. Die großflächigen,

dünnen Messerwellenspäne haben aufgrund ihrer Struktur bereits bekannte Nachteile für die Ausbildung hoher Querzugfestigkeiten. Vereinzelt auftretende Streudichteabfälle in der Mittelschicht sowie eine ungleichmäßige Beleimung können hier als Begründung herangezogen werden. Aufgrund der geringen Querzugfestigkeiten der Platten aus Küstentannenschneidspänen werden erst bei einer Rohdichte von 650 kg/m³ die Mindestanforderungen nach DIN EN 312 für P2-Platten erfüllt. Die Sandwich-Platten aus Küstentannenspänen in der Deckschicht und Buchenspänen in der Mittelschicht verbinden gute Biege- und Abhebefestigkeiten mit hohen Querzugfestigkeiten. Bei der Betrachtung des linearen Zusammenhangs der Einzelwerte erfüllen die Sandwich-Platten die Mindestanforderungen nach DIN EN 312 für P2-Platten bei einer Rohdichte von 610 kg/m³. Die Biegefestigkeit stellt dabei den limitierenden Faktor dar. Die Verwendung von Messerwellenspänen in der Deckschicht der Sandwich-Platten führt zu höheren Biege- und Querzugfestigkeiten als die Verwendung von Messerringspänen. Die Referenzplatten erreichen alle Mindestwerte für P2-Platten bei einer Rohdichte von 670 kg/m³. Auch hier bedingt die Biegefestigkeit diese hohen Rohdichten.

Die industriellen Produktionsversuche zur Herstellung von leichten Spanplatten aus Küstentanne bestätigen die Ergebnisse der im Pilotmaßstab angefertigten Platten. Der entscheidende Unterschied zur labor- und pilottechnischen Herstellung liegt hier in der produktionsbedingten Nachzerkleinerung der Deck- und Mittelschichtspäne, die vor allem während der Beleimung in schnell laufenden Ringmischern stattfindet. Bei großflächigen Messerwellenspänen hat diese Nachzerkleinerung einen positiven Einfluss auf alle Festigkeitswerte der Platten. Sowohl Deckschicht- als auch Mittelschichtspäne aus Küstentanne erweisen sich als rieselfähig und können ohne Probleme in schnell laufenden Ringmischern beleimt werden. Bei der Verarbeitung leichter Holzarten erweist sich die gleichzeitige Verwendung von Anlagenkomponenten, die teils nach gravimetrischen, teils nach volumetrischen Prinzipien arbeiten, als problematisch.

Im ersten Produktionsversuch wurden 19 mm dicke Spanplatten sowohl aus 100 % Küstentanne als auch in Abmischung mit anderen Spansortimenten hergestellt. Im Vergleich zu den Pilotspanplatten erfüllen 19 mm dicke Industrieplatten aus Küstentanne den Mindestwert von 0,35 N/mm² für die Querzugfestigkeit bei 560 kg/m³ und auch alle anderen Mindestanforderungen nach DIN EN 312 für P2-Platten, da die Mindestwerte für Biege- und Abhebefestigkeit bereits bei einer Rohdichte von 530 kg/m³ erfüllt werden. Im Pilotmaßstab konnten entsprechende Querzugfestigkeiten erst bei einer Rohdichte von 650 kg/m³ erreicht werden. Gleichmäßig auftretende Streudichteabfälle in der Mittelschicht bei der Verwendung

großflächiger Späne mit hohem Schlankheitsgrad führen zu diesen geringen Werten. Damit hat die Nachzerkleinerung der Mittelschichtspäne während des Beleimungsprozesses einen positiven Einfluss auf die Querzugfestigkeit. Im weiteren Verlauf dieses Produktionsversuches wurde der Anteil der Küstentannenspäne sukzessiv gesenkt. Anschließend wurden die Festigkeitseigenschaften der Platten ermittelt. Dabei zeigt sich, dass mit sinkendem Schneidspananteil die Biegefestigkeiten sinken und die Querzugfestigkeiten jedoch steigen. Der bereits bekannte Zusammenhang sinkender Biegefestigkeiten und steigender Querzugfestigkeiten bei steigenden Spandicken sowie sinkenden Spanlängen konnten somit bestätigt werden. Kubische Spanstrukturen, wie sie bei der Zerspanung von Hackschnitzeln auftreten, würden hier zu deutliche besseren Querzugfestigkeiten führen, wie bereits Ergebnisse bei Untersuchungen im Technikumsmaßstab belegt haben.

Bei der Gegenüberstellung der industriellen Produktionsversuche mit den Ergebnissen der Untersuchungen im Pilotmaßstab stellt sich heraus, dass eine grundsätzliche Trennung der Spanaufbereitung für Deck- und Mittelschicht für eine effiziente Rohstoffnutzung von Vorteil wäre. Hochwertige Schneidspäne sollten dabei ausschließlich für die Deckschicht verwendet werden. Untersuchungen zeigten, dass bei gleichem Deckschichtmaterial die Verwendung unterschiedlicher Mittelschichtspäne keinen signifikanten Einfluss auf die Biegefestigkeit hat. Umgekehrt zeigt der Einsatz unterschiedlicher Deckschichtmaterialien einen deutlichen Einfluss auf die Querzugfestigkeit. Zur Begründung können die unterschiedlichen Streudichten der Deckschichtspäne angeführt werden. Aufgrund der Streudichten bestehen verschiedene Widerstände gegenüber dem Pressdruck. Somit werden auch ungleiche Drücke auf die Mitteschicht während der Verpressung ausgeübt. Ein geringeres Schüttgewicht der Deckschichtspäne führt demnach zu höheren spezifischen Pressdrücken und somit zu höheren Querzugfestigkeiten. Somit ist der Einfluss der Deckschichtbeschaffenheit auf die Festigkeitseigenschaften der Mittelschicht weitaus größer als bisher angenommen. Die Verwendung dünner Küstentannenschneidspäne in der Deckschicht hätte zudem positive Auswirkungen auf die Oberflächengüte hinsichtlich der Oberflächenunruhe und auf ihre Schönheitswirkung.

Die Annahme, dass Streudichte und Verdichtungsverhältnis Auswirkungen auf den spezifischen Pressdruck haben, konnte durch Untersuchungen bestätigt werden. Zur Bestimmung des holz- und spanspezifischen Pressdrucks wurden einschichtige Spanplatten aus Küstentannenholz nach Messerwellen- und Messerringzerspanung hergestellt. Vergleichend dazu wurden Referenzplatten aus einer industriell aufbereiteten Spanmischung angefertigt. Dabei weisen die Küstentannenspäne aus Messerwellenzerspanung die höchsten

maximalen Pressdrücke bei Erreichen der Plattensolldicke auf, gefolgt von den Spänen aus Messerringzerspanung. Bei einer Erhöhung der Plattenrohdichte steigen die spezifischen Pressdrücke bei Spänen mit geringeren Streudichten schneller an. Zurückzuführen ist dies auf einen steileren Anstieg des Verdichtungsverhältnisses bei einer Erhöhung der Plattenrohdichte gegenüber Spänen mit höheren Streudichten. In der Folge ergibt sich auch bei einer Erhöhung der Plattendicke ein höheres Verdichtungsverhältnis bei Spänen mit niedrigen Streudichten.

Diese Hypothese wurde durch einen industriellen Produktionsversuch zur Herstellung von 38 mm dicken Spanplatten (Arbeitsplatten) untermauert. Die Differenz der Festigkeitswerte gegenüber den Referenzplatten ist hier deutlich höher im Vergleich zu den Ergebnissen bei 19 mm dicken Spanplatten aus Küstentanne. Die Ansprüche, die an Arbeitsplatten gestellt werden, richten sich üblicherweise nach den Anforderungen für P2-Platten nach DIN EN 312. Die Platten aus Küstentannespänen erfüllen die Norm bei einer Rohdichte von 460 kg/m³ gegenüber den Referenzplatten, bei denen 600 kg/m³ benötigt werden. Bei der Betrachtung der Biegefestigkeit ergibt sich eine Rohdichtedifferenz von 200 kg/m³ zur Erreichung der gleichen Biegefestigkeit. Bei 19 mm Platten besteht noch eine Rohdichtedifferenz von ungefähr 80 kg/m³ zur Erlangung der gleichen Biegefestigkeit.

In einem weiteren Produktionsversuch wurden 12 mm dicke Spanplatten mit einem Schneidspananteil von 39 % hergestellt, getrennt nach Küstentannen- und Fichten/Kiefernspänen. Trotz der relativ niedrigen Beimischung liegen die gemessenen Schüttgewichte des Spanmaterials mit anteiligen Küstentannenschneidspänen in allen Produktionsabschnitten um ca. 16 % unter denen mit anteiligen Fichten-/ Kiefernspänen. Dieser Vorteil erweist sich auch noch bei der Messung von beleimten Spänen in Form einer geringeren Streudichte, beziehungsweise einer erhöhten Streuhöhe des Spankuchens. Dadurch ergibt sich eine höhere Spanverdichtung bei der Verpressung. Die Auswertung der Plattenprüfungen offenbart diesen physikalischen Vorteil hinsichtlich der mechanisch-technologischen Eigenschaften. Sowohl Querzug- und Biegefestigkeiten als auch die Abhebefestigkeiten der Spanplatten mit Küstentannenspänen liegen entscheidend über den Festigkeitswerten der produzierten Referenzplatten mit Fichten- und Kiefernspänen. Hervorzuheben ist die Biegefestigkeit, die um 13 % erhöht ist. Die Einbeziehung des benötigten spezifischen Pressdrucks bei der Verpressung der Versuchsplatten bestätigt die Annahme zwischen den Schüttgewichten und den mechanisch-technologischen Eigenschaften der Platten eine Korrelation besteht. Die zuvor genannten Produktionsversuche haben ergeben, dass dieser Effekt mit steigendem Anteil von Küstentannenspänen deutlicher wird.

Der bei der Zerspanung der Küstentanne gemessene holzspezifische Energieverbrauch zeigt, das bezogen auf eine atro Tonne Holz tendenziell keine Energieeinsparung gegenüber der Fichte und der Kiefer erwartet werden kann. Bezogen auf einen Kubikmeter Holz erweist sich jedoch eine signifikante Reduktion des Energieverbrauchs bei der Zerspanung. Ein Grund dafür ist das Verhältnis der Masse zum Volumen des Holzes, also der Rohdichte. Bei gleicher Ausgangsfeuchte des Holzes liegt die Zerspanungsenergie pro Kubikmeter Küstentanne 15 % unterhalb der benötigten Energie die bei der Referenzmessung aus einem zu gleichen Anteilen bestehendem Fichten- und Kiefernholzsortiment festgestellt wurde. Mit dem erhaltenen Spanmaterial wurden Siebanalysen und Schüttgewichtsmessungen durchgeführt. Die geringe Rohdichte des Küstentannenholzes zeigt sich in einem geringen Schüttgewicht des erhaltenen Spanmaterials, das hier bei 67 kg/m³ liegt gegenüber 79 kg/m³ bei Spänen aus Fichten- und Kiefernholz. Dabei sind die Festigkeitseigenschaften des Küstentannenholzes und damit der Späne ähnlich der der Fichte.

Bei Spanplatten, die zu 100 % aus Küstentannenholz hergestellt wurden, ist eine Herabsetzung der Plattenrohdichte um bis zu 30 % möglich bei gleichzeitiger Erfüllung der entsprechenden Festigkeitswerte nach den derzeitigen DIN EN Normen. Durch eine Verbesserung der Zerspanungsparameter sowie einer Optimierung der Spanbeleimung können die holzspezifischen Eigenschaften der Küstentanne zu einer noch ökonomischeren Produktionsweise führen.

Mit einer veränderten Sichtweise von einer gewichtsmäßigen Betrachtung des Rohstoffes zu einer gesteigerten Nutzung des Rohstoffvolumenstroms bei der Spanplattenherstellung kann eine Reduktion der Plattenrohdichte und damit ein reduzierter Rohstoffeinsatz realisiert werden. Die Zerspanungsversuche zur Ermittlung des holzspezifischen Energieverbrauchs haben gezeigt, dass auf dieser Grundlage der Energieeinsatz zusätzlich vermindert werden kann. Durch die in der Holzwerkstoffindustrie übliche Atro-Gewichtsabrechnung bei Holzlieferungen können auf diesem Wege weitere Einsparungen umgesetzt werden.

Im Pilotmaßstab hergestellte Mitteldichte Faserplatten aus Buchen- und Küstentannenfasern zeigen sehr hohe Biege- und Querzugfestigkeiten. Dabei erfüllen die MDF aus Küstentannenfasern die Mindestanforderungen nach DIN EN 622-5 für Platten des Typs „MDF“ und „MDF.La“ bereits bei einer Rohdichte von 600 kg/m³. Die Referenzplatten erfüllen erst bei einer Rohdichte von 750 kg/m³ diese Norm. MDF-Platten aus Buchenfasern

weisen geringere Biegefestigkeiten und hohe Querzugfestigkeiten auf. Die hohen Querzugfestigkeiten treten allerdings erst ab einer Rohdichte von 650 kg/m³ auf.

Keine eindeutigen Ergebnisse konnten mittels der zwei durchgeführten industriellen Produktionsversuche zur Herstellung von Mitteldichten Faserplatten erzielt werden. Die Gründe hierfür liegen bei den Einstellungen der Refinerparameter. Aufgrund der zeitgleichen Verwendung unterschiedlicher Rohstoffe, wie zum Beispiel von Hart- und Weichhölzern, werden in der industriellen MDF-Herstellung zur Homogenisierung der Fasern sehr hohe, auf die Mahlscheiben wirkende, Drücke gefahren. Eine einhergehende Zerstörung festigkeitsbildender Eigenschaften der Fasern wird hierdurch hervorgerufen. Die Produktionsversuche zeigen, dass erst mit einer Erhöhung des Mahlplattenabstandes über Druckverringerung eine Verbesserung der Faserqualität zu erreichen ist. Diese Ergebnisse bestätigen demnach die leichte Verarbeitbarkeit des Küstentanneholzes, die bereits über Zerspanungsversuche im Rahmen dieser Arbeit ermittelt wurde.

An zwei 19 mm dicken Spanplattenvarianten aus 100 % Küstentanneschneidspänen mit Rohdichten von 600 kg/m³ und 560 kg/m³ wurden Direktbeschichtungsversuche mit Melaminharz getränkten Papieren durchgeführt. Die Auswertungen zeigen, dass sich die qualitativen Eigenschaften der Platten aus 100 % Küstentannenspänen von denen der Vergleichsplatten nur sehr geringfügig unterscheiden. Dabei konnte ein sehr guter Verbund zwischen der Trägerplatte und dem Dekorfilm festgestellt werden. Die guten Ergebnisse der Oberflächeneigenschaften wie zum Beispiel Risszahl, Kiton und Geschlossenheit der Oberfläche bestätigen die sehr guten Eigenschaften der DBS-Platten mit Küstentannenplatten als Trägerplatte. Das Küstentannenholz verhält sich somit unkritisch auf die Beschichtungsfähigkeit. Die verschiedenen Rohdichten der Rohplatten wirken sich nicht negativ auf die Ergebnisse aus und spezielle Harzmodifizierungen oder Katalyseänderungen sind nicht notwendig. Insofern konnte sichergestellt werden, dass leichte Platten aus 100 % Küstentannenspänen voll DBS-beschichtungsfähig sind.

Weiterhin wurden zwei industriell hergestellte Leichtspanplatten aus 100 % Küstentannholz mit 0,5 mm dicken Schichtpressstoffen, auch HPL (High Pressure Laminate) genannt, beschichtet (PFLEIDERER, DURUPAL). Die Rohdichten der 19 mm starken Trägerplatten liegen bei 480 kg/m³ und 570 kg/m³. Die Verpressung dieser Platten mit HPL und Weissleim erweist sich als durchweg unproblematisch. Dabei verfügen die beiden Varianten über eine gute Anfangshaftung. Das Postforming wird als insgesamt unproblematisch eingestuft bei einer sehr guten Kantenhaftung. Die Verleimungsqualität in

der Fläche wird ebenfalls als sehr gut eingestuft. Platten mit HPL-Beschichtung finden Anwendung in Bereichen mit hohen Ansprüchen, wie zum Beispiel im Möbelbau (Küchenplatte, Regale, Theken, etc.).

Leichte Dekorplatten können für die Verwendung im Möbelbau (Schrankwände) sowie im Bereich der Innenwandverkleidungen von Vorteil sein. Für Anwendungen mit hoher Beanspruchung der horizontalen Flächen sind sie ungeeignet.

Sowohl die Fräsuntersuchungen wie auch die Schleifuntersuchungen am INSTITUT FÜR WERKZEUGMASCHINEN UND FERTIGUNGSTECHNIK, Braunschweig haben gezeigt, dass die entwickelten Holzwerkstoffe besser zerspanbar sind als die Referenzplatten. Wenige aber sehr tiefe Schädigungen an den Schneiden deuten auf vereinzelte starke abrasive Einflüsse, wie zum Beispiel silikatische Einschlüsse in den verwendeten Spänen, hin. Die beschichteten Spanplatten lassen sich besser bearbeiten als die Referenzplatten. Die gemessene Kantenschartigkeit der Varianten ist annähernd identisch, liegt jedoch oberhalb der Referenz. Differenzen entstehen durch die unterschiedlichen Dichten und lockereren Mittelschichten der Holzwerkstoffplatten, die bei der Bearbeitung eher zu einem Herausreißen als zu einem Zerspanen der Partikel führen.

Durch eine gezielte, auf die spezifischen Holzeigenschaften der Küstentanne ausgelegte Verarbeitung, können sehr leichte Span- und Mitteldichte Faserplatten mit hohen Festigkeiten hergestellt werden. Dabei ist es möglich im Bereich der Faserplatten Leicht-MDF mit Festigkeitseigenschaften des Typs MDF nach DIN EN 622-5 (2004) zu produzieren. Die Vorteile liegen hier in der Rohstoffeinsparung und im Handling der Platten. Bei optimierten Produktionsprozessen kann auch die Herstellung von Ultra-Leicht MDF mit den vorher genannten Eigenschaften möglich sein. Diese Werkstoffe könnten damit tragende Eigenschaften mit wärme- und schalldämmenden Funktionen kombinieren. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung ökologischer Baustoffe kann eine solche, spezielle Anwendung von Interesse sein. Trotz eines steigenden Aufkommens des Küstentannenholzes ist die Verfügbarkeit im Vergleich zu den etablierten Nadelbaumarten Deutschlands sehr gering. Daher würde eine gewöhnliche Verwendung des Holzes zur alleinigen Auffüllung der Rohstoffressourcen in der Holzwerkstoffindustrie ein nicht vollständig genutztes Potenzial der Küstentanne darstellen. Eine gezielte Nutzung der Küstentanne in Kurzumtriebsplantagen sollte für die Gewinnung weiterer Rohstoffpotenziale diskutiert werden.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass eine Kombination der Baumarten Küstentanne und Buche zu verbesserten Eigenschaften der daraus produzierten Holzwerkstoffe führen.

Voraussetzung dafür ist eine getrennte Aufbereitung für die Deck- und Mittelschicht, so dass die Buche ausschließlich in der Mittelschicht verarbeitet werden kann und so etwaige, gesundheitsschädliche Buchenschleifstäube vermieden werden können. Zudem sind die Eigenschaften der Küstentanne prädestiniert für die Verwendung in Deckschichtlagen. Weiterhin kann der alleinige Einsatz von Küstentannenholz eine mögliche Alternative für die Produktion von leichten Holzwerkstoffen sein, da Gewichtseinsparungen von bis zu 30 % realisierbar sind, Bezug nehmend auf die zurzeit üblich gefahrenen Rohdichten in der Span- und Faserplattenindustrie.

6 Ausblick

Die Verwendung einer schnellwüchsigen Baumart, wie die der Küstentanne in der Holzwerkstoffindustrie bringt große Vorteile mit sich. Eine Verringerung der Plattenrohdichten und Rohstoffeinsparungen können so realisiert werden. Dabei ist neben der üblichen Verwendung von anfallendem Industrieholz bei der Durchforstung beziehungsweise bei der Endnutzung des Bestandes die Verwertung von vorwüchsigem Küstentannenholz aus Erstdurchforstungen interessant. Untersuchungen zeigten, dass aufgrund der breiten Jahrringe und der damit verbundenen geringeren Festigkeiten dieses Holz nur bedingt für die Sägeindustrie geeignet ist. Somit würden sich diese beiden Industriezweige bei der Nutzung des Holzes ergänzen und dem Waldbesitzer frühzeitig Gewinne bringen.

Die wirtschaftlichen Aussichten für die Umsetzung der hier erzielten Ergebnisse sind abhängig von den zukünftigen, forstpolitischen Rahmenbedingungen zugunsten eines verstärkten Anbaus der Küstentanne. Von industrieller Seite her ist eine gezielte Nutzung dieser Baumart gewünscht und erfolgversprechend. Vorteilhaft wird hier die Möglichkeit der frühzeitigen Nutzung aufgrund kurzer Umtriebszeiten angesehen. Insbesondere juveniles Holz der Küstentanne, welches vor allem bei Erstdurchforstungen anfällt, ist für die Herstellung leichter Holzwerkstoffe besonders geeignet. Die Forderung zur Senkung der Plattengewichte ist nicht neu und besteht schon seit Jahrzehnten, dies vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen.

Eine erfolgreiche Umsetzung der hier vorgestellten Sandwich-Platte aus Küstentannenspänen in der Deckschicht und Buchenspänen in der Mittelschicht ist schwer zu beurteilen. Die technischen Gegebenheiten in der Spanplattenindustrie sind zumeist nicht für eine konsequente Trennung der Deck- und Mittelschichtaufarbeitung ausgelegt, die hier allerdings notwendig wäre. Zur Ausnutzung der holzspezifischen Eigenschaften von Buche und Küstentanne erweist sich dieses Konzept indes als sehr vorteilhaft.

Bezüglich der in der Holzwerkstoffindustrie bereits bekannten Buche ist dies nur eingeschränkt möglich. Die Buche wird zurzeit in einem mehr oder weniger geringen Prozentsatz zugemischt um eventuelle Probleme, die durch das Schleifen von Hartholz auftreten können, zu minimieren. Der Stand der Technik ist potentiell in der Lage Buchenschleifstäube zu vermeiden. Die Spananlage muss allerdings über eine getrennte Aufbereitung von Deck- und Mittelschichtspänen verfügen, so dass Buchenholz ausschließlich in der Mittelschicht angelegt werden kann. Ein Beispiel dafür ist die Sandwich-

Spanplatte, die am BÜSGEN-INSTITUT Göttingen im Pilotmaßstab entwickelt wurde. Die in den Zwischenberichten zu diesem Projektvorhaben dargestellten Industrieversuche im Spanplattenwerk Gütersloh der PFLEIDERER HOLZWERKSTOFFE GMBH & CO. KG haben weiterhin gezeigt, dass auch mit höheren Anteilen von Buchenschneidspänen in der Mittelschicht sehr gute Platteneigenschaften erzielt werden können, die denen der Standardplatten überlegen sind. Dies ist allerdings nur dann gegeben, wenn sich die Plattenrohdichten in einem derzeit üblichen Bereich von ca. 670 kg/m³ bei 19 mm dicken Platten befinden. Hier zeigt das Buchenholz auch Vorteile gegenüber anderen, leichteren Nadelholzarten, da die Zellstruktur des Buchenholzes auch bei hohen Rohdichten erhalten bleibt und nicht kollabiert. Dies bestätigen auch die im Vorfeld durchgeführten Pilotversuche am BÜSGEN-INSTITUT, Göttingen. Die Gründe dafür liegen in der relativ hohen Rohdichte des Buchenholzes.

Eine erhöhte stoffliche Nutzung von Buchenholz ist zurzeit nicht wirtschaftlich und es ist auch nicht zu erwarten, dass die Buchenindustrieholzpreise in naher Zukunft entscheidend sinken werden, da die energetische Nutzung des Buchenholzes stetig an Bedeutung zunimmt. Bei einer Entspannung der Preissituation ist es aber durchaus in Betracht zu ziehen, dass solche Überlegungen umgesetzt werden. Weitere Erwägungen, auch andere Rohstoffe ausschließlich in der Deck- bzw. Mittelschicht der Spanlatte zu verarbeiten, bestehen bereits.

Bezüglich der Küstentanne haben bisherige Industrieversuche gezeigt, dass die Küstentanne ein hohes Potential zur Herstellung von Holzwerkstoffen besitzt. Die in diesem Vorhaben ermittelten Erkenntnisse über die sehr guten mechanisch-technologischen Eigenschaften der hergestellten Span- und Faserplatten aus Küstentannenholz sind in dieser Form weltweit noch nicht bekannt gewesen. Die Plattenrohdichten konnten im Vergleich zur Standardplatte um bis zu 200 kg/m³ gesenkt werden ohne Einbußen bei den Festigkeitswerten hinnehmen zu müssen. Diese Resultate konnten ohne technische Veränderungen der Spananlage erzielt werden. Man kann davon ausgehen, dass mit relativ geringen Veränderungen an der Spanaufbereitung und am Beleimungssystem diese Eigenschaften noch deutlich verbessert werden können.

Die derzeitige Marktsituation in der Holzwerkstoffindustrie zeigt starke Tendenzen zur Herstellung von leichten und ultraleichten Platten, die unter anderem in der Möbelindustrie vermehrt nachgefragt werden. Als Beispiele hierfür stehen unter anderem die Spanwaben- bzw. die Naturholzwabenplatten. Die Nachteile dieser Platten bestehen darin, dass sie mit völlig neuen Anlagenkonzepten bzw. Prozesslinien hergestellt werden müssen. Es

besteht also ein sehr großer Investitionsaufwand. Das leichte Holz der Küstentanne lässt sich hingegen, wie oben erwähnt, konventionell mit bereits vorhandener Spantechnologie zu leichten Platten verarbeiten. Voraussetzung dafür ist im Wesentlichen eine qualitativ hochwertige Spanaufbereitung. Diese Erkenntnisse lassen sich auch unter Vorbehalt auf andere Baumarten wie zum Beispiel Birke, Pappel, Weide und Erle übertragen. Die hergestellten Spanplatten der Industrieversuche aus Küstentannenholz und Küstentannenholz in Abmischung mit Buchenholz und industriell aufbereitetem Spanmixturen könnten durchaus in den Handel gebracht werden. Dort könnten die sehr leichten Platten als Verpackungsmaterial, die leichten Platten für die Möbelindustrie und die Platten mit normaler Rohdichte für tragende Zwecke eingesetzt werden. Somit erweist sich die Küstentanne nicht nur als eine neue Rohstoffquelle, vielmehr lassen sich neue Eigenschaftsprofile für Holzwerkstoffe, insbesondere für Spanplatten realisieren, die in Konkurrenz zu anderen, aufwändig hergestellten Leichtplatten stehen. Weiterhin steht die Holzwerkstoffindustrie nicht in unmittelbarer Konkurrenz zur Sägeindustrie, da für Holzwerkstoffe schwache, für Bau- und Konstruktionsholz nicht geeignete Sortimente benötigt werden. Alle oben aufgeführten Vorteile stellen eine klare Verbesserung der Wettbewerbssituation für die Holzwerkstoffindustrie dar.

Durch die wissenschaftliche Aufarbeitung der Industrieversuche von Seiten der Universität Göttingen und dem damit verbundenen Wissensaustausch werden über das Buche/Küstentannen-Projekt hinaus neue Ansätze für weitere Forschungsvorhaben geschaffen. Diese beziehen sich sowohl auf technische Forschungsvorhaben als auch auf neue Rohstoffe, die in der Holzwerkstoffindustrie mit neuen Ansätzen eingesetzt werden können. Somit führt dieses Projekt zu einer Steigerung der wissenschaftlichen Konkurrenzfähigkeit. Zudem ist die Zusammenarbeit mit der Universität Göttingen dadurch deutlich verstärkt worden. Es ist davon auszugehen, dass diese Partnerschaft noch weiter ausgebaut wird.

Weiterhin zeigt sich vermehrt ein öffentliches Interesse von Seiten der Forstbetriebe, die erfahren haben, dass die Küstentanne als eigenständige Baumart ins Zentrum des Interesses gerückt ist (NV-FVA, 2009). Dabei handelt es sich unter anderem um private Forstbetriebe, die bereits in gewissen Umfang die Küstentanne angebaut haben und sich über die Verarbeitung und Vermarktung dieser Baumart informieren wollen. Zudem ist in den letzten zwei Jahren bekannt geworden, dass einige private Forstbetriebe in Sachsen-Anhalt und Brandenburg die Küstentanne vermehrt angebaut haben. Die Tatsache, dass nach Kyrill ca. 1000 ha Küstetanne in Nordrhein-Westfalen angebaut werden sollen (Mitteilung NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT, 2009), wirkt zusätzlich verstärkend

auf das öffentliche Interesse. Bei einer Verbreitung der Ergebnisse nach Beendigung des Projektes wird dieses Interesse sicherlich weiter ansteigen.

Im nördlichen Raum Niedersachsens (Forstamt Alhorn) hat sich bereits ein eigener Markt für die Küstentanne etabliert. Hier werden regionale Sägewerke mit Küstentanne beliefert. Die Rohholzpreise sind zurzeit annähernd vergleichbar mit denen der Fichte.

7 Literaturverzeichnis

ALDEN, H. A. 1997: Softwoods of America. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison, Wisconsin, Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-102.

ARNOLD, D. 1977: Dosierung und Regelung für Spänebeleimung und Spänestreuung bei der Spanplattenherstellung. Holz als Roh- und Werkstoff, 35 (1977), S.359-363.

BASF AG. 2008: Technisches Merkblatt für Leime und Tränkharze für die Holzwerkstoff Industrie. Kaurit 350 flüssig, Nr. M 5884 d, Februar 2008.

BASF AG. 2008: Technisches Merkblatt für Leime und Tränkharze für die Holzwerkstoff Industrie. Kaurit 413 flüssig, Nr. M 6290 d, Februar 2008.

BASF AG. 2008: Technisches Merkblatt für Leime und Tränkharze für die Holzwerkstoff Industrie. Kaurit 465 flüssig, Nr. M 6176 d, Februar 2008.

BECKER, M. UND MEHLHORN, L. 1995: Einfluss der Trocknungsbedingungen auf Emissionen bei der Holzspänetrocknung. WKI- Mitteilung 642/1995.

BLANCHET, P., CLOUTIER, A., RIEDL, B. 2000: Particleboards made from hammer milled black spruce bark residues. Wood Science and Technology 34 (2000), S.11-19.

BLAZEJ, A. 1979: Chemie des Holzes. VEB Fachbuchverlag Berlin.

BURGERT, I., FRÜHMANN, K., KECKES, J., FRATZL, P., STANZL-TSCHEGG, S. 2005: Properties of chemically and mechanically isolated fibres of spruce (Picea abies [L.] Karst.). part 2: Twisting phenomena. In: Holzforschung 59 (2005), Nr. 2. S. 247-251.

BOHN, C. 2004: Einsatz von *in vivo* biotechnologisch transformiertem rotfaulen Fichtenholz zur Span und Faserplattenherstellung. Masterarbeit, Universität Göttingen.

BOEHME, C., 1986: Einfluss des Dichteprofils auf die Dickenquellung von Spanplatten. WKI-Kurzbericht Nr. 7, 1989.

BOEHME, C., 1989: Holzarten- Kaltwasserauszug- Heißwasserauszug- pH-Wert Pufferkapazität. WKI-Kurzbericht, 29/86.

BOEHME, C. 1991: Rohdichteprofil und Dickenquellung von Spanplatten. Holzzentralblatt, Nr.117 (1991), S.1984.

BOEHME, C. 1993: Biegung und Dehnung von Möbelspanplatten. HK Holz- und Möbelindustrie 11/92, S. 1268-1269.

BOEHME, C. 1993: Optimierung des Eigenschaftsprofils von MDF. Holz als Roh- und Werkstoff, 51 (1993), S.240-246.

BRINKMANN, E. 1982: Entscheidende technologische Werte von Spanplatten und Möglichkeiten zu deren Beeinflussung während der Produktion. Holz als Roh- und Werkstoff, 40 (1982), S.381-386.

BUCHHOLZER, P. 1988: Siebkennlinien von Industriespangut für die Möbelherstellung. Holz als Roh- und Werkstoff, 46 (1988), S.192.

BUCHHOLZER, P. 1990: Einfluss verschiedener Verdichtungszeiten und Steuerungsprogramme auf die Eigenschaften von MDF-Platten.. Holz als Roh- und Werkstoff, 48 (1990), S.30.

BUCHHOLZER, P. 1992: Eignung von Pappelindustrieholz unterschiedlicher Klone, Altersstufen und Standorte für die Spanplattenherstellung. Holz- Zentralblatt Nr. 11, S.280, 282-283.

BUCHHOLZER, P. 1995: MDF aus unterschiedlichen Laub- bzw. Nadelhölzern und Bindemitteln. Holz-Zentralblatt, Nr. 36, 1995, S 596, 600-601.

BUCHHOLZER, P. 2000: Trockenbeleimung in der MDF- Herstellung. Holz-Zentralblatt, Vol.126 (2000), No.145, pp.2018-2019.

BUCHHOLZER, P. 2002: Bindemittel einsparen. HK. Holz- und Möbelindustrie, No.11, pp.64-67.

BUCHHOLZER, P. UND ROFFAEL, E. 1987: Holz schnellwüchsiger Pappeln mit kurzen Umtriebszeiten als Rohstoff für die Spanplatten- und Zellstoffherstellung. Teil 1: Pappelholz als Rohstoff für die Spanplattenherstellung. Holz-Zentralblatt, Vol.113 (1987), No.55, pp.777-778,780.

CAESAR, C. J. 1979: Erfahrungen beim Anbau von *Abies grandis* in Ostwestfalen/Lippe. AFZ 34, 688-689.

CLAD, W. 1967: Phenol-formaldehyd Kondensate als Bindemittel für die Herstellung von Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 3 (1967), S. 137-147.

CLAD, W. 1982: Die Rohdichtesenkung bei Spanplatten – Eine Literaturübersicht. Holz als Roh- und Werkstoff 40 (1982), S. 387-393.

CLERMONT, L.P. UND SCHWARTZ, H.. 1951: The chemical composition of Canadian wood. Pulp Pap. Mag. Can. 52, No. 13, 103-105.

DEPPE, ERNST, 2000: Taschenbuch der Spanplattentechnik. 4. Auflage. DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co..

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. 1998: Aus: DIN-Taschenbuch 60. Holzfaserplatten, Spanplatten, Sperrholz; Normen und Richtlinien. Beuth Verlag, 6. Auflage; Stand der abgedruckten Normen: Februar 1998.

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. 2005: Aus: DIN-Taschenbuch 60. Holzfaserplatten, Spanplatten, Sperrholz; Massivholzplatten, Paneele. Normen und Richtlinien. Beuth Verlag, 7. Auflage; Stand der abgedruckten Normen: März 2005.

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. 1998: Aus: DIN-Taschenbuch 389. Sortierung von Holz und Holzwerkstoffen; Normen. Beuth Verlag, 6. Auflage; Stand der abgedruckten Normen: März 2006.

DIN EN 312. 2003. Spanplatten – Anforderungen. Beuth-Verlag GmbH. Berlin.

DIN EN 316. 1999. Holzfaserplatten – Definition, Klassifizierung und Kurzzeichen. Beuth-Verlag GmbH. Berlin.

DIN EN 317. 1993. Spanplatten und Faserplatten – Bestimmung der Dickenquellung nach Wasserlagerung – Prüfverfahren. Beuth-Verlag GmbH. Berlin.

DIN EN 319. 1993. Spanplatten und Faserplatten – Bestimmung der Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene – Prüfverfahren. Beuth-Verlag GmbH. Berlin.

DIN EN 322. 1993. Holzwerkstoffe – Bestimmung des Feuchtegehaltes. Beuth-Verlag GmbH. Berlin.

DIN EN 323. 1993. Holzwerkstoffe – Bestimmung der Rohdichte. Beuth-Verlag GmbH. Berlin.

DIN EN 324-1. 1993. Holzwerkstoffe – Bestimmung der Plattenmaße: Teil 1: Bestimmung der Dicke, Breite und Länge. Beuth-Verlag GmbH. Berlin.

DIN-EN 326-1. 1993. Holzwerkstoffe – Probenahme, Zuschnitt und Überwachung – Teil 1: Probenahme und Zuschnitt der Prüfkörper sowie Angabe der Prüfergebnisse. Beuth-Verlag GmbH. Berlin.

DIN EN 622-1, 2003. Faserplatten – Anforderungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Beuth-Verlag GmbH. Berlin.

DIN EN 622-5. 2006. Faserplatten – Anforderungen- Teil 5: Anforderungen an Platten nach dem Trockenverfahren (MDF). Beuth-Verlag GmbH. Berlin.

DUBE, H. UND KEHR, E. 1995: Zusammenhang zwischen Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit von MDF und Spanplatte. Holz als Roh- und Werkstoff 53 (1995), S. 116.

DUNKY, M., NIEMZ,P. 2002: Holzwerkstoffe und Leime: Technologie und Einflussfaktoren. 2002

DUSCHEL, C. 2004: Die Erzeugergemeinschaft Altmark-Holz. Vortrag vom 19.07.2004 in Tangermünde.

ENGELS, K. 1959: Die Dosierung für Spänebeleimungsmischer unter Berücksichtigung von Gewichts- und Volumendosierung. Holz als Roh- und Werkstoff, 17 (1959), S.134-145.

ENGELS, K. 1978: Schnellaufende Beleimungssysteme für Späne. Holz als Roh- und Werkstoff, 36 (1978), S.21-29.

ENGELS, K. 1983: Einfluß der Spanzerkleinerung bei der Beleimung auf die Spanqualität. Holz als Roh- und Werkstoff, 41 (1983), S.135-140.

ENZENSBERGER, W. 1969: Moderne Beschichtungsverfahren für Holzwerkstoffplatten. Holz als Roh- und Werkstoff, 12 (1969), S.441-463.

ERBREICH, M. 2002: MDF aus Altholz. WKI- Mitteilung 806/2002.

ERIKSON, R. G. 2000: Mechanical grading of lumber sawn from small-diameter Lodgepole pine, Ponderosa pine and grand fir trees from northern Idaho. Forest Products Journal 50. (7/8), S. 59-69.

ERNST, K. 1979. Brauchen wir Spanplatten mit besonderen Eigenschaften? Vortragsmanuskript 37. Sitzung der Techn. Kommission FESYP.

ESSER, F. 2000: Der Forstwirt. 3. Auflage. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

FENGEL, D., WEGENER, G. 1984: Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter. Berlin, New York.

FLEISCHER, O. UND MARUTZKY, R. 2000: Hydrolyse von Harnstoff- Formaldehyd-Harzen: Auflösung des Spangefüges in Holzwerkstoffen durch hydrolytischen Abbau der Leimfuge. WKI-Mitteilung 749/2000.

FRITHIOF, B., 2008. Specification. Formaldehyde requirements of wood-based materials and products. (IOS-MAT-0003). IKEA of Swesen AB

FOILES, M. W., GRAHAM, R. T. UND OLSON, D. F. JR. 1990: *Abies grandis* (Dougl. Ex D. Don) Lindl., Grand fir. Aus: Burns, R. M., Honkala, B. H. (Hrsg.): Agriculture Handbook 654, Silvics of North America, Vol. 1: Conifers, Washington D. C.

FRÜHWALD, A., KLEIN, P. UND BAUCH, J. 1981: Über die Holzeigenschaften der vom Tannensterben betroffenen Bäume (*Abies alba* Mill.) In: Forstwiss. Zentralblatt 100. S 207-217.

GEIMER, R.L., 1981: Predicting Shear and Internal Bond Properties of Flakeboard. Holz als Roh- und Werkstoff 39 (1981), S. 409-415.

GÖRDER, N.-C. 2008. E1/2: Ist weniger mehr? material+technik möbel 07-2008. m+t Ritthammer Publishing GmbH. Nürnberg. S. 58.

GRAMMEL, P. 1981. Forstbenutzung: Technologie und Verwertung des Holzes. Parey-Verlag, Hamburg, Berlin.

GRETEN, B. 1984: Kontinuierliches Pressensystem für Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 42 (1984), S. 141-145.

GRESSEL, R. 1981. Spanplatten für das Bauwesen; Prüfmethoden – Eigenschaften – Korrelationen. Holz als Roh- und Werkstoff 39 (1981), S. 63-78.

GRIGORIOU, A. 1981. Der Einfluß verschiedener Holzarten auf die Eigenschaften dreischichtiger Spanplatten und deren Deckschichten. Holz als Roh- und Werkstoff 39 (1981), S. 97-105.

GRÜBEL, R. 1981. Einsatz zur Bildverarbeitung zur Qualitätssicherung in der Holzbearbeitung. Technische Universität Braunschweig, Vulkan-Verlag, essn, 2005, ISBN 978-3-8027-8686-0.

HALLIGAN, A. 1970: A review of thickness swelling in particleboards. Wood science and technology. Vol. 4. S. 301-312.

HALSE, O. M. 1926: Bestimmung von Zellstoff und Holzstoff im Papier. Papier- Journalen 14, Nr. 10: 121 – 123.

HANN, R.A., BLACK, J.M., BLOMQUIST, R.F. 1962: How durable is particleboard? Forst Prod. J. 12 (12), S. 577-584.

HAPLA, F., 2002: Skript zur Vorlesung „Holzeigenschaften und Holzverwertung der Wirtschaftsbaumarten“. (Unveröffentlicht). Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Universität Göttingen.

HAPLA, F., KUBALEK, S., LANGEN, P. UND TER SCHUUR, A., 2003: Holztechnologische Untersuchungen an *Abies grandis* (Dougl. ex D. Don) Lindl. aus Versuchsanbauten in Sauerland. Teil 1: "Untersuchung der Schnittholzqualität in Abhängigkeit von der Wuchsdynamik der Großen Küstentanne". Bericht erstellt im Auftrag der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten Landesamt für Agrarordnung, Nordrhein-Westfalen (LÖBF/LAfAO), Az.: 41-537 10-2825, Eigenverlag.

HAPLA, F., HOF, C. UND KIELMANN, B.C. 2009: Verwendungs- und holzproduktorientierte Untersuchungen der zukunftsfähigen Baumart *Abies grandis* aus nachhaltig unterschiedlich bewirtschafteten Buchen-Mischbeständen. Vortrag zur BMBF Abschlussveranstaltung Buche/Küstentanne, Göttingen 2009.

HÄNSEL. P., NIEMZ, P. UND BRADE, F. 1988. Untersuchungen zur Bildung eines Modells für das Rohdichteprofil im Querschnitt dreischichtiger Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 46 (1988). S. 125-132.

HELLER, W. 1995: Die Spanplatten-Fibel. CW Niemeyer-Druck. Hameln.

HINSELMANN, D. 1967: Lexikon der Holztechnik. 2. Aufl. Fachbuchverlag Leipzig.

HÜSTER, H.G., RILLING, T., WITKAVEL, A., KÖNIG, B. UND ROFFAEL, E., 2002: Skript zur Vorlesung Sägewerkstechnik. Institut für Holzbiologie und Holztechologie, Universität Göttingen.

HUTSCHNEKER, K. 1963: Volumetrische und gewichtsmäßige Dosierung bei Beleimung und Einstreuung in der Spanplattenerzeugung. Holz als Roh- und Werkstoff 42 (1963), S. 478-482.

IWF, 2008: Untersuchung der Zerspanbarkeit neuartiger Holzwerkstoffe bei der Fräs- und Schleifbearbeitung. Bericht Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, Braunschweig.

JAYME, J., BÜTTEL, H. 1968: Vergleich verschiedener Verfahren zur Pentosanbestimmung einschließlich einer neuen ISO-Methode. Das Papier, 22.Jg., Nr. %, S. 249 - 253.

JENSEN, U. UND KEHR, E. 1995: Quantitative Auswertung der Rohdichteprofile von Spanplatten und MDF. Holz als Roh- und Werkstoff 53 (1995), S. 16.

JOHNSEN,, E. 1995:

JUNG, B., ROFFAEL, E. 2002: Über die Acidität einheimischer Holzarten. Holz als Roh und Werkstoff, 60 (2002), S. 154.

KEHR, E. 1962: Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und –sortimente zur Herstellung von Spanplatten. 3. Mitteilung: der Einfluss des Härteranteils auf die Eigenschaften von Spanplatten aus Rotbuchen- und Kiefernholz. Holztechnologie Nr.3 (1962), S 22-28.

KEHR, E. 1966: Zur Verbesserung der Oberflächengüte von Spanplatten. Holz als Roh und Werkstoff, 7 (1966), S. 295-305.

KEHR, E., 1974. Zur Entwicklung der Eigenschaften von Spanplatten für den Möbelbau. Holztechnologie 15: 143- 149.

KEHR, E., JENSEN, U. 1970: Herstellung und Eigenschaften von Feinstpartikel-Deckschichten. Holz als Roh- und Werkstoff 28 (1970), S. 385-391.

KEHR, E., JENSEN, U. 1975. Zur Entwicklung der Eigenschaften von Spanplatten für den Möbelbau. Holztechnologie 16: 161- 170

KHARAZIPOUR, A. 1996: Enzyme von Weißfäulepilzen als Grundlage für die Herstellung von Bindemitteln für Holzwerkstoffe. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Band 121. J.D. Sauerländer`s Verlag Frankfurt am Main.

KHARAZIPOUR, A., POLLE, A. 1998: Ansätze in der Biotechnologie des Holzes. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Band 124. J.D. Sauerländer`s Verlag Frankfurt am Main.

KHARAZIPOUR, A., HÜTTERMANN, A., LÜDEMANN, H. D., 1997: "Enzymatic activation of wood fibres as a mean for the production of wood composites" Journal of Adhesion Science and Technology 11 (39), pp. 419-427

KHARAZIPOUR, A., MAI, C., HÜTTERMANN, A. (1998): "Polyphenoles for compounded materials" Polymer Degradation and Stability, Vol. 59, pp.237-243

KHARAZIPOUR, A., BERGMANN, K., HÜTTERMANN, A., NONNINGER, K., 1998: "Properties of fibre boards obtained by activation of the middle lamella lignin of wood fibres with peroxidase and H2O2 before conventional pressing" Journal of Adhesion Science and Technology 12 (10), pp. 1045-1053.

KHARAZIPOUR, A. 2002: Herstellung bindemittelfreier MDF- Platten mittels enzymatischer Aktivierung. Tagungsband des C.A.R.M.E.N Symposiums „im Kreislauf der Natur – Naturstoffe für die moderne Gesellschaft, Würzburg im Juli 2002.

KHARAZIPOUR, A. 2004: Vorlesungsskript am Institut für Forstbotanik. Forstliche Fakultät, Universität Göttingen.

KHARAZIPOUR, A. 2008: Verwendung von Popcorn für Holz- und Verbundwerkstoffe. Patent, Offenlegungsschrift DE102006047279A1, Forstliche Fakultät, Universität Göttingen.

KHARAZIPOUR, A. 2009: Mündliche Mitteilung, Universität Göttingen.

KLABUNDE, S., MARUTZKY, R. UND THOLE, V. 1999: Gewinnung und Eigenschaften von Holzfasern. WKI- Mitteilung 725/1999.

KLAUDITZ. W. 1952: Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzsortimente, insbesondere Rotbuchenholz, zur Herstellung von Spanplatten. Bericht 25. Braunschweig: Institut für Holzforschung.

KLAUDITZ. W. 1955: Entwicklung, Stand und holzwirtschaftliche Bedeutung der Holzspanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 16, S. 459-466.

KLAUDITZ. W., ULBRICHT, H.J. UND KRATZ, W. 1958: Über die Herstellung und Eigenschaften leichter Holzspanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 12 (1958), S. 459-466.

KLOESER, L. 2007: Verwendung von organofunktionellen Silanen zur Herstellung von Holzwerkstoffen. Dissertation, Universität Göttingen.

KNIGGE, W. 1960: Die Holzeigenschaften der Küstentanne (*Abies grandis*). AFZ 15 (7), S. 94-100.

KNIGGE, W. 1966: Grundriss der Forstbenutzung: Entstehung, Eigenschaften, Verwertung und Verwendung des Holzes und anderer Forstprodukte. Parey – Verlag Hamburg.

KOCK, O. 2005: Neue Energiekonzepte und Energieeinsparpotentiale in der Holzwerkstoffindustrie. Vortrag „Sasol Wax Holzwerkstoff-Symposium 2005“, Radebeul/Dresden, 2005.

KRAMER, H. 1976: Begriffe der Forsteinrichtung. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen.

KRAMER, W. 1982: Zur Entwicklung verschiedener Herkünfte von Abies grandis. Forst- und Holzwirt Nr. 4, S.100-108.

KUMAR, V. B. 1959: Die statistische Qualitätskontrolle in der Spanplattenindustrie – Erste Mitteilung: Holzzerspaner. Holz als Roh- und Werkstoff 11 (1959) (S. 440-447).

KÜES, U.. 2007: Wood Production, Wood Technology, and Biotechnological Impacts. Universitätsverlag Göttingen (2007), ISBN: 978-3-940344-11-3.

KÜRSCHNER, K. 1966: Chemie des Holzes- Kurzer Abriss. 2. Auflage. Berlin-1966.

LEHMANN,, W.F., HEFTY, F.V. 1973: Resin effiency and dimensional stability of flakeboards. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 207. For. Prod. Lab., Madison, Wisconsin.

LELIS, R., ROFFAEL, E. UND BECKER, G. 1994: Zur Verleimbarkeit von Splint- und Kernholz der Douglasie. Holz-Zentralblatt., Nr. 129, 131,132, S 2144, 2146 und 2181, 2182.

LIIRI, O. 1969: Der Pressdruck bei der Spanplattenherstellung. Holz als Roh und Werkstoff 27 (1969), S. 371-378.

LIIRI, O., KIVISTO-SAARINEN, A. 1977: Der Einfluss von Holzart, Spangröße und Bindemittel auf die Festigkeit und die Quellung von Spanplatten mit hoheren elastomechanischen Eigenschaften. Holzforschung und Holzverwertung, 29, Nr 6: 117-122.

LOHMANN, U. 1982: Holzhandbuch. DRW-Verlag. Leinfelden-Echterdingen.

LOTH, R. 2004: Spanqualität besonders in der Möbelindustrie wichtig. Holz-Zentralblatt, Nr. 4, S. 61.

LUDWIG, K. 2007: Untersuchung von Biotechnologisch durch den Pilz Heterobasidion annosum in vivo degradiertem Fichtenholz als Pflanzensubstrat und Torfersatz. Dissertation, Universität Göttingen.

MARTUNIS., 2008: Utilization of Grand fir (*Abies grandis*) wood fiber as an alternative raw material for the production of Medium Density Fiberboard (MDF) in pilot scale. Master´s Thesis, University of Göttingen.

MARUTZKY, R., 2003: Neue Wettbewerbssituationen bei Holzsortimenten. Holz-Zentralblatt 2003, Nr. 10, S. 180-181.

MARUTZKY, R. 2004: Biomassen auf Basis von Holz als Brennstoffe in Österreich, der Schweiz und Deutschland. Nutzungssituation – Theoretische und reale Produktion – Qualitäten – Wettbewerbssituation – Preistendenzen. Download 2005, Homepage. www.wki.fhg.de.

MAY, H. A. UND STEGMANN, G. 1966: Methoden zur Bestimmung der Spandimensionen und zur Beurteilung von Sichtvorgängen. Holz als Roh und Werkstoff 24 (1966), S. 305-311.

MAY, H. A. UND STEGMANN, G. 1966: Untersuchungen über die Herstellungsgleichmäßigkeit von Holzspanplatten. Holz als Roh und Werkstoff 24 (1966), S. 512-516.

MAY, H. A. 1978: Zur Optimierung der Herstellungsbedingungen phenolharzverleimter Spanplatten. Holz als Roh und Werkstoff 36 (1978), S. 441-449.

MAY, H. A. 1978: Einflüsse von Rohdichte und Jahrringbreite auf das Quellverhalten von Fichten- und Kiefernspänen. Holz als Roh und Werkstoff 36 (1978), S. 199-202.

MAY, H. A. UND KESERÜ, G. 1982: Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten. Teil 1: Sichtung von Spangemischen und Methoden zur Beurteilung ihrer Eignung für die Herstellung von Spanplatten, Holz als Roh- und Werkstoff 40 (1982), S. 105-110.

MAY, H. A. 1982: Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten. Teil2: Möglichkeiten der Anwendung industrieüblicher Sortierverfahren zur Beurteilung von Spangemischen. Holz als Roh- und Werkstoff 40 (1982), 303-306.

MAY, H. A. 1983: Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten. Teil 3: Auswertung von Dichteprofilen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten zur Abschliffüberwachung. Holz als Roh- und Werkstoff 41 (1983), S. 189-192.

MAY, H. A. 1982: Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten. Teil 4: Einflüsse der Dichteunterschiede und Rohstoffe auf die Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene und die Scherfestigkeit. Holz als Roh- und Werkstoff 41 (1983), S. 271-275.

MAY, H. A. 1982: Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten. Teil 5: Einflüsse der Dichteprofile und Rohstoffe auf Biege-E-Modul und Biegefestigkeit. Holz als Roh- und Werkstoff 41 (1983), S. 369-374.

MEYER, N., Thoemen, H. 2006: Untersuchung des Einflusses von Pressprogramm und Presskonstruktion auf die Eigenschaften von Holzwerkstoffen. Holztechnologie 47 (2006) 4, S. 16-23.

MERKBLATT, 1981-1986: Merkblatt über fremdländische Baumarten. Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung, Nordrhein-Westfalen.

MICHANICKL, A. 2005: Die europäische Holzwerkstoffindustrie – Herausforderungen für die Zukunft. Vortrag „Sasol Wax Holzwerkstoff-Symposium 2005“, Radebeul/Dresden, 2005.

MICHANICKL, A. 2007: Entwicklungen beim Holzeinsatz in der Holzwerkstoffindustrie. Vortrag Kongress „Rohholzmanagement in Deutschland“, Hannover, März 2007.

MOMBÄCHER, R. 1988: Holz-Lexikon Nachschlagewerk für die Holz- und Forstwirtschaft, 3.Auflage, DRW-Verlag Leinfelden-Echterdingen.

MÖHRING, M., 2007: Entwicklung und Herstellung von Zwitterplatten aus Buchen (Fagus sylvatica L.)- und Küstentannenholz. Masterarbeit, Universität Göttingen.

MÜLLER, K. 1938: *Abies grandis* und ihre Klimarassen: e. Beitrag zur Klimarassenfragen bei Holzarten mit großen Verbreitungsgebiet. Aus: Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft.

NEUßER, H. UND KRAMES, U., ZENTNER, M. 1969: Spanplatten mit verschiedenen Deckschichtausführungen als Trägermaterial für verschiedener Art. Holzforschung/Holzverwertung, 21 (1969) S. 56-61.

NEUßER, H. UND KRAMES, U. 1971: Die Oberflächengestalt von Holzspanplatten – Ihre Erfassung und ihre Schönheitswirkung. Holz als Roh- und Werkstoff, 3 (1971), S. 103-118.

NIEDERSÄCHSISCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT. 2004: Empfohlene Herkünfte forstlichen Vermehrungsgutes für Niedersachsen und Schleswig-Holstein(Herkunftsempfehlungen).www.cdl.niedersachsen.de/blob/images/C9282712_L20.pdf.

NW-FVA, 2009: Verwendungsorientierte Managementstrategien für Buchen-Küstentannen-Mischbestände. Schlussbericht des BMBF-Projektes

NIEMZ, P. 1993: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., Leinefelden- Echterdingen.

OLDEMEYER, W. 1984: Möglichkeiten der Spanschonenden Beleimung. Holz als Roh- und Werkstoff, 42 (1984), S.169-173.

PAVELEKOVICS, A., NIEMZ, P., SONDEREGGER, W. UND MOLNAR, S. 2008: Untersuchungen zum Einfluss der Holzfeuchte auf ausgewählte Eigenschaften von Spanplatten und MDF. Holz als Roh- und Werkstoff 66 (2008), S. 99-105.

PETUTSCHNIGG, E., KOBLINGER, R., PRISTOVNIK, M., TRUSKALLER, M., DERMOUZ, H., ZIMMER, B. 2004: Leichtbauplatten aus Holzwerkstoffen – Teil 1: Eckverbindungen. Holz als Roh- und Werkstoff, 62 (2004), S. 405-410.

PETUTSCHNIGG, E., KOBLINGER, R., PRISTOVNIK, M., TRUSKALLER, M., DERMOUZ, H., ZIMMER, B. 2005: Leichtbauplatten aus Holzwerkstoffen – Teil 2: Untersuchung zum Schraubenausziehwiderstand. Holz als Roh- und Werkstoff, 63 (2005), S. 19-22.

PLATH, E., PLATH. L. 1957: Die Beschichtung von Holzwerkstoffen mit Kunststoffen. Holz als Roh- und Werkstoff, 6 (1957), S. 254-261.

PLATH, E. 1971: Beitrag zur Mechanik von Holzspanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff, 29 (1971), S. 377-382.

PLATH, E. 1972: Das Berechnung von Holzverbundwerkstoffen. Holz als Roh- und Werkstoff, 30 (1972a), S. 57-61.

PLATH, E. 1972: Kennzeichnung der elastomechanischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen. Holz als Roh- und Werkstoff, 30 (1972b), S. 91-94.

PLATH, E., SCHNITZLER, E. 1974: Das Rohdichteprofil als Beurteilungsmerkmal von Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff, 32 (1974), S. 443-449.

PLATH, L. 1971: Anforderungen an Spanplatten für die Beschichtung mit Kunststoffen. Holz als Roh- und Werkstoff, 29 (1971), S. 369-376.

RACKWITZ, G. 1963: Der Einfluss der Spanabmessungen auf einige Eigenschaften von Holzspanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff, 21 (1974), S.200-209.

RACKWITZ, G. 1964: Beurteilung von Spänegemischen und Sichtvorgängen. Holz als Roh- und Werkstoff 10 (1964), S.365-371.

RACKWITZ, G. UND OBERMAIER, M. 1962: Grundlagen der Sichtung und die Sichtung im Waagerechten Luftstrom. Holz als Roh- und Werkstoff, 1 (1962), S. 27-38.

RANTA, L. UND MAY, H.-A. 1978. Zur Messung von Rohdichteprofilen an Spanplatten mittels Gammastrahlen. Holz als Roh- und Werkstoff 36 (1978), S. 467-474.

RIEBEL, H. 1994: Über einige Holzeigenschaften der großen Küstentanne (*Abies grandis* [Douglas] Lindley) aus süddeutschen Anbauten. Mitteilung. der forstlichen Versuchsanstalt Baden Württemberg, Heft 177.

RITTER, N. 2007: Nutzung von Fasern aus Küstentannenholz (Abies grandis) zur Herstellung von Mitteldichten Faserplatten. Masterarbeit, Universität Göttingen

ROERING, H.W. 1988: Waldbauliche Erfahrungen mit der Großen Küstentanne in Schleswig-Holstein. Allgemeine Forstzeitschrift, Stuttgart Nr. 25, S. 697-698

ROFFAEL, E. 1987: Einfluss der Trocknungsbedingungen auf Kiefernspäne und ihre Verleimbarkeit mit UF-Harzen. Holz als Roh- und Werkstoff, 45 (198), S. 449-456.

ROFFAEL, E., 2004 : Holzchemie und Holztechnologie. Vorlesungsskript. Inst. f. Holzbiologie und Holztechnologie der Georg-August-Universität Göttingen.

ROFFAEL, E., 2004 : Grundzüge der Holzchemie. Vorlesungsskript. Inst. f. Holzbiologie und Holztechnologie der Georg-August-Universität Göttingen.

ROFFAEL, E., Rauch, W. 1972: Einfluß der Rohdichte auf das Quellungsverhalten von phenolharzgebundenen Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff, 30 (1972), S. 178-181.

ROFFAEL, E., Rauch, W. 1972: Extraktstoffe in Eiche und ihr Einfluss auf die Verleimbarkeit mit alkalischen Phenol-Formaldehydharzen. Holz als Roh- und Werkstoff, 32 (1974), S. 182-187.

ROFFAEL, E. UND DIX, B. 1988: Zur Bedeutung von schnellwüchsigen Baumarten als Rohmaterial für die Holzwerkstoffherstellung unter besonderer Berücksichtigung von Pappelholz für Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff, 46 (1988), S. 245-252.

ROFFAEL, E. UND DIX, B., BÄR, G UND BAYER, R. 1994: Über die Eignung von thermo-mechanischen Holzstoff und chemo-thermo-mechanischen Holzstoff (TMP und CTMP) aus Buchen- und Kiefernholz für die Herstellung von mitteldichten Faserplatten (MDF). Teil1: Aufschluß des Holzes und Eigenschaften der Faserstoffe. Holz als Roh- und Werkstoff 52 (1994), S. 239-246.

ROFFAEL, E. UND DIX, B., BÄR, G UND BAYER, R. 1994: Über die Eignung von thermo-mechanischen Holzstoff und chemo-thermo-mechanischen Holzstoff (TMP und CTMP) aus Buchen- und Kiefernholz für die Herstellung von mitteldichten Faserplatten (MDF). Teil 2: Eigenschaften von MDF aus Buchen- Faserstoff. Holz als Roh- und Werkstoff 52 (1994), S. 293-298.

ROFFAEL, E. UND DIX, B., BÄR, G UND BAYER, R. 1994: Über die Eignung von thermo-mechanischen Holzstoff und chemo-thermo-mechanischen Holzstoff (TMP und CTMP) aus Buchen- und Kiefernholz für die Herstellung von mitteldichten Faserplatten (MDF). Teil 3: Eigenschaften von aus Kiefern- Faserstoff hergestellten MDF. Holz als Roh- und Werkstoff 53 (1994), S. 8-11.

ROFFAEL, E. UND PARAMESWARAN, N. 1986: Einfluss der latenten Acidität in Buchenholzspänen auf deren Verleimbarkeit mit Harnstoff- Formaldehydharzen. WKI- Mitteilung 420/1986.

RÖHLE, H. UND HEISS, A. 1988: Die Wuchsleistung von *Abies grandis* im Stadtwald Augsburg im Vergleich zu Douglasie und Fichte. AFZ/Der Wald Nr. 25, S. 711-712.

RUETZ, F. UND WOLF, H. 1988: Ergebnisse älterer und jüngerer Abies grandis - Versuchsanbauten in Bayern. AFZ/Der Wald Nr. 25, S. 707-710.

SACHSSE, H. 1991: Exotische Nutzhölzer. Schriftenreihe Pareys Studientexte Nr. 68, Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin.

SANDERMANN, W., ROTHKAMM, M., 1959: Über die Bestimmung der pH-Werte von Handelshölzern und deren Bedeutung für die Praxis. Holz als Roh- und Werkstoff, 17 (1959), S. 433-440.

SAUERWEIN, P. 2008. EPF-S- Eine echte Alternative. In: 2009 wird ein schwieriges Jahr. Holz-Zentralblatt Nr. 51/52. S. 1448. DRW-Verlag. Leinfelden – Echterdingen.

SCHNEIDER, A., ROFFAEL, E., MAY, H.-A. 1982: Untersuchungen über den Einfluß von Rohdichte, Bindemittelaufwand und Spänebeschaffenheit aus das Sorptionsverhalten und die Dickenquellung von Holzspanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff, 40 (1982), S. 339-344.

SCHNEIDER, T. 2000: Untersuchungen über den Einfluss von Aufschlussbedingungen des Holzes und der Faserstofftrocknung auf die Eigenschaften von mitteldichten Faserplatten (MDF). Dissertation, Universität Göttingen.

SCHNEIDER, T. 2004: Einfluss der Aufschlusstemperatur auf lösliche Kohlenhydrate bei der TMP-Herstellung. Holz als Roh- und Werkstoff, 62 (2004), S. 321-322.

SCHNEIDER, T., DIX, B., ROFFAEL, E., ERBREICH, M. 2007: Zum Einfluss des Holzes sowie des Holzaufschlussverfahrens auf das Benetzungsverhalten von Kiefern- und Fichten-Faserstoffen. Holz als Roh- und Werkstoff, 65 (2007), S. 29-33.

SCHÖLER, M. 2005: Neueste Erkenntnisse aus der Mattenvorwärmung bei MDF- Produktion. Vortrag „Sasol Wax Holzwerkstoff-Symposium 2005“, Radebeul/Dresden, 2005.

SCHÖPPER, C. 2002: Entwicklung und Optimierung der Pilot – MDF – Anlage und Herstellung von mitteldichten Faserplatten unter Verwendung konventioneller Kunstharze und naturnaher Bindemittel aus nachwachsenden Rohstoffen. Masterarbeit Universität Göttingen.

SCHÖPPER, C. 2006: Entwicklung eines naturnahen Bindemittels aus nachwachsenden Rohstoffen auf Proteinbasis zu Herstellung von Mitteldichten Faserplatten. Dissertation, Universität Göttingen.

SCHUHMACHER, W. 1967: Der Stofftransport der Pflanze. In: Handbuch der Pflanzenphysiologie, Schuhmacher, W., Ruhland, W. (Hrsg.) Springer-Verlag.

SCHWAB, E. UND STRATMANN, J. 1983: Holzeigenschaften norddeutscher Küstentannen. Forst und Holz, 38, 252-256.

SELL, J. 1989: Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten. Baufachverlag.

SJÖSTRÖM, E. 1993: Wood Chemistry, Fundamentals and Applications. Academic Press, San Diego, USA.

SOINÉ, H. 1984: Kontinuierliche Pressverfahren in der Spanplattenindustrie – Verfahrensbedingte Ersparnisse und Platteneigenschaften. Holz als Roh- und Werkstoff 42 (1984), S. 1-5.

SOINÉ, H. 1986: Melamin-Direktbeschichtung mit neuer Technik. Holz als Roh- und Werkstoff 44 (1986), S. 433-437.

STRATMANN, J. 1988: Ausländeranbau in Niedersachsen und angrenzenden Gebieten. Forstliche Fakultät, Universität Göttingen, Bd. 91.

STEGMANN, G., KRATZ, W. 1967: Kennzeichnung der Verleimungsgüte von Spanplatten mit verschiedenen Bindemittelgehalten und Rohdichten durch Quellungsdruck-Messungen. 1. Ein Beitrag zur Charakterisierung der Quellungsspannungen mit Hilfe einer neuen Meßmethodik. Adhäsion 11 (1967), S. 11-18.

SUCHSLAND, O. 1957: Einfluß der Oberflächenrauhigkeit auf die Festigkeit einer Leimverbibdung am Beispiel der Holzverleimung. Holz als Roh- und Werkstoff 15 (1957), S. 385-390.

SUCHSLAND, O. 1973: Hygroscopic thickness swelling and related properties of selected commercial particleboards. Forest Prod. J. Nr.23 (7), S. 26-30.

THOEMEN, H., HASELEIN, C., HUMPHREY, P.E. 2006: Mdeling the physical processes relevant during hot pressing of wood-based composites. Part II: Rheology. Holz als Roh- und Werkstoff 64 (2006) S. 125-133.

THOLE, V. 2009: Extra leichte Holzwerkstoffe- Lösungen und Anwendungen. Vortrag, „Tag der Holzforschung“. WKI, Braunschweig, 2009.

THOLE, V. UND SCHÄFER, K. 2001: Spankultur. Sollen Holzwerkstoffe dicht und fest sein, ist der Spanherstellung große Aufmerksamkeit entgegen zu bringen. WKI-Mitteilung 773/2001.

THOLE, V., JADRANKO, J UND LEWARK, M. 2000: Auf’s Pressprogramm kommt’s an. Durchwärmung, Plastizität und Spannungen bei kontinuierlicher MDF-Produktion. WKI- Mitteilung 753/2000.

VOS, H. 2005: Eigenschaften von Spanplatten, hergestellt aus Spänen der großen Küstentanne. Masterarbeit, Universität Göttingen.

VOS, H., KHARAZIPOUR, A. (2008): „Verwendung von Küstentannen- und Buchenholz für die Herstellung von neuartigen Sandwichplatten“. Holztechnologie, Ausgabe 6/2008.

WAGENFÜHR, R. UND SCHEIBER, C. 1974: Holzatlas. VEB Fachbuchverlag Leipzig.

WALTHER, T. 2006: Methoden zur qualitativen und quantitativen Analyse der Mikrostruktur von Naturfaserwerkstoffen. Fakultät für Mathemathik, Informatik und Naturwissenschaften der Universität Hamburg. Dissertation, 2006.

WIEDEMANN, J. 1996: Leichtbau, Band 1: Elemente, Springer-Verlag, 2. Auflage, Berlin.

WELLHAUSEN, K. 2003: Verwendungsrelevante Holzeigenschaften und Verwendungsbereiche der großen Küstentanne – *Abies grandis* – mit Aufkommensanalyse im Staatswald Niedersachsens, Bachelorarbeit an der Universität Göttingen, forstliche Fakultät. Unveröffentlicht.

8 Abkürzungsverzeichis

atro	absolut trocken
b	Breite
bidest	zweifach destilliert
Bu	Buche
cm	Zentimeter
Cr	Verdichtungsverhältnis (Streudichte/Plattendichte)
DIN	Deutsches Institut für Normung eV.
DS	Deckschicht
DS-fein	Deckschicht Fein
DS-grob	Deckschicht Grob
EN	Europäisches Komitee für Normung
EPF-S	European Panel Federation-Standard
Fi	Fichte
Fm	Festmeter
FS	Feststoff
g	Gramm
h	Stunde
h	Höhe
ha	Hektar
kg	Kilogramm
Ki	Kiefer
kN	Kilo- Newton
KüTa	Küstentanne
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
kWh/t	Kilowattstunden pro Tonne
l	Länge
lutro	lufttrocken
MDF	Mitteldichte Faserplatte
MS	Mittelschicht
MS-fein	Mittelschicht Feinl
MS-grob	Mittelschicht Grob

MW	Messerwellenspäne
MR	Messerringspäne
N/mm²	Newton pro Quadratmillimeter
pH	Negativ dekadischer Logarithmus der Protonenkonzentration
REF	Referenz
REM	Rasterelektronenmikroskop
Rm	Raummeter
s/mm	Sekunden pro Millimeter (Pressfaktor)
TMP	Thermo-Mechanical Pulp
WKI	WILHELM KLAUDITZ INSTITUT FÜR HOLZFORSCHUNG

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.2-1: Strukturmerkmale von Holz, Spanplatten und Mitteldichten Faserplatten (MDF) in Anlehnung an NIEMZ (1993) und WALTHER (2005). 13

Abbildung 2.3-1: Rohdichteprofil einer 38 mm dicken, dreischichtigen Spanplatte (geschliffen) mit einer mittleren Rohdichte von 536 kg/m³; Hergestellt im kontinuierlichen Pressverfahren (ContiRoll, SIEMPELKAMP). 15

Abbildung 2.3-2: Ausbildung verschiedener Rohdichteprofile bei unterschiedlichen Verdichtungszeiten (Quelle: BUCHHOLZER, 1990). 16

Abbildung 2.4-1: Prinzipien der Rohdichtereduzierung bei Holzwerkstoffen und ihre Umsetzung in Forschung und Industrie (THOLE, 2009). 18

Abbildung 3.8-1: Schemata zur Atro-Gewichtsabrechnung 48

Abbildung 4.1-1: Titrationskurven zur Bestimmung der Pufferkapazität aus Kaltwasserextrakten von Buchen-, Eichen-, Fichten- und Kiefernholzspänen (JUNG UND ROFFAEL, 2002) 73

Abbildung 4.2-1: Siebanalyse und Spanzusammensetzung für dreischichtige Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung. 75

Abbildung 4.2-2: Siebanalyse und Spanzusammensetzung für dreischichtige Spanplatten aus Küstentannenholz nach Messerwellenzerspanung. 77

Abbildung 4.2-3: Siebanalyse und Spanzusammensetzung für Sandwich- Platten aus Küstentannenholz in der DS und Buchenholz in der MS, jeweils nach Messerringzerspanung. 77

Abbildung 4.2-4: Siebanalyse und Spanzusammensetzung für dreischichtige Spanplatten aus industriell aufbereitetem Referenzspanmaterial. 78

Abbildung 4.2-5: Vergleich der Biegefestigkeiten von 19 mm dicken dreischichtige Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerring- und Messerwellenzerspanung sowie von Sandwich-Platten aus Buche und Küstentanne sowie der Referenzplatten. 81

Abbildung 4.2-6: Vergleich der Rohdichteprofile der geschliffenen Plattenvarianten mit einer Sollrohdichte von 550 kg/m³. 82

Abbildung 4.2-7: Vergleich der Rohdichteprofile der geschliffenen Plattenvarianten mit einer Sollrohdichte von 750 kg/m³. 83

*Abbildung 4.2-8: Vergleich der **Biegefestigkeiten** von Sandwich-Platten mit **verschiedenen Deckschichten.** MR/Bu: Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung, Mittelschicht aus Buchenspänen Ind/Bu: Die Deckschicht besteht aus Industriespänen und die Mittelschicht aus Buchenspäne. MW/Bu: Die Deckschicht aus Küstentannenspäne nach Messerwellenzerspanung und die Mittelschicht aus Buchenspänen. REF: Deckschicht aus Industriespänen, Mittelschicht aus Industriespänen. 84*

Abbildung 4.2-9: Vergleich der Biegefestigkeiten von Sandwich-Platten mit verschiedenen Mittelschichten. MR/MR: Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung, Mittelschicht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung MR/Ind: Die Deckschicht besteht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung und die Mittelschicht aus Indutriespänen. MR/Bu: Die Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung und die Mittelschicht aus Buchenspänen. REF: Deckschicht aus Industriespänen, Mittelschicht aus Industriespänen. 85

Abbildung 4.2-10: Vergleich der Biegefestigkeiten von Sandwich-Platten mit verschiedenen Mittelschichten. MW/MW: Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerwellenzerspanung, Mittelschicht aus Küstentannenspänen nach Messerwellenzerspanung MW/Bu: Die Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerwellenzerspanung und die Mittelschicht aus Buchenspänen. REF: Deckschicht aus Industriespänen, Mittelschicht aus Industriespänen. 86

Abbildung 4.2-11: Vergleich der Querzugfestigkeiten von 19 mm dicken dreischichtigen Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerring- und nach Messerwellenzerspanung sowie von Sandwichplatten aus Buche und Küstentanne und der Referenzplatten. 87

*Abbildung 4.2-12: Vergleich der **Querzugfestigkeiten** von Sandwich-Platten mit **verschiedenen Deckschichten**. MR/Bu: Deckschicht aus Küstentannenspänen nach Messerringzerspanung, Mittelschicht aus Buchenspänen Ind/Bu: Die Deckschicht besteht aus Industriespänen und die Mittelschichtspäne sind Buchenspäne. MW/Bu: Die Deckschicht aus Küstentannenspäne nach Messerwellenzerspanung und die Mittelschicht aus Buchenspänen. REF: Deckschicht aus Industriespänen, Mittelschicht aus Industriespänen. 88*

Abbildung 4.2-13: Vergleich der Abhebefestigkeiten dreischichtiger Spanplatten aus Küstentannen-spänen nach Messerring- und Messerwellenzerspanung, von Sandwichplatten aus Buche und Küstentanne und der Referenzserie. 89
Abbildung 4.3-1: Vergleich der Faserlängenverteilungen von Küstentannen-, Buchen und Kiefernfasern mittels MORFI- Faseranalysator. 93
Abbildung 4.3-2: REM- Aufnahme von Küstentannenfasern: Faserbündel und verdrehte Einzelfasern 94
Abbildung 4.3-3: REM- Aufnahme von Einzelfasern aus Küstentanne im Verbund mit Hoftüpfeln 95
Abbildung 4.3-4: REM- Aufnahme von Kiefernfaserstoff der Firma STEICO, Polen (Übersicht) 95
Abbildung 4.3-5: Vergleich der Biegefestigkeiten für Mitteldichte Faserplatten aus Küstentannen-, Buchen-/Küstentannen- und Buchenfasern sowie für Referenzfasern aus Kiefernholz. 96
Abbildung 4.3-6: Vergleich der Biege- Elastizitäts- Module für Mitteldichte Faserplatten aus Küstentannen-, Buchen-/Küstentannen- und Buchenfasern sowie für Referenzfasern aus Kiefernholz. 97
Abbildung 4.3-7: Vergleich der Rohdichteprofile von Mitteldichten Faserplatten aus Küstentannen-, Buchen-/Küstentannen- und Buchenfasern sowie von Referenzplatten aus Kiefernholz. 98
Abbildung 4.3-8: Vergleich der Biegefestigkeiten von 10 mm und 16 mm dicken MDF-Platten aus Küstentanne. 99
Abbildung 4.3-9: Vergleich der Querzugfestigkeiten für Mitteldichte Faserplatten aus Küstentannen-, Buchen-/Küstentannen- und Buchenfasern sowie für Referenfplatten aus Kiefernholz. 100
Abbildung 4.3-10: Vergleich der Querzugfestigkeiten von 10 mm und 16 mm dicken MDF-Platten aus Küstentannenfasern. 101
Abbildung 4.3-11: Dickenquellung nach 24 Stunden Wasserlagerung für Mitteldichte Faserplatten aus Küstentannen-, Buchen-/Küstentannen- und Buchenfasern sowie für Referenzfasern aus Kiefernholz. 102
Abbildung 4.4-1: Siebanalysen der zu vergleichenden Spanmaterialien aus Küstentanne nach Messerwellen- und Messerringzerspanung sowie der Referenzspäne. 103
Abbildung 4.4-2: Lineare Entwicklung der maximalen spezifischen Pressdrücke über der Rohdichte für einschichtige Spanplatten mit Küstentannenspänen aus Messerwellen- und Messerringzerspanung sowie mit Referenzspänen bei Erreichen der Plattensolldicke von 20 mm. 104
Abbildung 4.4-3: Lineare Entwicklung der Streudichte (Sd) und des Verdichtungsverhältnisses (Cr) bei steigender Plattenrohdichte für Küstentannenspäne aus Messerwellenzerspanung und Messerringzerspanung sowie der Referenzspäne. 106
Abbildung 4.4-4: Lineare Betrachtung der minimalen und maximalen Rohdichten im Querschnitt der Versuchsplatten im Verhältnis zur mittleren Rohdichte; vereinfachte Darstellung der Rohdichteprofile. 107
Abbildung 4.4-5: Darstellung des Verdichtungsverhältnisses (Cr) bei Rohdichtemaxima, mittlerer Rohdichte und Rohdichteminima im Querschnitt der Platten für die Versuchsreihen aus Küstentannenholz nach Messerwellenzerspanung (MW) und nach Messerringzerspanung (MR) sowie der Referenzserie (REF). 108
Abbildung 4.4-6: Vergleich der Querzugfestigkeiten für 19 mm dicke einschichtige Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerwellen- und nach Messerringzerspanung sowie aus Referenzspänen in Relation zur mittleren Plattenrohdichte. 109
Abbildung 4.4-7: Vergleich der Querzugfestigkeiten für 19 mm dicke, einschichtige Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerwellen- und nach Messerringzerspanung sowie aus Referenzspänen in Relation zur minimalen Rohdichte im Querschnitt der Platten. 110
Abbildung 4.4-8: Vergleich der Biegefestigkeiten für 19 mm dicke einschichtige Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerwellen- und nach Messerringzerspanung sowie aus Referenzspänen in Relation zur mittleren Plattenrohdichte. 111
Abbildung 4.4-9: Vergleich der Biegefestigkeiten für 19 mm dicke einschichtige Spanplatten aus Küstentannenspänen nach Messerwellen- und nach Messerringzerspanung sowie aus Referenzspänen in Relation zur maximalen Rohdichte im Querschnitt der Platten. 112
Abbildung 4.5-1: Vergleich der Siebanalysen der Messerwellenspäne (Rohspäne) aus Küstentannenholz aller Produktionsversuche (V1 bis V3) bei verschiedenen Ausgangsfeuchten. 115
Abbildung 4.5-2: Vergleich der Siebanalysen für Küstentannenspäne und Fichten-/Kiefernspäne nach Messerwellenzerspanung (Produktionsversuch 3). 116
Abbildung 4.5-3: Vergleich der Siebanalysen aller unbeleimten Mittelschichtspäne der Produktionsversuche 1 bis 3. 117
Abbildung 4.5-4: Vergleich der Siebanalysen aller beleimten Mittelschichtspäne der Produktionsversuche 1 bis 3 118
Abbildung 4.5-5: Vergleich der Siebanalysen aller unbeleimten Deckschichtspäne der Produktionsversuche 1-3. 119

Abbildung 4.5-6: Vergleich der Siebanalysen aller beleimten Deckschichtspäne der Produktionsversuche 1 bis 3. 120
Abbildung 4.5-7: Vergleich der Siebanalysen der Mittelschichtspäne vor und nach der Beleimung (Produktionsversuch 1). 120
Abbildung 4.5-8: Vergleich der Siebanalysen der Mittelschichtspäne vor und nach der Beleimung (Produktionsversuch 2). 121
Abbildung 4.5-9: Vergleich der Siebanalysen der Mittelschichtspäne aus Küstentanne (Anteil 39 %) vor und nach der Beleimung (Produktionsversuch 3). 122
Abbildung 4.5-10: Siebanalysen der Mittelschichtspäne aus Fichte-/Kiefer (Anteil 39 %) vor und nach der Beleimung (Produktionsversuch 3). 122
Abbildung 4.5-11: Vergleich der Schüttgewichte der Rohspäne (Produktionsversuch 1 und 3) aus Küstentannenholz und aus Fichten-/Kiefernholz (Produktionsversuch 3) und der Mittelschichtspäne der gleichen Versuche vor und nach der Beleimung sowie die Schüttgewichte der Referenzspäne vor und nach der Beleimung 123
Abbildung 4.5-12: Vergleich der Querzugfestigkeiten für 19 mm dicke, dreischichtige Spanplatten aus 100 % Küstentannenschneidspänen und der Referenzplatten. 125
Abbildung 4.5-13: Vergleich der Biegefestigkeiten für 19 mm dicke, dreischichtige Spanplatten aus 100 % Küstentannenschneidspänen und der Referenzplatten. 127
Abbildung 4.5-14: Vergleich der Rohdichteprofile einer 19 mm dicken, dreischichtigen Spanplatte aus Küstentannenholz mit einer aus Referenzspänen, hergestellt auf einer kontinuierlich arbeitenden Presse (CONTIROLL®, Siempelkamp). Beide Platten haben eine mittlere Rohdichte von 610 kg/m³ und sind geschliffen. 128
Abbildung 4.5-15: Vergleich der Abhebefestigkeiten für 19 mm dicke, dreischichtige Spanplatten aus 100 % Küstentannenschneidspänen und der Referenzplatten 129
Abbildung 4.5-16: Vergleich der Dickenquellungen nach 24 Stunden Wasserlagerung von dreischichtigen Spanplatten aus 100 % Küstentannenspänen und der Referenzplatten 131
Abbildung 4.5-17: Vergleich der Biegefestigkeiten von 19 mm dicken Spanplatten mit einem Küstentannenspananteil von 100 % (KüTa), 33 % (KüTa33) und 25 % (KüTa25) sowie der Referenzplatten. 132
Abbildung 4.5-18: Vergleich der Querzugfestigkeiten von 19 mm dicken Spanplatten mit einem Küstentannenspananteil von 100 % (KüTa), 33 % (KüTa33) und 25 % (KüTa25) sowie der Referenzplatten. 132
Abbildung 4.5-19: Vergleich der Querzugfestigkeiten für 38 mm dicke Spanplatten aus Küstentannenspänen und der Referenzserie. 134
Abbildung 4.5-20: Vergleich der Biegefestigkeiten für 38 mm dicke Spanplatten aus Küstentannenspänen und der Referenzserie. 135
Abbildung 4.5-21: Vergleich der Abhebefestigkeiten für 38 mm dicke Spanplatten aus Küstentannenspänen und der Referenzserie 136
Abbildung 4.5-22: Vergleich der Rohdichteprofile für 38 mm dicke Spanplatten aus Küstentannenspänen, hergestellt mit einer kontinuierlich arbeitenden Presse (CONTIROLL®, Siempelkamp).Mittlere Plattenrohdichten: 430 kg/m³,456 kg/m³ und 536 kg/m³. 136
Abbildung 4.5-23: Vergleich der Dickenquellungen (nach 24 Stunden Wasserlagerung) für 38 mm dicke, dreischichtige Spanplatten aus 100 % Küstentannenspänen und der Referenzserie. 137
Abbildung 4.5-24: Vergleich der Querzugfestigkeiten für dreischichtige, 12 mm dicke Spanplatten aus anteilig 39 % Küstentannenschneidspänen vergleichend zu 12 mm Spanplatten aus anteilig 39 % Fichten-/Kiefernschneidspänen, jeweils bei konstanter Beimischung verschiedener Spansortimente. 139
Abbildung 4.5-25: Vergleich der Biegefestigkeiten für dreischichtige, 12 mm dicke Spanplatten aus 39 % Küstentannenschneidspänen vergleichend zu 12 mm Spanplatten aus 39 % Fichten-/Kiefernschneidspänen, jeweils bei konstanter Beimischung verschiedener Spansortimente. 140
Abbildung 4.5-26: Vergleich der Abhebefestigkeiten für dreischichtige, 12 mm dicke Spanplatten aus 39 % Küstentannenschneidspänen vergleichend zu 12 mm Spanplatten aus 39 % Fichten-/Kiefernschneidspänen, jeweils bei konstanter Beimischung verschiedener Spansortimente. 141
Abbildung 4.5-27: Vergleich der Dickenquellungen nach 24 Stunden Wasserlagerung für dreischichtige, 12 mm dicke Spanplatten aus 39 % Küstentannenschneidspänen vergleichend zu 19 mm Spanplatten aus 39 % Fichten-/Kiefernschneidspänen, jeweils bei konstanter Beimischung verschiedener Spansortimente. 141
Abbildung 4.6-1: Grafische Darstellung der Zerspanungsleistung 145
Abbildung 4.7-1: Vergleich der Querzug- und der Abhebefestigkeiten der Versuchsreihe mit einem Küstentannenfaseranteil von 20 % und der Referenzplatten. 148

Abbildung 4.7-2: Vergleich der Biegefestigkeit en (links) und der Biege-Elastizitäts-Module (rechts) der Versuchsserie mit einem Küstentannenfaseranteil von 20 % und der Referenzserie. 148
Abbildung 4.7-3: Vergleich der Dickenquellungen nach 24 Stunden Wasserlagerung der Versuchsplatten mit einem Küstentannenfaseranteil von 20 % und der Referenzserie 149
Abbildung 4.7-4: Vergleich der Querzugfestigkeiten für 19 mm dicke Mitteldichte Faserplatten mit einem Küstentannenfaseranteil von 40 %, 60 % und 80 %, sowie der Referenzserie. 150
Abbildung 4.7-5: Vergleich der Abhebefestigkeiten für 19 mm dicke, mitteldichte Faserplatten mit einem Küstentannenfaseranteil von 40 %, 60 % und 80 % sowie der Referenz. 151
Abbildung 4.7-6: Vergleich der Biegefestigkeiten für 19 mm dicke Mitteldichte Faserplatten mit einem Küstentannenfaseranteil von 40 %, 60 % und 80 % sowie der Referenz. 151
Abbildung 4.7-7: Vergleich der Biege-E-Module für 19 mm dicke Mitteldichte Faserplatten mit einem Küstentannenfaseranteil von 40 %, 60 % und 80 % sowie der Referenzplatten. 152
Abbildung 4.9-1 Kennwerte der Werkzeugschneiden bei der Bearbeitung der unbeschichteten Spanplatten (vgl. Tabelle 4-5) (Quelle: IWF, 2008). 158
Abbildung 4.9-2: Equam Kennwerte der Referenzplatte (links) und als Detailbereich bis 80 m Vorschubweg (Quelle: IWF, 2008). 159
Abbildung 4.9-3 Ergebnisse der Siebfraktionierung der aufgefangenen Späne (Quelle: IWF, 2008). 160
Abbildung 4.9-4: Flächenbezeichnungen am Werkstück beim Bandschleifen (Quelle: IWF, 2008). 161
Abbildung 4.9-5 Volumenabnahme der unbeschichteten 19 mm dicken Spanplatten beim Schleifen (Quelle: IWF, 2008). 162
Abbildung 12.1-1: Kennwerte der Werkzeugschneiden bei der Bearbeitung der beschichteten Spanplatten (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008). 200
Abbildung 12.1-2: Kennwerte der Werkzeugschneiden bei der Bearbeitung der Varianten 5,6,9 und 10(Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008). 201
Abbildung 12.1-3: Kennwerte der Werkzeugschneiden bei der Bearbeitung der MDF Platten (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008). 201
Abbildung 12.1-4: Zeitspanvolumen der unbeschichteten Spanplatten beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008). 202
Abbildung 12.1-5: Volumenabnahme der unbeschichteten Spanplatten (38 mm) beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008). 202
Abbildung 12.1-6: Zeitspanvolumen der unbeschichteten Spanplatten (38 mm) beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008). 202
Abbildung 12.1-7: Volumenabnahme der beschichteten Spanplatten beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008). 203
Abbildung 12.1-8: Zeitspanvolumen der beschichteten Spanplatten beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008). 203
Abbildung 12.1-9: Volumenabnahme der MDF-Platten beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008). 203
Abbildung 12.1-10: Zeitspanvolumen der MDF-Platten beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008). 204

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Anforderungen an Spanplatten zur Verwendung im Trockenbereich nach DIN EN 312, 2003 _ 21
Tabelle 2-2: Anforderungen an Mitteldichte Faserplatten (MDF) zur Verwendung im Trockenbereich nach DIN EN 622-5 : 2004 _ 22
Tabelle 3-1: Probenumfang der einzelnen Prüfverfahren und Versuchsserien _ 29
Tabelle 3-2: Lieferspezifikationen der eingesetzten UF-Harze (Quelle: Technische Merkblätter BASF AG, Ludwigshafen (2008)) _ 32
Tabelle 3-3: Lieferspezifikationen der eingesetzten Paraffine (Quelle: Fa. SASOL) _ 32
Tabelle 3-4: Herstellungsparameter für dreischichtige Spanplatten im Pilotmaßstab _ 38
Tabelle 3-5: Refinerparameter _ 40
Tabelle 3-6: Versuchsplan und Herstellungsparameter für im Pilotmaßstab hergestellte MDF-Platten aus Küstentannenfasern und Buchenfasern vergleichend zu MDF, hergestellt aus Kiefernfasern. _ 44
Tabelle 3-7: Produktionsplan (Versuch 1) für dreischichtige Spanplatten aus 100 % Küstentannenholz (Teil 1) und aus Küstentannenspänen mit unterschiedlichen Beimischungen von Buchenspänen und anderen Spansortimenten (Teil 2) _ 53
Tabelle 3-8: Produktionsplan (Versuch 2) für dreischichtige, 38 mm dicke Spanplatten aus 100 % Küstentannenspänen (Teil 1) sowie für dreischichtige, 19 mm dicke Spanplatten aus 100 % Küstentannenholz und unterschiedlichen Beimischungen von Buchenspänen und anderen Spansortimenten (Teil 2). _ 55
Tabelle 3-9: Produktionsplan (Versuch 3) für dreischichtige, 12 mm dicke Spanplatten aus anteilig 39 % Küstentannenspänen vergleichend zu 19 mm Spanplatten aus anteilig 39 % Fichten-/Kiefernspänen, jeweils bei konstanter Beimischung verschiedener Spansortimente (Teil 1), sowie für dreischichtige, 19 mm dicke Spanplatten aus anteilig 39 % Küstentannenspänen vergleichend zu Spanplatten aus anteilig 39 % Fichten-/Kiefernspänen, jeweils bei konstanter Beimischung verschiedener Spansortimente (Teil 2). _ 56
Tabelle 3-10: Produktionsplan des ersten Produktionsversuchs für Mitteldichte Faserplatten aus Küstentannenholz _ 63
Tabelle 3-11: Produktionsplan des zweiten Produktionsversuchs für Mitteldichte Faserplatten aus Küstentannenholz _ 64
Tabelle 3-12: Untersuchte Plattenvarianten für Fräs- und Schleifversuche _ 69
Tabelle 4-1: rgebnisse der chemischen Analysen der verwendeten Span- und Fasermaterialien _ 70
Tabelle 4-2: Schüttgewichte der verwendeten unbeleimten Deck- und Mittelschichtspäne im Vergleich zu den von BRINKMANN (1982) ermittelten Schüttgewichten. _ 79
Tabelle 4-3: Ergebnisse der Holzaufnahme und des spezifischen Energieverbrauchs bei der Zerspanung für Küstentannenindustrieholz und Fichten-/Kiefernindustrieholz. _ 144
Tabelle 4-4: Prüfdaten nach DIN EN 14323 _ 153
Tabelle 4-5: Untersuchte Plattenvarianten für Fräs- und Schleifversuche _ 155
Tabelle 12-1: Untersuchte Plattenvarianten für Fräs- und Schleifversuche _ 199

11 Bildverzeichnis

Bild 3-1: Küstentannenversuchsholz; Säge- und Industrieholzabschnitte _____ 34
Bild 3-2: Spanplatten-Pilotanlage (Technikum am Büsgen-Institut, Universität Göttingen) _____ 37
Bild 3-3: Beleimmischer mit seitlicher Sprüheinrichtung _____ 41
Bild 3-4: Messerwellenzerspaner (Firma KLÖCKNER), Messerwelle mit Kamm-Messern (Rückansicht) _____ 48
Bild 3-5: Röhrenbündel-Trommeltrockner der Firma BÜTTNER (Gesellschaft für Trocknungs- und Umwelttechnik mbH, Krefeld) _____ 50
Bild 3-6: links: Streumaschinen; rechts: Vorpresse _____ 51
Bild 3-7: links: Sternwender; rechts: Plattenlager _____ 52
Bild 3-8: Messerwellenzerspaner (Firma KLÖCKNER); Messerwelle mit Kamm- Messern. _____ 57
Bild 3-9: Positionierung des abgewogenen und vermessenen Versuchsholzes _____ 59
Bild 3-10: Lückenlose Beschickung des Messerwellenzerspaners _____ 59
Bild 3-11: Beschickung des Trommelhackers _____ 61
Bild 3-12: Küstentannen-Hackschnitzel _____ 62
Bild 3-13: Abladen des Küstentannenholzes (Abschnitte à 3 m) _____ 62
Bild 3-14: Auflegen der Trägerplatte auf das Dekorpapier (Foto: PFLEIDERER) _____ 65
Bild 3-15: Auflegen der Dekorpapiere (Foto: PFLEIDERER) _____ 66
Bild 3-16: Kurztaktpresse (Foto: PFLEIDERER) _____ 66
Bild 3-17: Visuelle Qualitätskontrolle (Foto: PFLEIDERER) _____ 67
Bild 3-18: Probennahme (Foto: PFLEIDERER) _____ 67
Bild 4-1: Farbvergleich einer Spanplatte aus Industriespänen (links) mit einer Spanplatte aus Küstentannenspänen (rechts)(Foto: Vos, 2005). _____ 91
Bild 4-2: Oberfläche einer dreischichtigen Spanplatte aus Küstentannenspänen _____ 92
Bild 4-3: Küstentannenindustrieholz für den 2. Industrieversuch: links: Anlieferung; rechts: Gesamtmenge _____ 114
Bild 4-4: Fakultativer Nasskern bei Küstentannenholz _____ 114
Bild 4-5: Verschleißverlauf anhand der Plattenvariante 8, mit einem Küstentannenschneidspananteil von 25% (Quelle: IWF, 2008). _____ 156
Bild 4-6: Freiflächen der Schneiden nach 400 m Vorschubweg (unbeschichtete Spanplatten, Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 4-5) (Quelle: IWF, 2008). _____ 157
Bild 12-1: Freifläche der Schneiden, nach 400 m Vorschubweg(Variante 11, MDF Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1 (Quelle: IWF, 2008). _____ 199
Bild 12-2: Freiflächen der Schneiden, nach 400 m Vorschubweg (beschichtete Spanplatten, Beschriftung der Varianten entsprechend (Quelle: IWF, 2008). _____ 199
Bild 12-3: Freiflächen der Schneiden, nach 400 m Vorschubweg (unbeschichtete 38 mm dicke Spanplatten, Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008). _____ 200

12 Anhang

12.1 Untersuchungen zur Zerspanbarkeit

Tabelle 12-1: Untersuchte Plattenvarianten für Fräs- und Schleifversuche

Variante	Typ	Roh-dichte	Dicke	KüTa [%]	BU [%]	Ind.-Mix [%]
1	**Spanplatte**	520	38	100	0	0
2	**Spanplatte**	400	38	100	0	0
3	**Spanplatte**	450	38	100	0	0
4	**Spanplatte**	450	19	100	0	0
5	**Spanplatte**	550	19	33,3	33,3	33,3
6	**Spanplatte**	550	19	100	0	0
7	**Spanplatte**	650	19	50	50	0
8	**Spanplatte**	550	19	25	25	50
9	**Spanplatte (beschichtet)**	550	19	100	0	0
10	**Spanplatte (beschichtet)**	550	19	33,3	33,3	33,3
11	**MDF**	700	19	20	Bu 25 / Fi 40	15
12	**Referenz FPO**	645	19	-	-	-
13	**Referenz FPO (beschichtet)**	677	19	-	-	-
14	**Referenz-MDF**	780	19	-	-	-

Bild 12-1: Freifläche der Schneiden, nach 400 m Vorschubweg(Variante 11, MDF Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1 (Quelle: IWF, 2008).

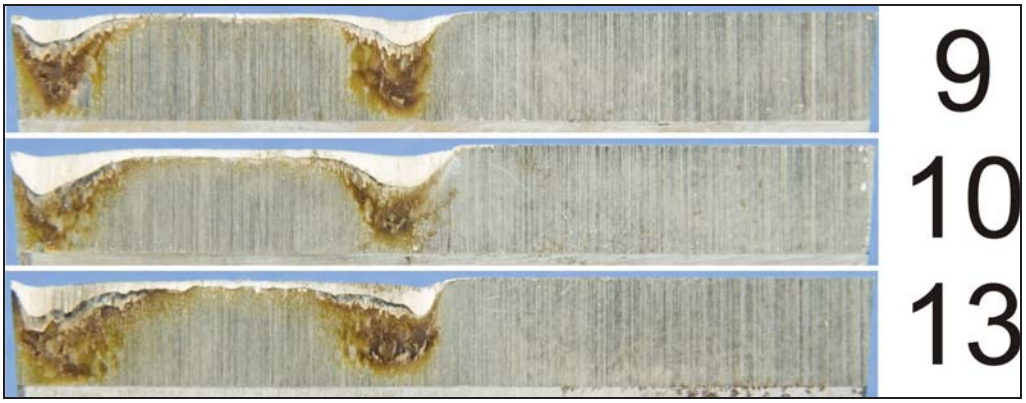

Bild 12-2: Freiflächen der Schneiden, nach 400 m Vorschubweg (beschichtete Spanplatten, Beschriftung der Varianten entsprechend (Quelle: IWF, 2008).

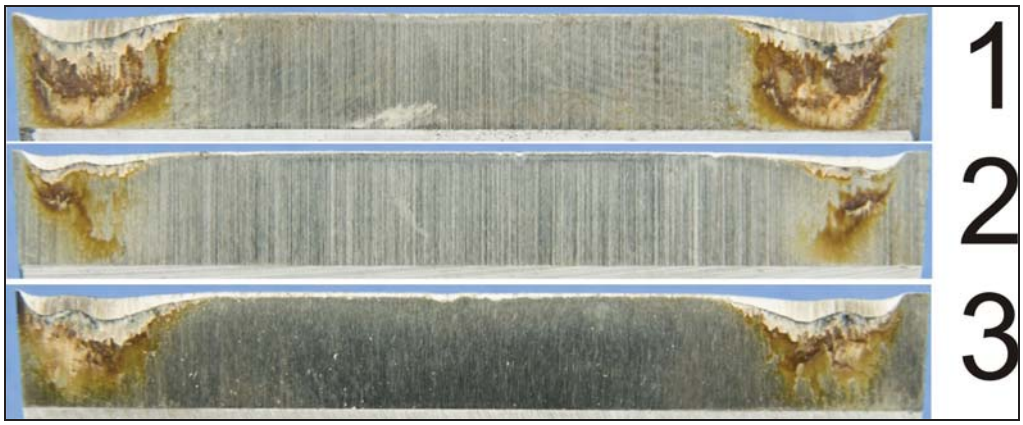

Bild 12-3: Freiflächen der Schneiden, nach 400 m Vorschubweg (unbeschichtete 38 mm dicke Spanplatten, Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008).

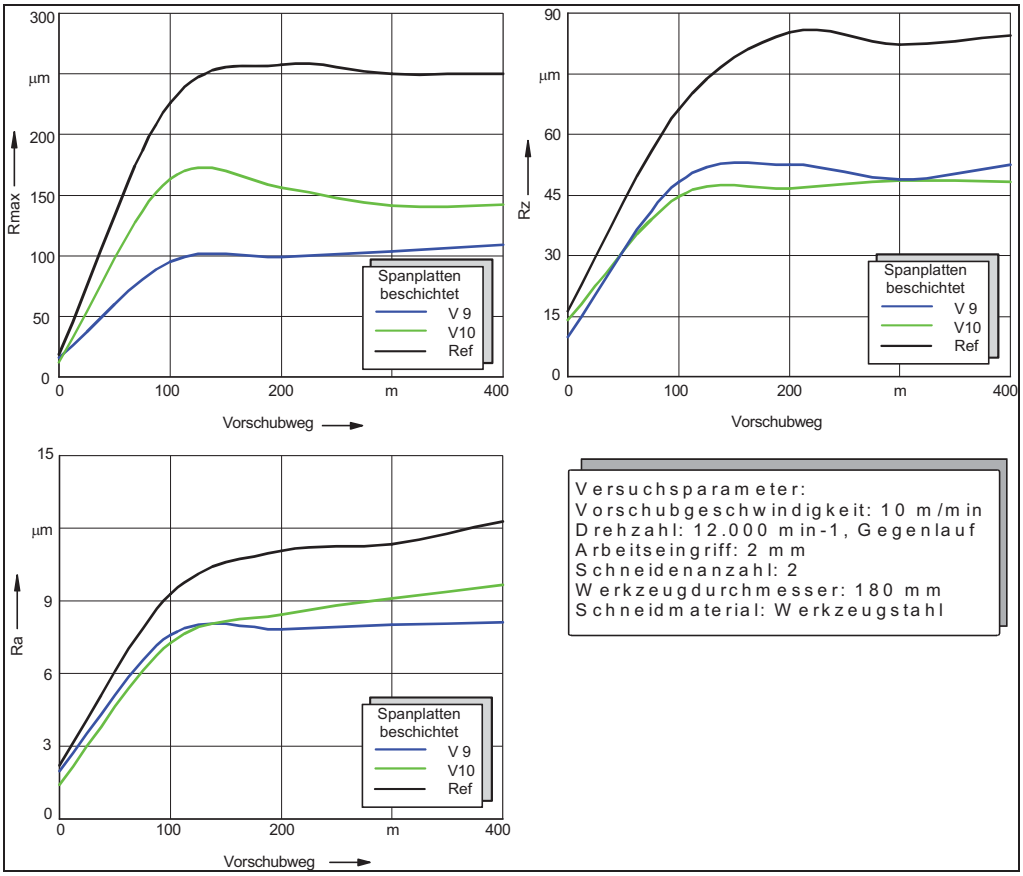

Abbildung 12.1-1: Kennwerte der Werkzeugschneiden bei der Bearbeitung der beschichteten Spanplatten (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008).

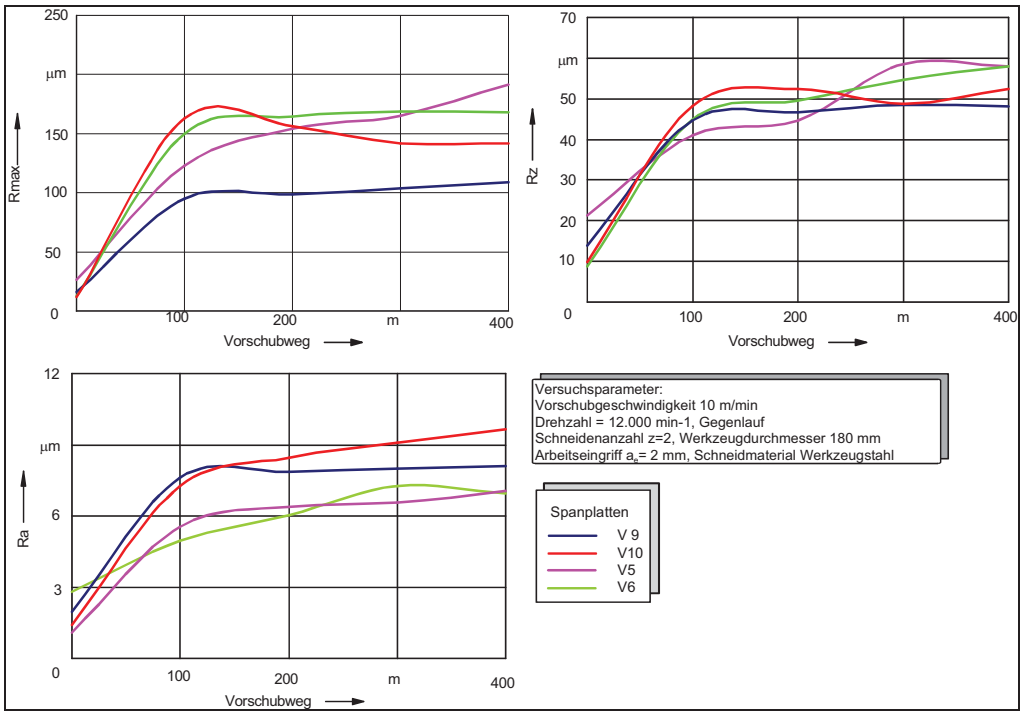

Abbildung 12.1-2: Kennwerte der Werkzeugschneiden bei der Bearbeitung der Varianten 5,6,9 und 10(Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008).

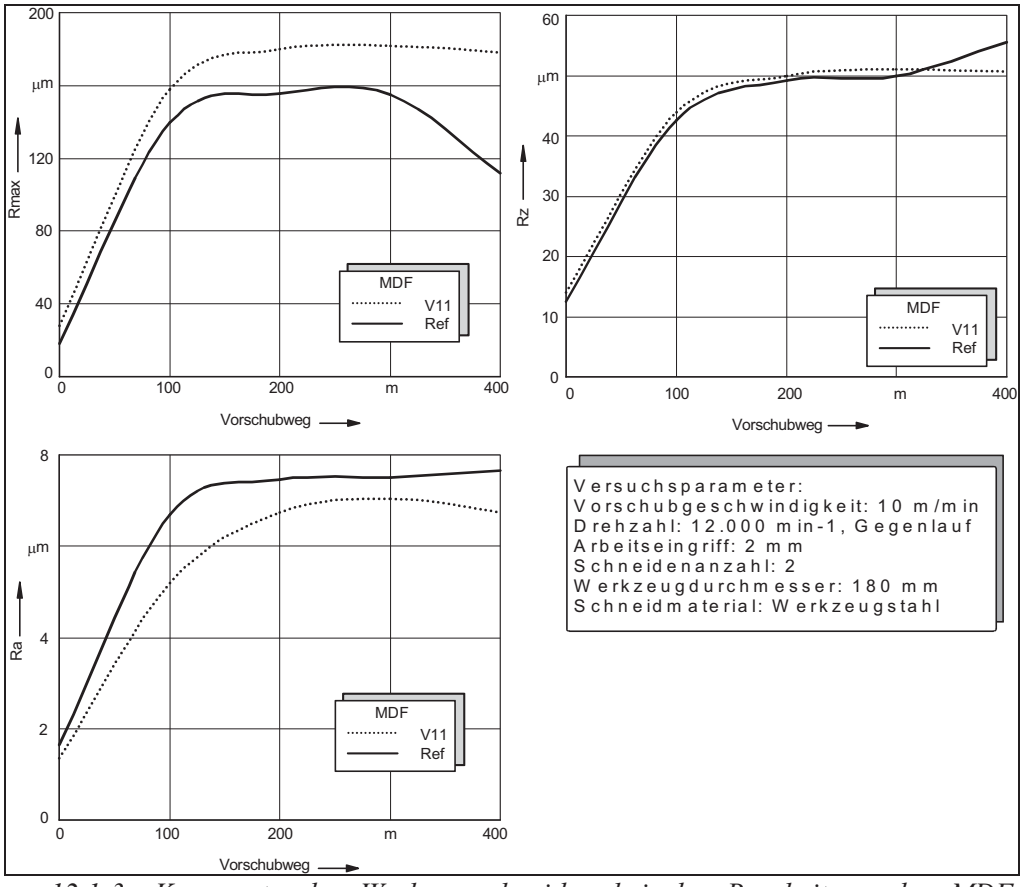

Abbildung 12.1-3: Kennwerte der Werkzeugschneiden bei der Bearbeitung der MDF Platten (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008).

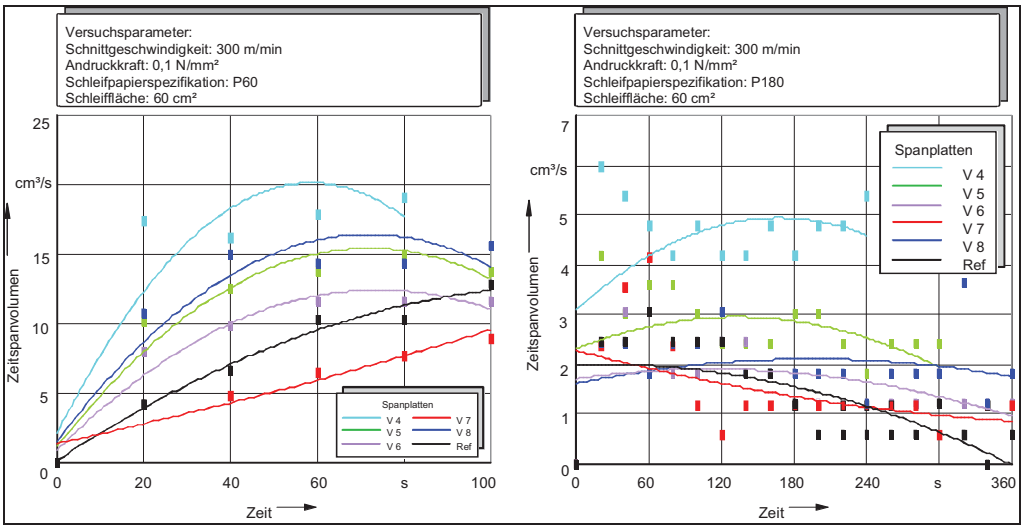

Abbildung 12.1-4: Zeitspanvolumen der unbeschichteten Spanplatten beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008).

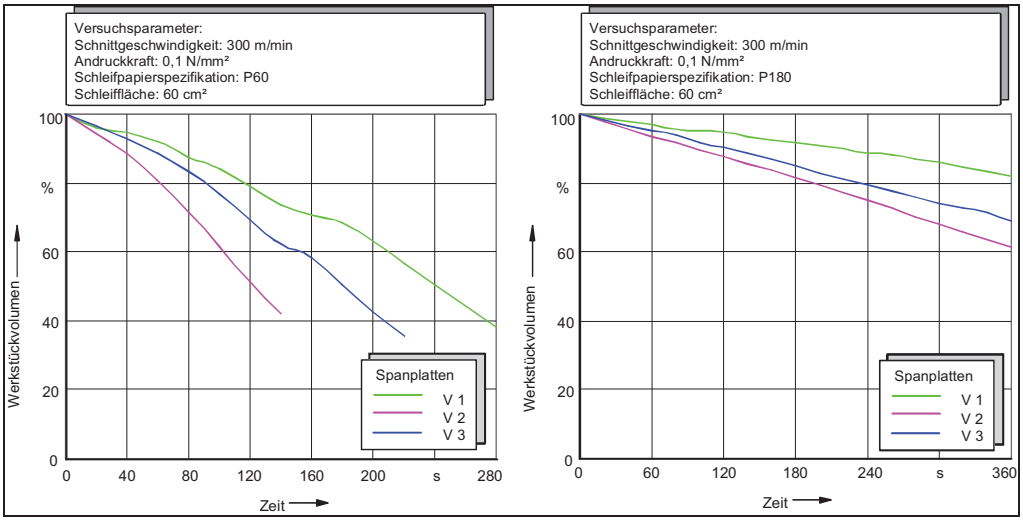

Abbildung 12.1-5: Volumenabnahme der unbeschichteten Spanplatten (38 mm) beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008).

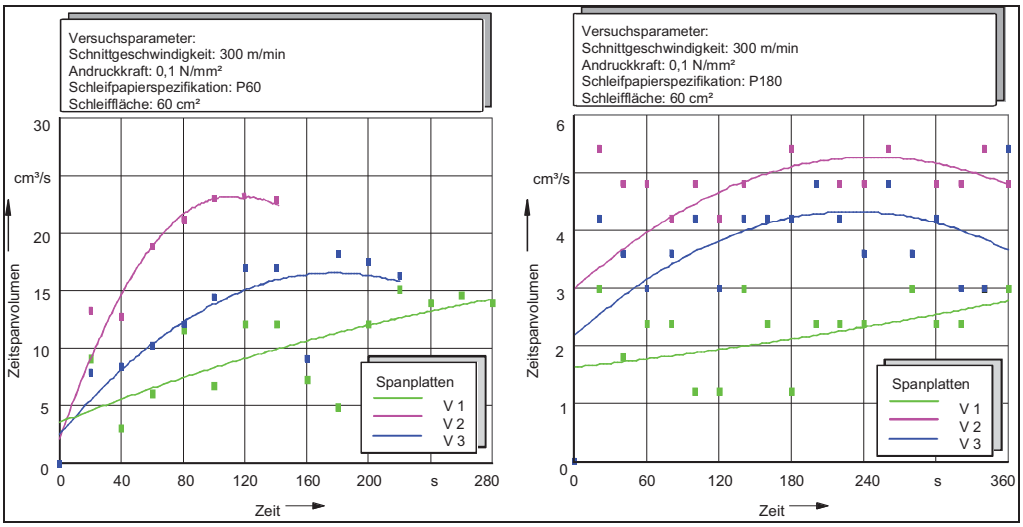

Abbildung 12.1-6: Zeitspanvolumen der unbeschichteten Spanplatten (38 mm) beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008).

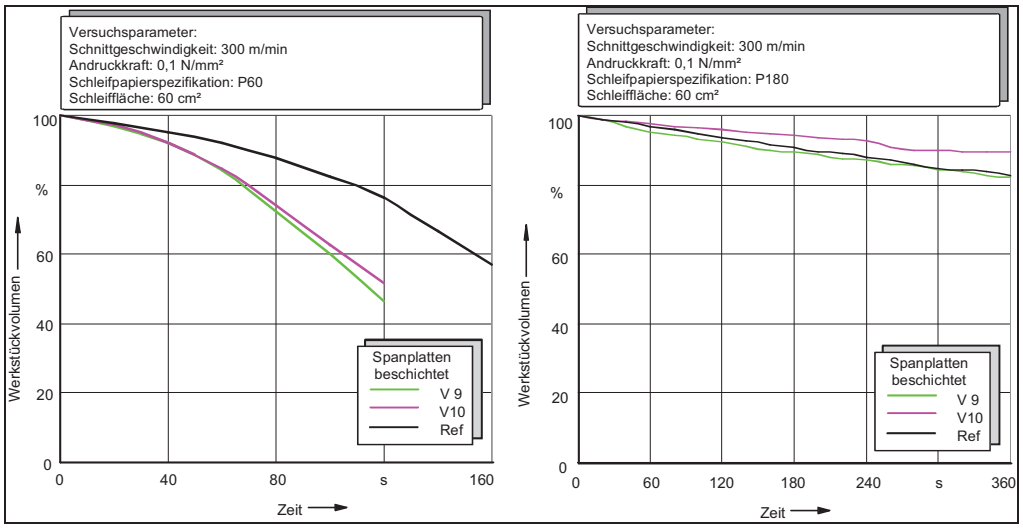

Abbildung 12.1-7: Volumenabnahme der beschichteten Spanplatten beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008).

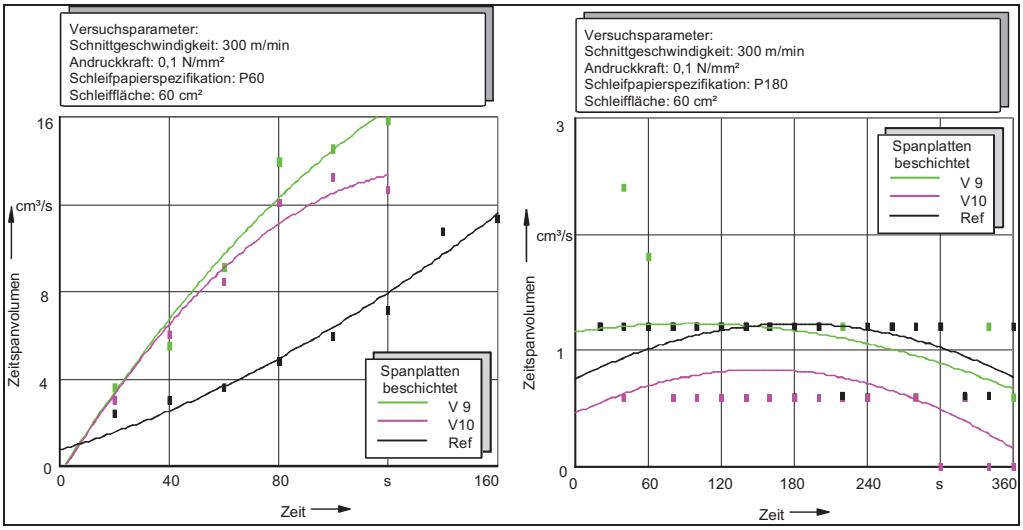

Abbildung 12.1-8: Zeitspanvolumen der beschichteten Spanplatten beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008).

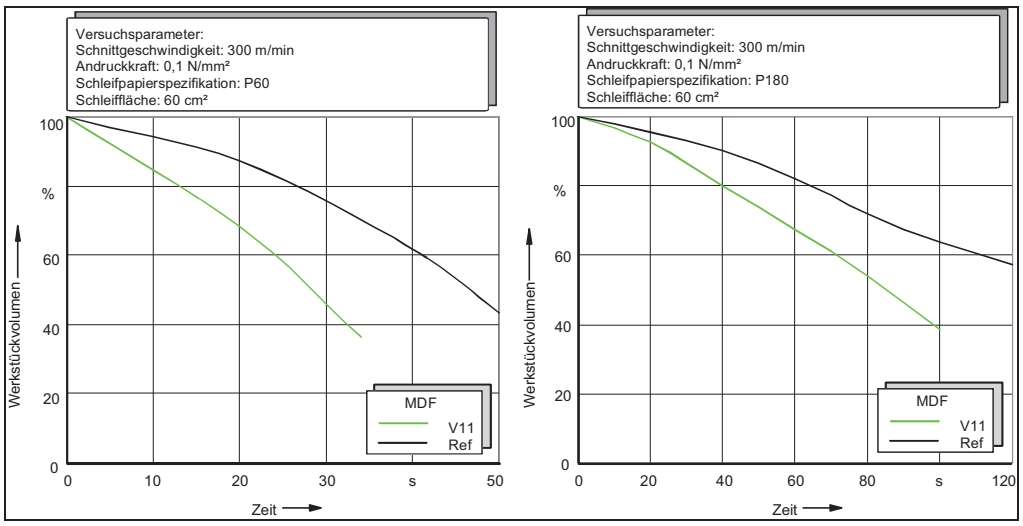

Abbildung 12.1-9: Volumenabnahme der MDF-Platten beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008).

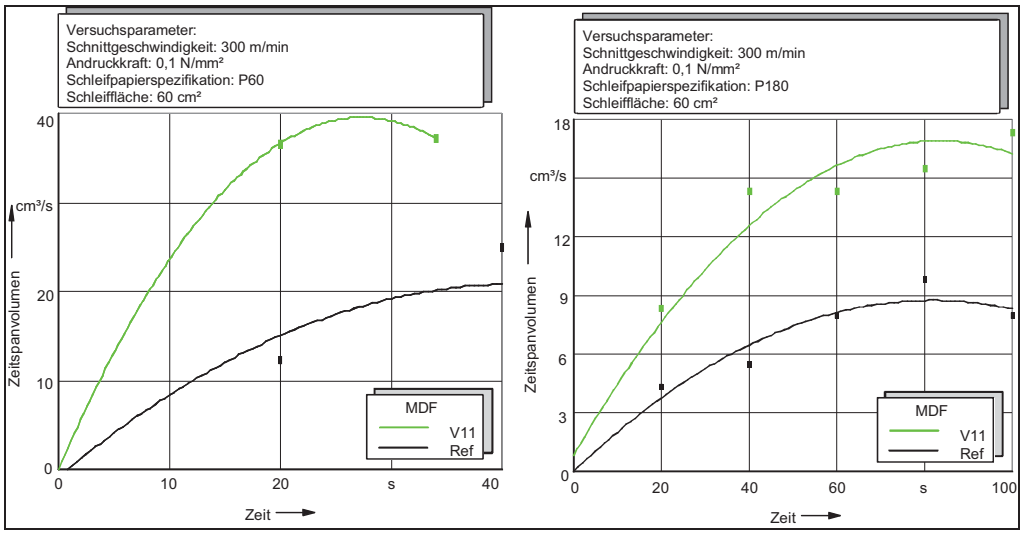

Abbildung 12.1-10: Zeitspanvolumen der MDF-Platten beim Schleifen (Beschriftung der Varianten entsprechend Tabelle 12-1) (Quelle: IWF, 2008).

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name:	Hubert Vos
Geburtstag:	13.12.1978
Geburtsort:	Kranenburg
Staatsangehörigkeit:	deutsch

Schulische Ausbildung

1985 – 1989	Grundschule Kranenburg
1989 – 1992	Realschule Kleve
1992 – 1998	Johanna-Sebus-Gymnasium Kleve

Wehrdienst

1998 – 1999	Grundwehrdienst beim Heer

Studium

1999 – 2003	Bachelor-Studium „Forstwissenschaften und Waldökologie“ an der Georg-August-Universität -Göttingen
2003 – 2005	Master-Studium „Forstwissenschaften und Waldökologie“ an der Georg-August-Universität -Göttingen

Wissenschaftliche Tätigkeit

2005 – 2009	Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Promotion an der Georg-August-Universität-Göttingen
Januar 2010	Rigorosum