

## **Schlussbericht des BMBF-Projektes**

**Verwertungsorientierte Untersuchungen der Hölzer der Baumarten *Fagus sylvatica* (Buche) und *Abies grandis* (Küstentanne) aus naturnah bewirtschafteten Mischwäldern zur Herstellung innovativer und zukunftsfähiger Holzprodukte und- werkstoffe.**

### **Teilprojekt 4: Holzwerkstoffe**

**Autor des Berichtes:**

M.Sc. Hubert Vos

**Berichtszeitraum:**

01.08.2005 bis 31.07.2008

**Am Teilprojekt beteiligte Personen:**

Prof. Dr. Alireza Kharazipour (Projektleiter)

**Vorhabensbezeichnung:**

Verwertungsorientierte Untersuchungen der Hölzer der Baumarten *Fagus sylvatica* (Buche) und *Abies grandis* (Küstentanne) zur Herstellung von Span- und Mitteldichten Faserplatten.

**Anschrift:**

Büsgen-Institut

Abt.: Molekulare Holzbiotechnologie & Technische Mykologie

Georg-August Universität Göttingen

Büsgenweg 2

37077 Göttingen

## **1) Aufgabenstellung**

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 Vorversuche 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.

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 Orientierungen 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 wird hier über die Zerspanung und Zerfaserung charakterisiert. 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 des Schüttgewichts des Span- und Fasermaterials für die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Platten soll in diesem Zusammenhang über Pressdruckmessungen gezeigt werden.

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Entwicklung leichter Span- und Faserplatten aus Küstentannenholz sowie neuartige Holzwerkstoffe aus Küstentanne in Kombination mit Buche. Dabei sollen allein die spezifischen Eigenschaften des Küstentannenholzes zu leichten Holzwerkstoffen mit hohen Festigkeitseigenschaften führen. Eine Beimischung von anderen, holzfremden Füllmaterialien ist in diesem Projekt nicht vorgesehen.

## **2) Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

In diesem Teilprojekt 4 fand eine sehr enge Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt 9, der industriellen Produktion von Span- und Faserplatten statt. Die Arbeitspläne der beiden Projekte wurden daher teilweise aufeinander abgestimmt.

Mit den technischen Voraussetzungen am Büsgen- Institut der Universität Göttingen, hinsichtlich des Einsatzes der Spanplatten- und Faserplattenpilotanlagen bestand eine sehr gute Vergleichbarkeit mit der industriellen Produktion, so dass stets Versuchsreihen miteinander verglichen und diskutiert werden konnten. Wie bereits erwähnt wurde die Reihenfolge der Schwerpunktsetzungen der Untersuchungen nach der industriellen Produktionsabfolge der Span- und Faserplattenherstellung ausgerichtet, dies nach dem heutigen Stand der Technik. Darüber hinaus konnte mit labortechnischen Mitteln Grundlagenforschung betrieben werden.

## **3) Planung und Ablauf des Vorhabens**

Die Herstellung von Spänen und Fasern durch das WKI (Braunschweig) erfolgte stets zu Beginn einer neuen Untersuchungsreihe. Im Jahre 2005 wurde Küstentannenholz aus dem Forstamt Reinhausen (Niedersachsen), im Jahre 2006 aus dem Forstamt Wolfenbüttel (Niedersachsen) und 2007 aus dem Forstamt Schmallerberg (NRW) bereitgestellt und zu Spänen und Fasern aufgeschlossen. In den Jahren 2006 und 2007 wurde Buchenholz aus den Forstämtern Ahlhorn (Niedersachsen) und Schmallerberg (NRW) zur Verfügung gestellt. Nach Eingang der Span- und Fasermaterialien am Büsgen- Institut der Universität Göttingen erfolgte eine morphologische und chemische Untersuchung der Partikel, so dass die für die Verarbeitung relevanten Eigenschaften der beiden Baumarten herausgearbeitet werden konnten. Die einzelnen Untersuchungen sind im Antrag aufgelistet. Danach konnte eine systematische Verfahrensauswahl mit prozesstechnischen Untersuchungen für die Herstellung von hochwertigem Span- und MDF- Platten erfolgen. In einzelnen Schritten wurden Versuche

zur Trocknung und Beleimung des Span- und Fasermaterials durchgeführt, anschließend zur Streuung des Span- bzw. Faserkuchens. In einem nächsten Schritt galt es geeignete Pressparameter zu ermitteln. Diese vier Schwerpunkte der Span- und Faserplattenproduktion wurden begleitet mit zahlreichen Unterversuchen, unter anderem mit der systematischen Mischung unterschiedlicher Span- und Fasermaterialien. Die Ermittlung geeigneter Prozessparameter wurde zunächst im Labormaßstab durchgeführt, im Anschluss sollten die gewonnenen Ergebnisse in den Pilotmaßstab übertragen werden, so dass eine direkte Vergleichbarkeit zur industriellen Produktion hergestellt werden konnte. Ergebnisse aus diesen Versuchsserien sind in die Planung der industriellen Großversuche mit eingeflossen.

#### **4) Wissenschaftlicher und technischer Stand**

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 großen Küstentanne bei 1,35 m pro Jahr. Demgegenüber wird im „Merkblatt für fremdländische Baumarten“ (MERKBLATT, 1984) das durchschnittliche Höhenwachstum mit 25–73 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 Gesamtwuchs 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 in den USA, die im Auftrag der bayrischen Versuchsanstalt und der Münchner Ministerialforstabteilung durchgeführt wurden. Damit weist sie ähnliche Werte auf wie die Fichte (*Picea abies*). 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 – 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 an für Stämme aus dem Forstamt Syke. Die Jahrringbreiten stimmen mit den Angaben der gleichen Autoren hinsichtlich des Dickenwachstums überein. Das Dickenwachstum wird hier mit 3 bis 11 mm pro Jahr angegeben.

MÜLLER (1938), RIEBEL (1994) sowie SCHWAB UND STRATMANN (1983) geben weitere Informationen zu den oben genannten Untersuchungen hinsichtlich der Normalrohddichte und der Darrdichte des Küstentannenholzes an. Dabei liegen die Normalrohddichten zwischen 0,40 g/cm<sup>3</sup> und 0,47 g/cm<sup>3</sup> und die Darrdichten bei 0,36 – 0,45 g/cm<sup>3</sup>. Die Werte zu den Normal- und Darrdichten der Küstentanne sind ähnlich 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 mechanische- 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 und 46,4 N/mm<sup>2</sup> (HAPLA, 2002; NIEMZ, 1993; FRÜHWALD, 1981; SCHWAB UND STRATMANN, 1983) als auch für die Biegefestigkeit, die in der Literatur mit Werten zwischen 60 und 80 N/mm<sup>2</sup> angegeben wird (RIEBEL, 1994; ERIKSON, 2000). Auch beim Biege-Elastizitätsmodul können bei Werten zwischen 8.500 - 11.350 N/mm<sup>2</sup> 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 des gleichmäßigen Faserverlaufs, der niedrigen Rohdichte und der uniformen Textur ein geringer Bearbeitungswiderstand zugesprochen (JOHNSON/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 Farbhalteigenschaften. 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). Eine weitere Verwendung 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.

## Verwendete Literatur

- ALDEN, H. A. 1997: Softwoods of America. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison, Wisconsin, Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-102.
- 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.
- BLAZEJ, A. 1979: Chemie des Holzes. VEB Fachbuchverlag Berlin.
- BOHN, C. 2004: Einsatz von *in vivo* biotechnologisch transformiertem rotfaulen Fichtenholz zur Span- und Faserplattenherstellung. Masterarbeit, Universität Göttingen.
- BOEHME, C., 1989: Holzarten- Kaltwasserauszug- Heißwasserauszug- pH-Wert Pufferkapazität. WKI-Kurzbericht Nr. 7, 1989.
- BÖHME, CH. 1991: Holzzentralblatt Nr. 117 : 1984. Aus Deppe/Ernst, 2000.
- BÖHME, CH. 1995: Orientierende Untersuchungen zur Reduzierung der Formaldehyd-emission von Spanplatten durch sogenannte „Sperrschichten“. WKI-Mitteilung 641/1995.
- BÖHME, CH. 1996: Die Prüfung der Trockenquerzugfestigkeit von Spanplatten. WKI-Mitteilung 667/1996.
- BUCHHOLZER, P. 1995: MDF aus unterschiedlichen Laub- bzw. Nadelhölzern und Bindemitteln. WKI-Mitteilung 637/1995.
- BUCHHOLZER, P. 2002: Bindemittel einsparen. WKI-Mitteilung 805/2002.
- BUCHHOLZER, P. 2000: Trockenbeimung in der MDF- Herstellung. WKI-Mitteilung 759/2000.
- 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. WKI-Mitteilung 435/1987.
- BURSCHEL, P., HUSS, J. 1997: Grundriß des Waldbaus. Parey Buchverlag Berlin.
- CAESAR, C. J. 1979: Erfahrungen beim Anbau von *Abies grandis* in Ostwestfalen/Lippe. AFZ 34, 688-689.
- DEPPE, H. J., ERNST, K. 2000: Taschenbuch der Spanplattentechnik. 4. Auflage. DRW-Verlag. Leinefeld-Echterdingen.
- DIETER, M. 2003: Holzbilanzen 2001 und 2002 für die Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie 2003/2 der BFH – Hamburg.
- DIX, B., OKUM, J., ROFFAEL, E., 1999: Extraktstoffgehalt, pH-Wert, Pufferkapazität und Abgabe an flüchtigen Säuren von Kernholz der Eiche und Robinie. WKI-Kurzbericht, Nr. 13, 1999.

- 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.
- 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.
- 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.
- EUROPEAN PANEL FEDERATION. 2004: Fachreferat am 4. europäischen Holzwerkstoff-Symposium in Hannover. Ausgerichtet von der EPF und des WKI.
- EUROSTAT, 2008: Aus „Rundholzproduktion steigt EU- weit“, Holz- Zentralblatt, 2008. Nr. 44, S. 1218.
- 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.
- 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.
- 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..
- GRAMMEL, R. 1989. Forstbenutzung: Technologie und Verwertung des Holzes. Parey-Verlag, Hamburg, Berlin.
- HABENICHT, G. 1997: Kleben. Grundlagen, Technologie, Anwendungen. Springer-Verlag. Berlin.
- 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.

- 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.
- HELLER, W. 1995: Die Spanplatten-Fibel. CW Niemeyer-Druck. Hameln.
- HÜSTER, H.G., RILLING, T., WITKAVEL, A., KÖNIG, B. UND ROFFAEL, E., 2002: Skript zur Vorlesung Sägewerkstechnik. Institut für Holzbiologie und Holztechnologie, Universität Göttingen.
- JAYME, J., BÜTTEL, H. 1968: Vergleich verschiedener Verfahren zur Pentosanbestimmung einschließlich einer neuen ISO-Methode. Das Papier, 22.Jg., Nr. %, S. 249 - 253.
- JUNG, B., ROFFAEL, E. 2002: Über die Acidität einheimischer Holzarten. Mitteilung aus dem Institut für Holzbiologie und Holztechnologie der Universität Göttingen.
- 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., 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 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 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.
- KLABUNDE, S., MARUTZKY, R. UND THOLE, V. 1999: Gewinnung und Eigenschaften von Holzfasern. WKI- Mitteilung 725/1999.
- KLAUDITZ. 1955: Entwicklung, Stand und holzwirtschaftliche Bedeutung der Holzspanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 16, 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.
- 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.
- KRUSE, J. UND PARAMESWARAN, N. 1978: Mikrotechnologische Untersuchungen an Rindenplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 36 (S. 225-233).
- KÜRSCHNER, K. 1966: Chemie des Holzes- Kurzer Abriss. 2. Auflage. Berlin-1966.
- LELIS, R., ROFFAEL, E. UND BECKER, G. 1994: Zur Verleimbarkeit von Splint- und Kernholz der Douglasie. WKI- Mitteilung 627/1994.
- LOHMANN, U. 1982: Holzhandbuch. DRW-Verlag. Leinfelden-Echterdingen.
- LOTH, R. 2004: Spanqualität besonders in der Möbelindustrie wichtig. Holz-Zentralblatt, Nr. 4, S. 61.
- MANTAU, U., WIERLING, R. UND WEIMAR, H. 2002. Standorte der Holzwirtschaft, Holzwerkstoffindustrie, Abschlussbericht. Uni Hamburg.
- MANTAU, U., WIERLING, R. UND WEIMAR, H. 2003: Holzwerkstoffindustrie in Deutschland. Holz-Zentralblatt 15. S. 231 – 234. DRW-Verlag. Leinefelden – Echterdingen.
- MANTAU, U., SÖRGEL, C. 2004a: Standorte der Holzwirtschaft – Sägeindustrie. Universität Hamburg, Ordinariat für Weltforstwirtschaft. Arbeitsbereich: Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft. Hamburg 2004.
- MANTAU, U., SÖRGEL, C. 2004b: Standorte der Holzwirtschaft – Holzwerkstoffindustrie, Holzschliff- und Zellstoffindustrie, Sägeindustrie. Universität Hamburg, Ordinariat für Weltforstwirtschaft. Arbeitsbereich: Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft. Hamburg 2004.
- MANTAU, U., 2004: Holzrohstoffbilanz für Deutschland. Holz-Zentralblatt Nr. 76.
- 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](http://www.wki.fhg.de).
- MAY, H.A. 1982: Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 40 (1982), 303-306
- MERKBLATT, 1981-1986: Merkblatt über fremdländische Baumarten. Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung, Nordrhein-Westfalen
- MOMBÄCHER, 1988: Holz-Lexikon Nachschlagewerk für die Holz- und Forstwirtschaft, 3.Auflage, DRW-Verlag Leinfelden-Echterdingen
- MÜLLER, K. 1938: *Abies grandis* und ihre Klimarassen: e. Beitrag zur Klimarassenfragen bei Holzarten mit großen Verbreitungsgebiet. Aus: Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft.

- NIEDERSÄCHSISCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT. 2004: Empfohlene Herkünfte forstlichen Vermehrungsgutes für Niedersachsen und Schleswig-Holstein(Herkunftsempfehlungen).[www.cdl.niedersachsen.de/blob/images/C9282712\\_L20.pdf](http://www.cdl.niedersachsen.de/blob/images/C9282712_L20.pdf).
- NIEMZ, P. 1993: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., Leinefelden- Echterdingen.
- OLDÖRP, K. UND MARUTZKY, R. 1997: Untersuchungen an Spanplatten mit harnstoffmodifizierten PF- Harzen. WKI- Mitteilung 704/1997.
- RAU, H.-M., KLEINSCHMIDT, J., KÖNIG, A., RUETZ, W. UND SVOLBA, J.,XXX: Provenienzversuche mit Küstentanne (*Abies grandis* Lindl.) in Westdeutschland, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 169 (6/7); 109-115
- 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
- ROERING, H.W. 1988: Waldbauliche Erfahrungen mit der Großen Küstentanne in Schleswig-Holstein. Allgemeine Forstzeitschrift, Stuttgart Nr. 25, S. 697-698
- ROFFAEL, E. 1982: Die Formaldehydabgabe von Spanplatten und anderer Werkstoffe. DRW-Verlag Stuttgart.
- 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), 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. WKI- Mitteilung 602/1994.
- 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. WKI- Mitteilug 613/1994.
- 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. WKI- Mitteilug 621/1994.
- 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 Studentexte Nr. 68, Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin.
- SATTLER, H. 1999: Hygrisch bedingte Dimensionsänderungen. WKI-Mitteilung 736/1999.
- SCHENZ, M., 1996. Restholzsortimente als Rohstoff zur Herstellung von Span- und MDF-Platten. Vortrag auf der Fachtagung „Verwertung von Sägeresthölzern – Bedeutung für die Forst- und Holzwirtschaft“, Göttingen 1996.
- SCHÖPPER, CH. 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.
- SCHÜTT, P.; SCHUCK, H. J. UND STIMM, B., 1992: Lexikon der Baum- und Straucharten. Das Standardwerk der Forstbotanik. Ecomed Verlagsgesellschaft mbH. Landsberg/Lech: 270.
- SCHWAB, E. UND STRATMANN, J. 1983: Holzeigenschaften norddeutscher Küstentannen. Forst und Holz, 38, 252-256.
- SCHUHMACHER, W. 1967: Der Stofftransport der Pflanze. In: Handbuch der Pflanzenphysiologie, Schuhmacher, W., Ruhland, W. (Hrsg.) Springer-Verlag.
- SELL, J. 1989: Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten. Baufachverlag.
- STRATMANN, J. 1988: Ausländeranbau in Niedersachsen und angrenzenden Gebieten. Forstliche Fakultät, Universität Göttingen, Bd. 91.
- 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.
- TROTHA, VON. 2005: Aufkommen, Beschreibung und Verwendung von Sägenebenprodukten. Forstliche Fakultät, Universität Göttingen. Bachelorarbeit, 2005.
- VHI, 2008: Verband der Holzwerkstoffindustrie e.V., <http://www.vhi.de>, Branchendaten. Datum: 15.07.2008.
- WALTHER, T. 2006: Methoden zur qualitativen und quantitativen Analyse der Mikrostruktur von Naturfaserwerkstoffen. Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der Universität Hamburg. Dissertation, 2006.
- 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.

- WULF, M., NETUSCHIL, P., HORA, G., SCHMICH, P. UND CAMMENGA, H.K. 1997: Investigation of the wetting characteristics of medium density fibreboards (MDF) by means of contact angle measurements. WKI- Mitteilung 697/1997.
- ZEPPENFELD, G., 2005: Klebstoffe in der Holz- und Möbelindustrie. Leinfelden Echterdingen: DRW-Verl. Weinbrenner, 2005.

## **5) Ergebnisse**

### **Holz, Späne und Fasern**

Das für alle hier aufgeführten Versuche verwendete Küstentannenholz und Buchenholz stammt aus dem nordrhein- westfälischen Forstamt Schmallenberg. Bei diesen Beständen handelt es sich um wissenschaftlich angelegte Versuchsflächen, die Partnern anderer Teilprojekte (Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt; Universität Göttingen, Abteilung Holzbiologie und Holztechnologie) als Untersuchungsgrundlage ebenfalls zu Verfügung standen.

Der Aufschluss des Holzes zu Spänen und Fasern wurde vom Wilhelm -Klauditz- Institut Braunschweig (WKI) vorgenommen. Ein Teil der verwendeten Küstentannenspäne stammt aus industriellen Produktionsversuchen. Auf diese Weise war ein Vergleich zwischen Spänen aus Messerring- und Messerwellenzerspannung realisierbar.

Die zur notwendigen Vergleichbarkeit aller Versuchsreihen eingesetzten Referenzfasern wurden von der Firma Steico (Werk Czarnkow, Polen) bereitgestellt. Bei diesen Holzfasern handelt es sich um Kiefernfasern (*Pinus sylvestris*). Der Industriefaserstoff wurde nach dem Asplund- Verfahren hergestellt.

Die Herstellung der Referenzspanplatten erfolgte aus industriell aufbereitetem Spangut aus dem Spanplattenwerk Gütersloh der Pfeleiderer Holzwerkstoffe GmbH. Das Spanmaterial wurde im getrockneten Zustand bei 1 - 2 % Feuchte getrennt nach Deck- und Mittelschichtspäne am Ausfall der Trockenspanbunker entnommen. Das Spangut hat damit eine werksübliche Zusammensetzung der Holzrohstoffe und der einzelnen Spanfraktionen.

### **Analytische Untersuchungen**

Die chemischen Analysen der verwendeten Span- und Faserstoffe zeigen deutlich, dass sich das Küstentannenholz hinsichtlich der Lignin-, Pentosan- und Extraktstoffgehalte in den für Nadelhölzer üblichen Bereichen bewegt. Auch die ermittelten pH-Werte und Pufferkapazitäten ergeben keine signifikanten Abweichungen, die eine besondere

Berücksichtigung bei der Beleimung der Späne und Fasern sowie bei der Verpressung der Formlinge bedürfen. Diese sehr aufwändigen Analysen waren dennoch sinnvoll, um Abweichungen der Prozessparameter bedingt durch Änderungen in der chemischen Zusammensetzung auszuschließen. Die morphologischen Untersuchungen mittels Rasterelektronen- Mikroskopie zeigen ebenfalls keine Auffälligkeiten. Genauere Ausführungen dieser Untersuchungen werden in einer Dissertation, VOS (2009), veröffentlicht.

### **Probeentnahme, 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 als auch im Industriemaßstab hergestellt werden, finden in Anlehnung zu dieser Norm statt. Differenzen liegen in der Probenzahl pro Platte und im Einschnittmuster bei der Probenherstellung. Die Entnahme der Prüfkörper erfolgt nach Zufallsgesichtspunkten, so dass jeder Teil der Platte die gleiche Wahrscheinlichkeit hat 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 1 aufgeführt.

*Tabelle 1: Probenumfang der einzelnen Prüfverfahren und Versuchsserien*

Prüfverfahren	EN- Norm	Anzahl Prüfkörper pro Platte	Anzahl Platten	Maße Prüfkörper Länge * 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

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 der Querzugfestigkeit, Abhebefestigkeit, Dickenquellung und Rohdichte jeweils 60 Einzelproben

gemessen werden. Für den 3-Punkt Biegeversuch sind es insgesamt 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.

## **Anforderungen an Span- und Mitteldichte Faserplatten**

### **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 3 Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Feuchtbereich
- P 4 Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich
- P 5 Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Feuchtbereich
- P 6 Hoch belastbare Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich
- P 7 Hoch belastbare Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Feuchtbereich

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.

Tabelle 2: 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/mm <sup>2</sup>	12,5	11,5	7	13	13	8,5	16	15	9	20	18	14
Biege- E- Modul	N/mm <sup>2</sup>				1800	1600	1200	2300	2300	1500	3150	3000	2200
Querzugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	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/mm <sup>2</sup>				0,8	0,8	0,8						
Dickenquellung	%							16	15	14	14	14	13

Der Schwerpunkt aller Versuche liegt in der Erfüllung der Mindestwerte für P2- Platten, „Platten für Inneneinrichtungen (einschließlich Möbel) zur Verwendung im Trockenbereich“. In der Tabelle 2 sind die Mindestanforderungen für alle Spanplatten zur Verwendung im Trockenbereich aufgeführt, sortiert nach Plattentypen und Dickenbereichen.

### Mitteldichte Faserplatten

Mitteldichte Faserplatten (MDF) werden nach dem Trockenverfahren hergestellt und sind von Mittharten Faserplatten nach dem Nassverfahren zu unterscheiden. Die Anforderungen an Mitteldichte Faserplatten nach dem Trockenverfahren (MDF) zur Verwendung im Trockenbereich zeigt die Tabelle 3. Auch diese Werte beziehen sich auf Produkteigenschaften und sind keine charakteristischen Werte, die für konstruktive Berechnungen verwendet werden können (DIN EN 622-5, 2004).

Tabelle 3: Anforderungen an Mitteldichte Faserplatten (MDF) zur Verwendung im Trockenbereich nach prEN 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/m <sup>3</sup>	> 12-19 450/500 kg/m <sup>3</sup>
Biegefestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	23	22	20	29	27	25	19	19	17	12,8 / 18	11,4 / 16
Biege- E- Modul	N/mm <sup>2</sup>	2700	2500	2200	3000	2800	2600	1700	1700	1600	1000 / 1400	930 / 1300
Querzugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	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:

EN 622-5 : 2004	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

Hinsichtlich der Beurteilung der hergestellten Versuchsplatten interessieren in erster Linie die Anforderungsprofile für Typ „MDF“ und Typ „MDF.LA“. Die Festigkeitswerte für Platten mit geringen Rohdichten orientieren sich ebenfalls an diesen beiden Profilen.

Alle Span- und Faserplatten müssen allgemeinen Mindestanforderungen genügen, die vor Auslieferung aus dem Herstellwerk überprüft werden müssen. Unter anderem gibt diese Norm Grenzwerte für maximale Grenzabmaße, maximale Abweichungen der Rohdichte von der mittleren Rohdichte und Grenzwerte der Plattenfeuchte an. Platten der Emissionsklasse E1 dürfen weiterhin einen Perforatorwert von 8 mg HCHO/100 g Holzwerkstoff nicht überschreiten.

### **Spanplatten**

Die Spangeometrie ist einer der wichtigsten Parameter bezüglich der Eigenschaften der daraus hergestellten Spanplatten. Da die Länge, Breite und Dicke der Späne sehr gut miteinander korrelieren, stellt die Siebanalyse ein geeignetes Mittel zur Charakterisierung der Späne dar. Abhängig von den Spandimensionen sind das Spanvolumen und die Spanoberfläche, die wiederum die Leimverteilung sowie das Schüttgewicht und die Späneverdichtung in der Platte mit bestimmen. 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.

Die Vorfraktionierung der verwendeten Späne der Küstentanne wurde im WILHELM-KLAUDITZ-INSTITUT FÜR HOLZFORSCHUNG, Braunschweig durchgeführt. Es handelt sich hierbei um Späne hergestellt aus Messerringzerspanung. Bei der Siebung wurde dabei das Spanmaterial in 5 Fraktionen getrennt. Die Maschenweiten betragen 0,6 mm, 1,25 mm, 3,15 mm und 5 mm. Eine ausgesuchte Abmischung dieser Fraktionen wurde für Deck- und

Mittelschichtspäne verschiedener Versuchsreihen verwendet. Die Siebanalysen dieser Spanzusammensetzungen sind in der Abbildung 1 dargestellt.

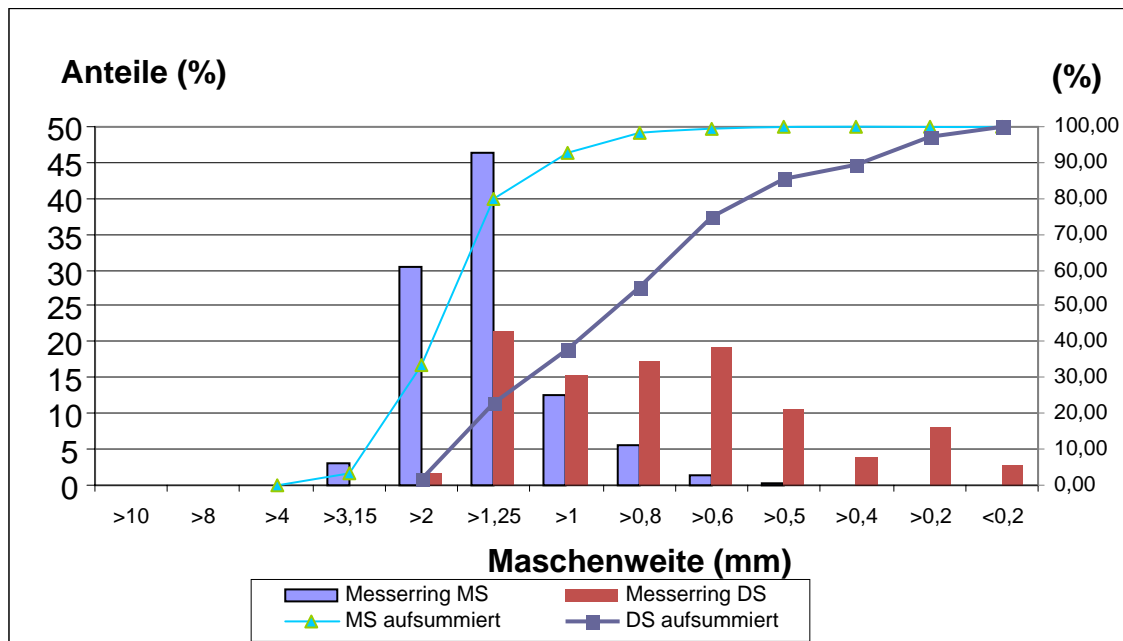


Abbildung 1: Zusammensetzung der Spanfraktionen für dreischichtige Spanplatten aus Küstentannenholz nach Messerringzerspannung

Wie in der Grafik zu sehen ist liegen über 90 % der Mittelschichtspäne im Bereich von 1 mm bis 3,15 mm Siebmaschenweite. Der Hauptanteil der Deckschichtspäne verteilt sich relativ gleichmäßig über die Fraktionen > 0,6 mm Maschenweite bis 1,25 mm Maschenweite.

Abbildung 2 zeigt die Siebanalyse von Küstentannenspänen hergestellt mit Messerwellenzerspanern. Die Aufbereitung des Holzes fand im Zuge eines Produktionsversuches zur Verwendung von Küstentannenholz im Spanplattenwerk Gütersloh der Pfeleiderer Holzwerkstoffe GmbH statt. Die Späne aus Messerwellenzerspanung erweisen sich als sehr dünn und flächig. Im Vergleich dazu ist die Partikelstruktur bei Messerringspänen eher stäbchenförmig. Zur Nachzerkleinerung der Messerringspäne sowie zur Herstellung der DS- Messerwellenspäne wurden Hammermühlen eingesetzt. 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. Allgemein sind die Spandimensionen bei diesen Mittelschichtspänen eher größer ausgefallen vergleichend zu den anderen hier aufgeführten Mittelschichtfraktionen.

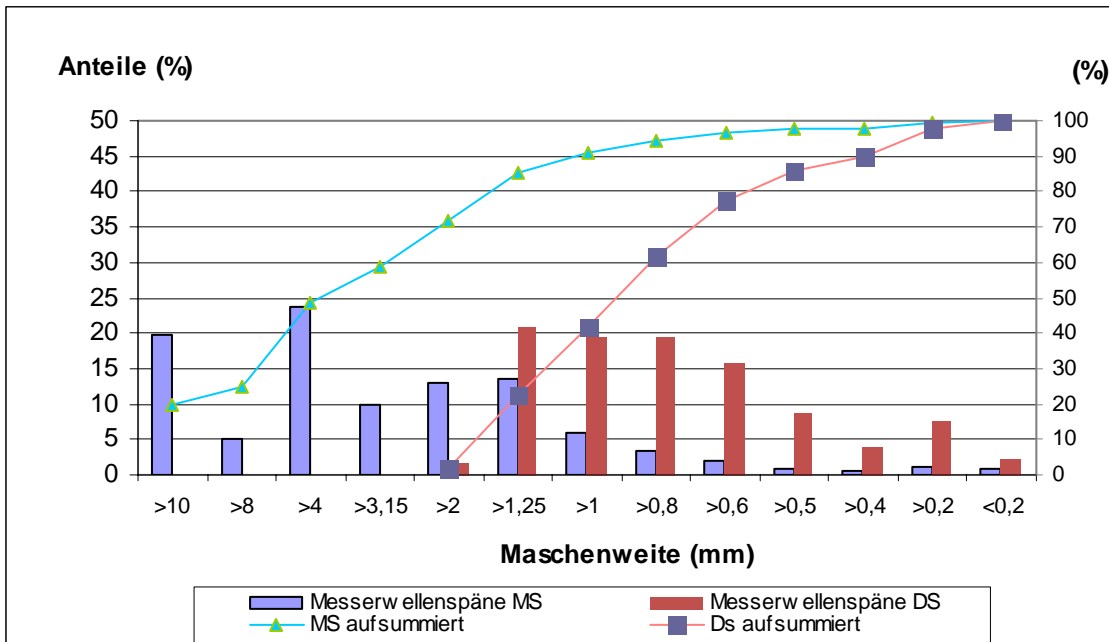


Abbildung 2: Siebanalyse und Spanzusammensetzung für dreischichtige Spanplatten aus Küstentannenholz nach Messerwellenzerspanung

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 mit der oben aufgeführten Siebanalyse der DS- Messerringspäne.

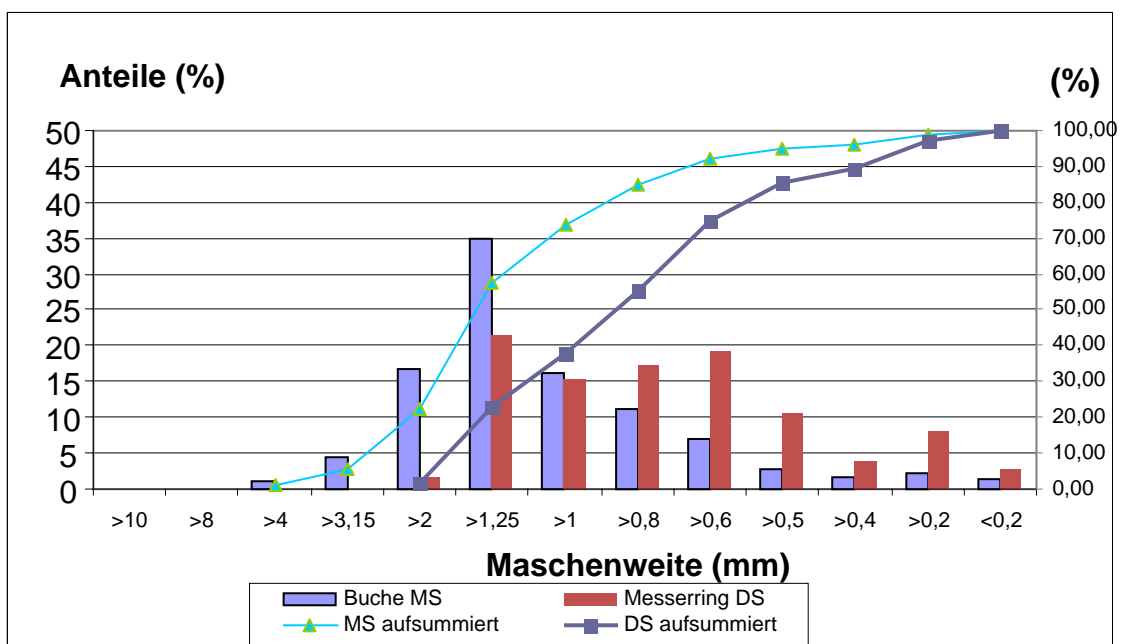


Abbildung 3: Siebanalyse und Spanzusammensetzung für Sandwich-Platten aus Küstentannenholz in der DS und Buchenholz in der MS nach Messerringzerspanung

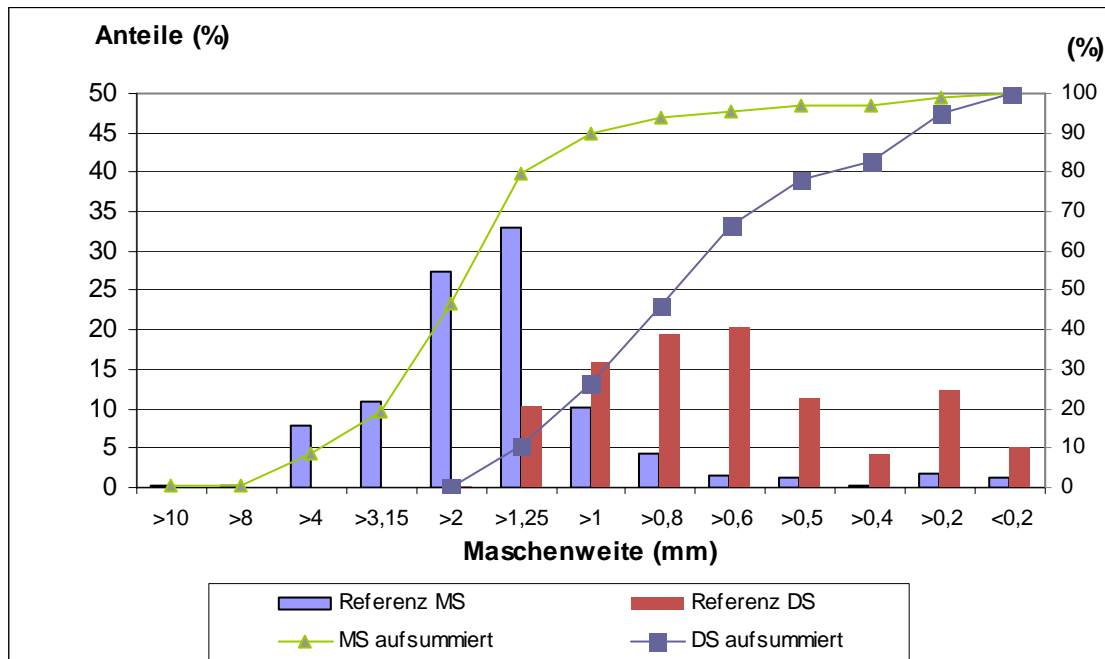


Abbildung 4: Siebanalyse und Spanzusammensetzung für dreischichtige Spanplatten aus industriell aufbereitetem Referenzspanmaterial

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Siebanalyse der Referenzspäne getrennt nach Deckschicht und Mittelschicht aufgeführt. Die Siebanalyse entspricht ebenfalls der Spanzusammensetzung der entsprechenden Referenzplatten.

Das Schüttgewicht gibt Informationen über das Volumen des locker gestreuten Spanmaterials bei einem bestimmten Gewicht und wird in  $\text{kg/m}^3$  angegeben. Wie oben erwähnt, basieren das Schüttgewicht bzw. die Streudichte der Späne auf der Rohdichte des Holzes und auf der Spangeometrie. Wichtig ist das Schüttgewicht für die Überwachung von Bunkerfüllständen, Regelung der Fahrgeschwindigkeiten bei der Beleimung, 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 die zu erwartende Lagerungsdichte der Späne in den herzustellenden Platten. Die Schüttgewichtbestimmungen wurden bei den Küstentannen-, Buchen- und Referenzspänen getrennt nach Deckschicht und Mittelschicht durchgeführt. In der Tabelle 4 sind die ermittelten Schüttgewichte der verwendeten Spanmaterialien vor der Beleimung aufgeführt.

Tabelle 4: Schüttgewichte der verwendeten Spanmaterialien

Material	Schüttgewicht (kg/m <sup>3</sup> ) bei 2-3 % Spanfeuchte
KüTa DS (Messerring)	80,45
KüTa MS (Messerring)	75,15
KüTa DS (Messerwelle)	122,55
KüTa MS (Messerwelle)	74,52
Buche MS	172,8
Referenzspäne DS	170,7
Referenzspäne MS	137,28

Die Werte zeigen, dass die Küstentannenspäne sowohl in der Deckschicht als auch in der Mittelschicht erheblich geringere Schüttgewichte vergleichend zu den Buchen- und Referenzspänen aufweisen. Schüttgewichtsmessungen bei Fichtenspänen nach Messerringzerspannung ergaben Werte von 103,2 kg/m<sup>3</sup> für Deckschichtspäne und 99,6 kg/m<sup>3</sup> für Mittelschichtspäne (BOHN, 2004). Die Zerspannung erfolgte nach analogen Parametern.

Im Folgenden werden die mechanisch- technologischen Eigenschaften einiger repräsentativer Versuchsreihen dreischichtiger Spanplatten aufgeführt und verglichen. Dargestellt werden dabei Spanplatten, hergestellt aus Küstentannenholz nach Messerringzerspannung und aus Küstentannenholz nach Messerwellenzerspannung. Zusätzlich werden ergänzend die Festigkeitseigenschaften von Sandwich- Platten, angefertigt aus Küstentannenspänen in der Deckschicht und Buchenspänen in der Mittelschicht, aufgeführt (VOS, KHARAZIPOUR, 2008). Zur Einordnung der Ergebnisse wurden Platten aus industriell aufbereitetem Spangut gepresst, die hier ebenfalls dargestellt werden. Alle Serien wurden mit gleichen Herstellungsparametern produziert. Die Dosierung der Leimflotte, bestehend aus einem Harnstoff- Formaldehydharz, wurde mit 10 % Festharzgehalt auf atro Span in der Deckschicht und 8,5 % in der Mittelschicht festgelegt. Die gesamte Zusammenstellung der Leimflotte zeigt die Tabelle 5. Der gewichtsbezogene Anteil der Deckschicht liegt bei 40 % und der Anteil der Mittelschicht beträgt 60 %.

Tabelle 5: Herstellungsparameter für dreischichtige Spanplatten im Pilotmaßstab

Versuchsreihe	Hydrophobierungsmittel (% auf atro Span)		Härtebeschleuniger (% auf FS-Bindemittel)		beleimte Sollfeuchte (% auf atro Span)		Pressdruck (bar)	Presstemperatur (°C)
	DS	MS	DS	MS	DS	MS		
KüTa (MW)	1	1	0,5	1	10	8,5	220	195
KüTa (MR)	1	1	0,5	1	10	8,5	220	195
Sandwich	1	1	0,5	1	10	8,5	220	195
Referenz	1	1	0,5	1	10	8,5	220	195

Die Abbildung 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 Holzgangsmaterialien 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. Begründet werden kann dies weniger mit der unterschiedlichen Spangrößenverteilung der Deckschichtspäne, da die eingesetzten Deckschicht-Messerwellenspäne deutlich mehr Feingutanteile aufweisen sowie im ganzen eher kleiner dimensioniert sind. Auch die Rohdichtepprofile widersprechen gerade im unteren Bereich der Plattenrohlichten diesen Ergebnissen (Abbildung 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, der bei den Deckschicht- Messerringspänen deutlich niedriger ausfällt.

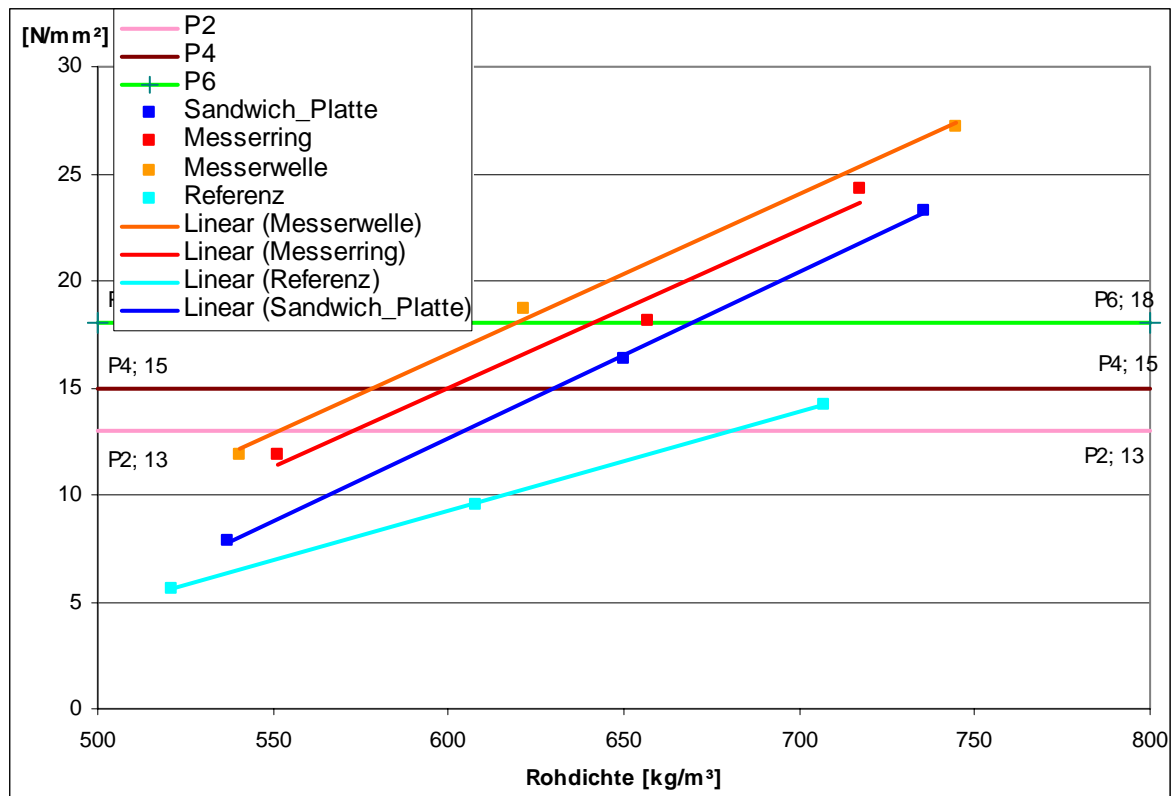


Abbildung 5: Vergleich der Biegefestigkeiten

Die Sandwich-Platten, bestehend aus Küstetannenspänen aus Messerringzerspanung in der Deckschicht, weisen geringere Biegefestigkeiten auf als die beiden zuvor genannten Versuchsreihen. Bei der Betrachtung der Rohdichteprofile dieser drei Serien zeigt sich eine deutliche Ausprägung der Rohdichtemaxima in den Deckschichtlagen der Sandwich-Platten. Die Rohdichtemaxima haben neben der Struktur der Späne eine wichtige Funktion für hohe Biegefestigkeiten. Das Rohdichtemaximum selbst wird aber auch durch die Spanstruktur mitbestimmt. Auch wenn der Mittelschicht eine untergeordnete Rolle bei der Ausprägung der Biegefestigkeiten zugesprochen wird, liegt hier dennoch die Ursache der geringeren Werte in der Beschaffenheit der Mittelschicht aus Buchenspänen. Vor allem die äußeren Lagen der Mittelschicht werden bei der Biegebelastung beansprucht. Die schweren, relativ kurzen und verhältnismäßig dicken Buchenspäne wirken hier nachteilig. Die Referenzplatten zeigen die niedrigsten Biegefestigkeiten aufgrund des ungünstigen Verhältnisses von Feingutaufkommen, unterschiedlicher Spanformate und hoher Streudichte der Deckschichtspäne. In der Abbildung 5 wird über lineare Regression die minimale Rohdichte zur Erlangung 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 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/m<sup>3</sup> bis 700 kg/m<sup>3</sup>. Die beiden Versuchsreihen aus Küstentannenspänen erreichen die P2- Norm im Bereich von 550 kg/m<sup>3</sup> bis 570 kg/m<sup>3</sup>, die Sandwich-Platten im Bereich von 600 kg/m<sup>3</sup>.

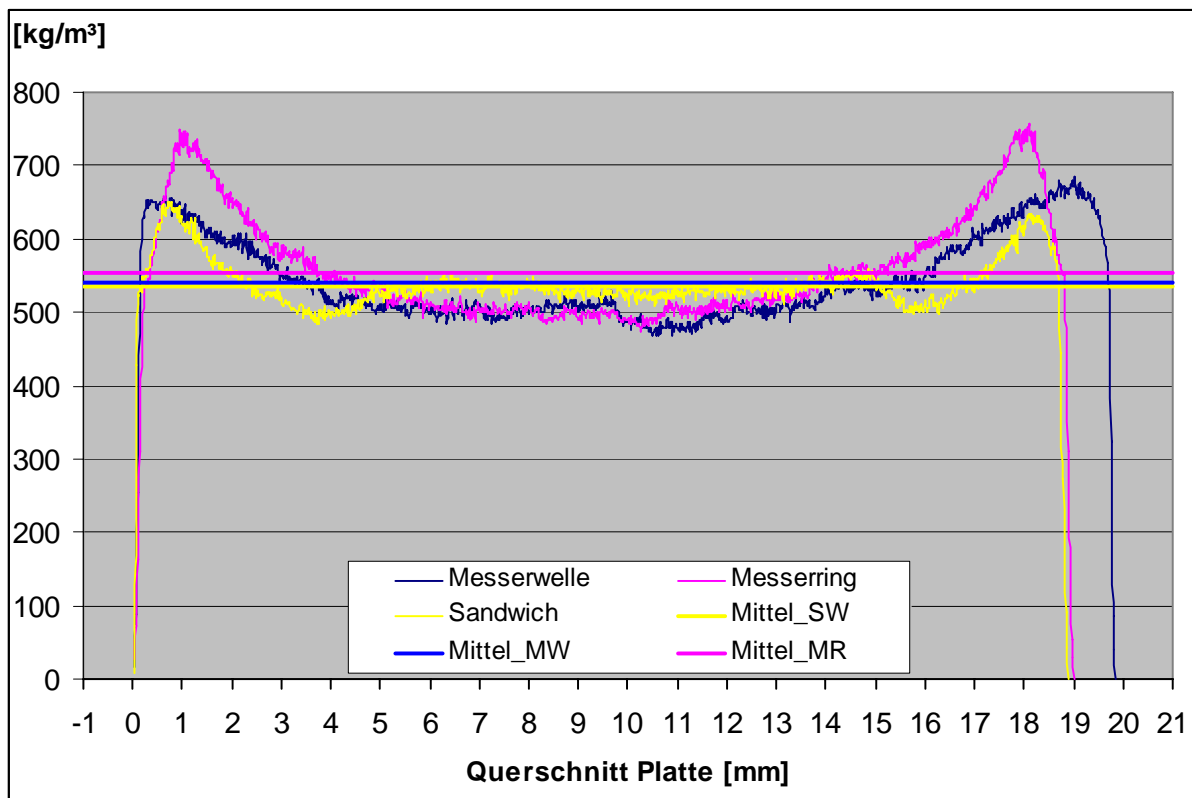


Abbildung 6: Vergleich der Rohdichteprofile der Plattenvarianten mit einer Sollrohddichte von 550 kg/m<sup>3</sup>

Bei der Beurteilung der Querkzugfestigkeiten stehen die Qualität der Mittelschichtspäne sowie die Qualität der Beileimung der Mittelschichtspäne im Zentrum der Betrachtung. Der hohe Schlankheitsgrad der Messerwellenspäne wirkt sich hier nachteilig auf die Querkzugfestigkeit aus. Die Abbildung 8 zeigt, dass unabhängig von der Rohddichte des eingesetzten Materials tendenziell mit zunehmender Spandicke und sinkendem Schlankheitsgrad die Querkzugfestigkeiten steigen.

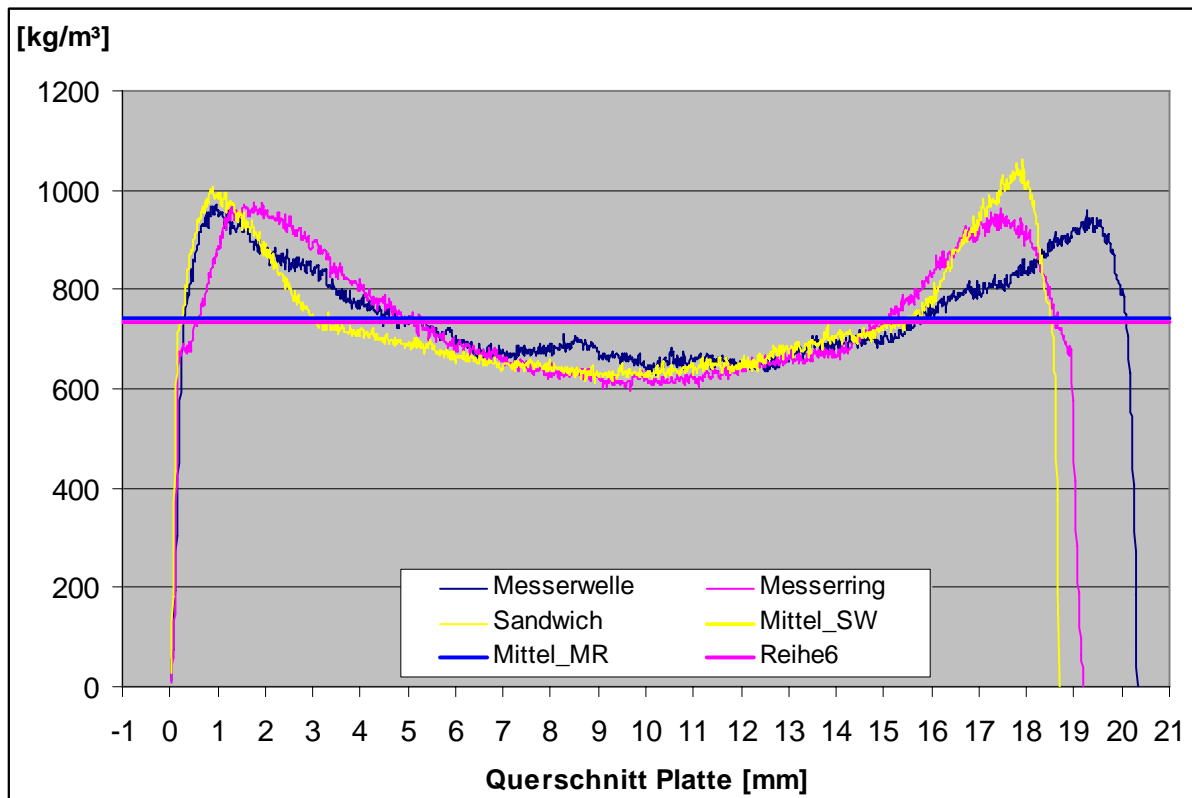


Abbildung 7: Vergleich der Rohdichteprofile der Plattenvarianten mit einer Sollrohddichte von 750 kg/m<sup>3</sup>

Der Einfluss der Rohdichte des Ausgangsmaterials wird deutlich bei dem Vergleich der Serie aus Messerringspänen und der Sandwich-Platten. Interessant sind hier die Ausgangswerte bei niedrigen Rohdichten und die Höhe der Steigung der Festigkeitswerte über der Rohdichte. So zeigen Küstentannenspäne aus Messerringzerspanern hohe Werte 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, Kharazipour, 2008). Das günstige Schüttgewicht der Messerwellenspäne zeigt keinen Vorteil hinsichtlich der Querkzugfestigkeiten. Aufgrund der flächigen Spanstruktur kommt es zu gleichmäßig verteilten Streudichteabfällen in der Mittelschicht, die bei der Streuung des Spankuchens entstehen.

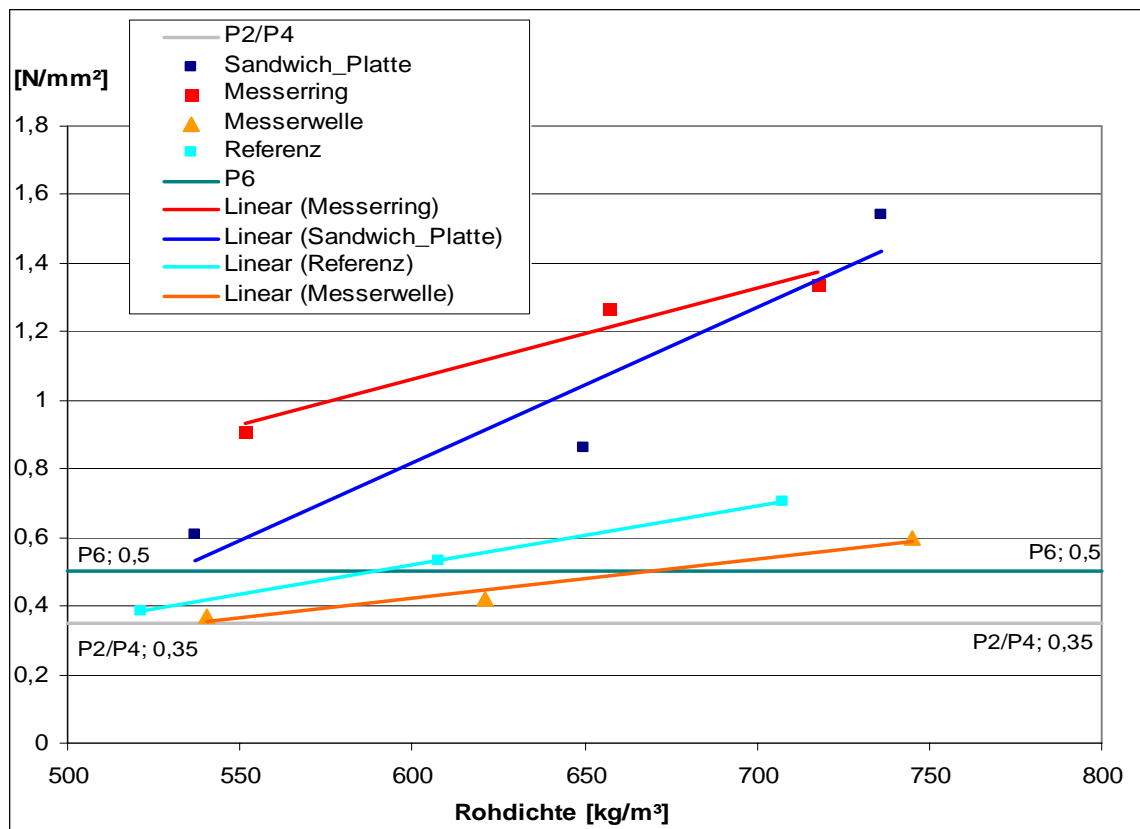


Abbildung 8: Vergleich der Querzugfestigkeiten

Klassischer Weise wird die Abhebefestigkeit ausschließlich zur Gütebestimmung der Deckschicht herangezogen. Die visuelle Begutachtung der ausgerissenen Prüfkörper ergab jedoch einen entscheidenden Einfluss der Mittelschicht an den Prüfergebnissen. Weiterhin wird über den Widerstand der Mittelschicht gegenüber dem Pressdruck das Dichteprofil der Deckschicht mitbestimmt. So erklärt sich auch der wiederum steile Anstieg der Festigkeitswerte der Sandwich-Platten bei steigender Rohdichte, die somit sehr stark von den Mittelschicht-Buchenspänen beeinflusst wird (Abbildungen 6 u. 7). Sowohl die Sandwich-Platten als auch die Versuchsreihe aus Messerringspänen besitzen die gleiche Spanzusammensetzung in der Deckschicht (siehe Siebanalysen). 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, sind nahezu auf gleich niedrigem Niveau, somit können die hohen Werte bei geringen Rohdichten erklärt werden. Der Einfluss des Schüttgewichts verliert sich bei steigender Plattenrohichte, bei einer Dichte von circa 670 kg/m<sup>3</sup> 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 geringere. Auch hierfür sind Streudichteabfälle in der Mittelschicht

mitverantwortlich; vielmehr spielt aber der Übergang von der Deck- zur Mittelschicht eine entscheidende Rolle. So zeigen die Prüfkörper einen direkten Abriss der Deckschicht von der Mittelschicht. Ein Grund dafür kann die große Differenz zwischen den großflächigen Spänen in der Mittelschicht und denen im Vergleich kleinen Partikeln in der Deckschicht sein, da keine ausreichende Späneüberlagerung gewährleistet wird.

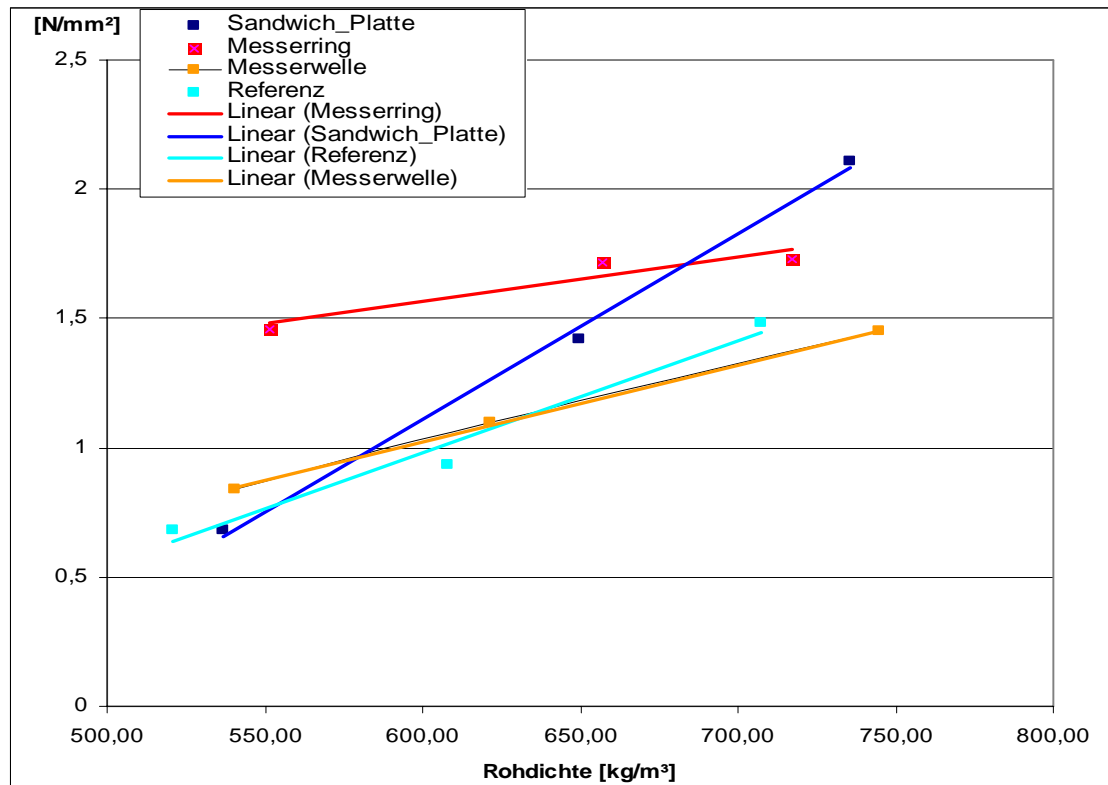


Abbildung 9: Vergleich der Abhebefestigkeiten

Die Dickenquellung nach 24 Stunden Wasserlagerung liegt bei allen Versuchsreihen im Bereich von 10 – 15 %. Diese Werte genügen den Anforderungen nach DIN EN 312-5 (2003) für Platten des Typs P5 und P6. Die Messungen zur Bestimmung des freien Formaldehyds (HCHO) in Holzwerkstoffen ergeben Perforatorwerte von 3 mg bis 7,5 mg HCHO pro 100 g Holzwerkstoff.

Bei der Betrachtung aller Ergebnisse zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen Spänen unterschiedlicher Holzgangmaterialien 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 Holzrohichte mit optimierten, physikalischen Eigenschaften kombiniert werden kann. 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 morphologischen Eigenschaften des Buchenholzes, ist eine Verwendung in der Mittelschicht zu bevorzugen.

### Mitteldichte Faserplatten (MDF)

Eine Charakterisierung der Faserlängenverteilung der eingesetzten Faserstoffe erfolgte mit dem Faserstoffanalysator MORFI LB-01 (TECHPAP, Frankreich). Dabei werden die Fasern in einem schwimmenden Fasernetz analysiert. Die Fasersuspension strömt durch eine Messzelle, wird mit einer Lichtquelle angeleuchtet und von einer optischen CCD Kamera gemessen. Bei dieser Messung werden Faserbündel nicht berücksichtigt, nur einzelne Fasern werden gemessen. Die Ergebnisse dieser Analysen sind in der Abbildung 10 dargestellt.

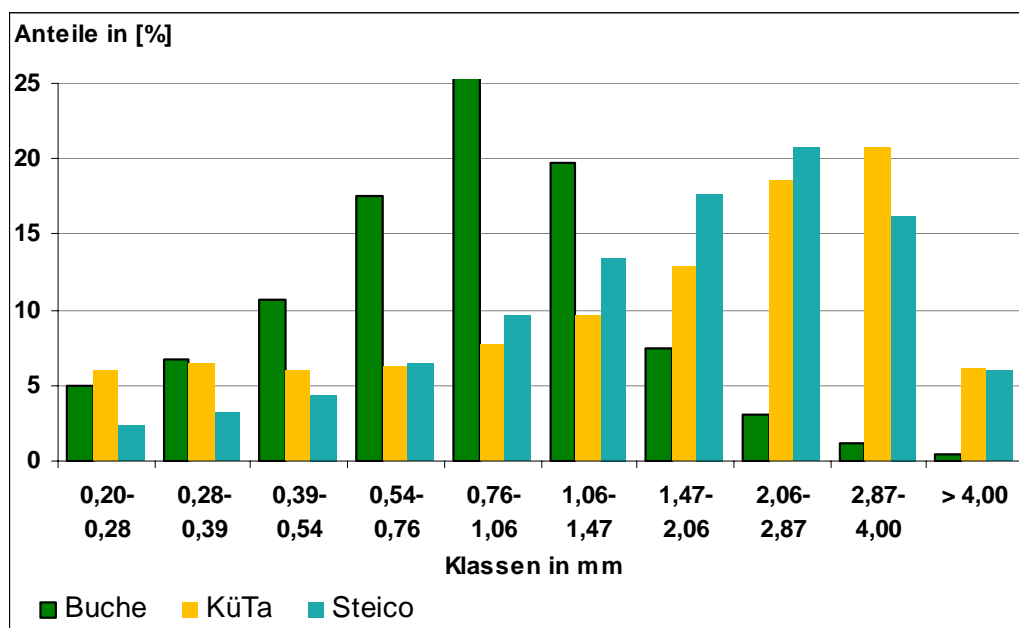


Abbildung 10: Vergleich der Faserlängenverteilungen mittels MORFI- Faseranalysator

Die Buchenfasern haben im Mittel die kürzesten Fasern. Über 60 % der Faseranteile liegen im Bereich von 0,54- 1,47 mm Faserlänge. Der bei Buchenholz charakteristische, hohe Anteil an Parenchymgewebe ist ursächlich für die erheblichen Feianteile. Der Hauptanteil der Küstentannen- und Kiefernfasern ist im Bereich von 1,47- 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.

Die Versuchsplanung zur Herstellung von MDF ist so angeordnet, dass ein breiter Querschnitt der Plattenrohlichten abgebildet werden kann. Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen werden MDF-Plattenserien mit Rohlichten von 500 kg/m<sup>3</sup>, 600 kg/m<sup>3</sup>, 700 kg/m<sup>3</sup> und 800 kg/m<sup>3</sup> und einer Zielstärke von 10 mm hergestellt. Die Plattenmaße liegen bei 600 mm x 450 mm.

Der Beleimungsgrad für alle Serien liegt bei 12 % Festharz auf atro Faser und 1 % Paraffin auf atro Faser. Die gestreuten und vorverdichteten Faserplatten werden bei 200 °C und einem Pressfaktor von 9 s pro mm Plattendicke verpresst. Zu jeder Versuchsreihe wird eine Vergleichsserie aus Kiefernfasern (Fa STEICO, Polen) mit identischen Parametern angefertigt.

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 Rohlichtespektrum 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-/Küstentannenmix.

Im Folgenden werden die physikalisch- technologischen Ergebnisse aller Versuchsreihen aufgeführt. Zur Orientierung werden die Mindestanforderungen für Mitteldichte Faserplatten des Typs MDF.LA und des Typs MDF zur Verwendung im Trockenbereich den Abbildungen beigelegt.

Deutliche Unterschiede zeigen sich bei der Gegenüberstellung der einzelnen Biegefestigkeiten. Die Werte korrelieren mit der ermittelten Faserlängenverteilung als auch mit der Streudichte der Faserausgangsstoffe. 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.

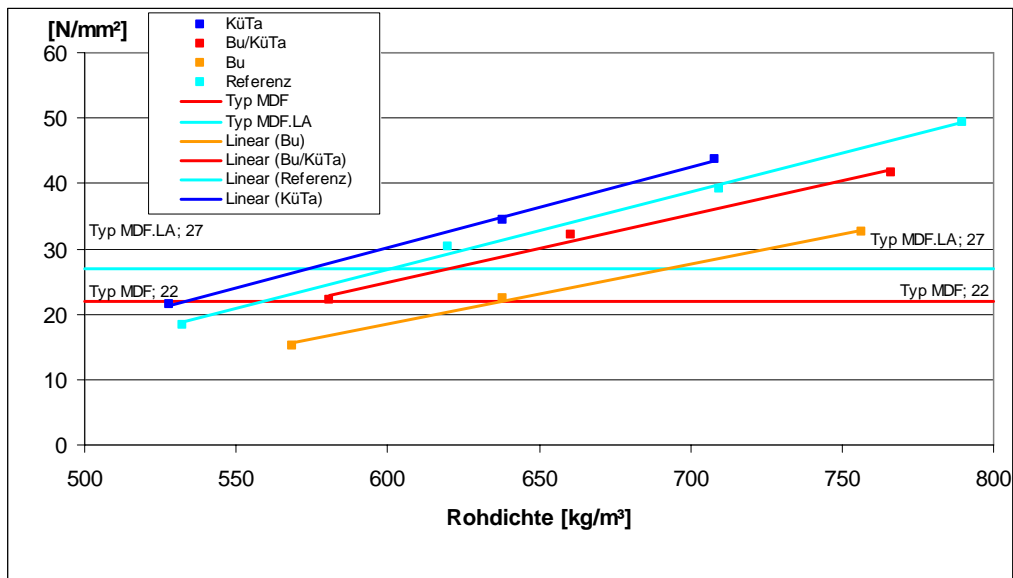


Abbildung 11: Vergleich der Biegefestigkeiten

Ähnlich verhält es sich mit den Ergebnissen der Elastizitäts-Module (Abbildung 12). Auch hier zeigen die Faserplatten aus Küstentannenfasern die höchsten Werte und damit die geringste Durchbiegung bei steigender Biegebelastung in Relation zur Rohdichte.

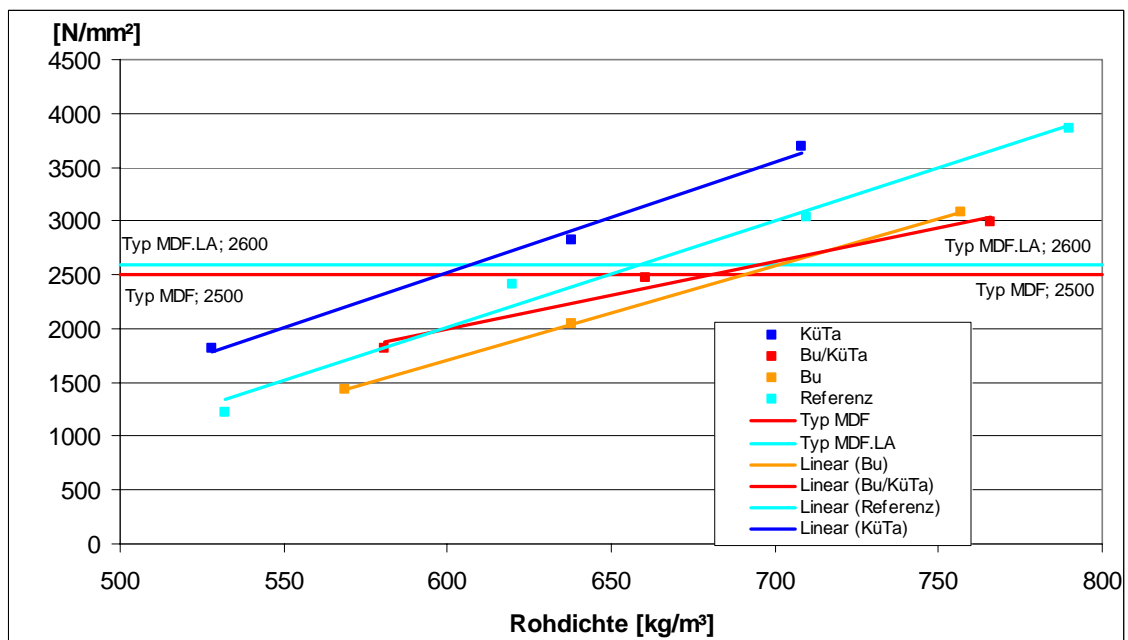


Abbildung 12: Vergleich der Biege- Elastizitäts- Module

Bei dem Vergleich der Abbildungen 11 und 12 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. Bei gegebener Biegefestigkeit haben die Platten aus Buchenfasern das höchste E-Modul, dies aufgrund der höheren Faserverdichtung bei höherer Rohdichte. 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 aus Buchenfaserplatten und Küstentannen-/Buchenfaserplatten.

Die in der Abbildung 13 dargestellten Querzugfestigkeiten zeigen vergleichbare Tendenzen bezüglich der Ergebnisse der oben aufgeführten Spanplatten-Querzugfestigkeiten. Auch hier weisen die Buchenfaserplatten zunächst geringe Festigkeiten im unteren Rohdichtebereich auf, zeigen aber die höchste Steigung relativ zur Rohdichteänderung. Platten aus Küstentannenfasern erfüllen die Norm für Typ MDF bei einer Dichte von ungefähr 560 kg/m<sup>3</sup> und die Norm für Typ MDF.LA bei 600 kg/m<sup>3</sup>. Alle weiteren Versuchsserien erreichen diese Mindestanforderungen erst bei höheren Rohdichten.

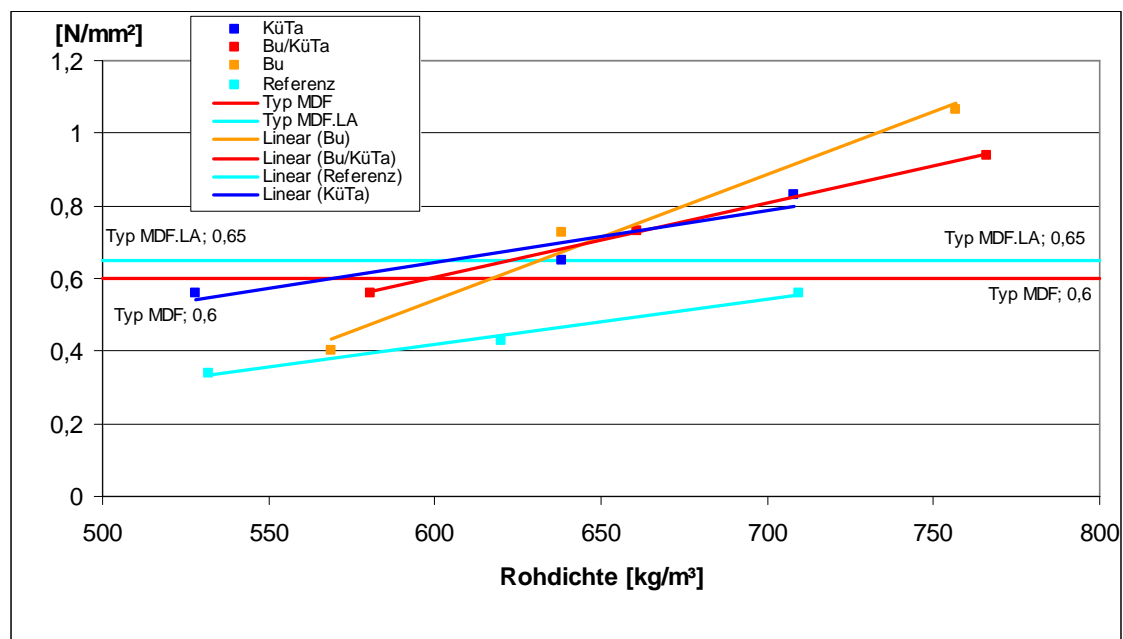


Abbildung 13: Vergleich der Querzugfestigkeiten

Weitere Untersuchungen haben ergeben, dass der Gehalt an freiem Formaldehyd in MDF aus Küstentannenfasern, gemessen nach der Perforator-Methode, keine signifikanten Abweichungen zu anderen Faserstoffen aufzeigt. Auch die Ergebnisse der Quelleigenschaften nach 24 Stunden Wasserlagerung lassen keine Aussagen hinsichtlich eindeutiger Unterschiede

im Vergleich zu den Referenzplatten zu. Bei einer Nichtbeachtung der Standardabweichungen kann eine leichte Tendenz zu gesteigerten Quellungen der Plattenproben festgestellt werden.