

**Entwicklung leichter Holzwerkstoffe unter
Anwendung definierter Spanorientierung und
Partikelmorphologie
- Schlussbericht zum Teilvorhaben 1**

Jan T. Benthien und Martin Ohlmeyer

Thünen Working Paper 94

Jan T. Benthien und Martin Ohlmeyer
Tel.: 040 / 73962-601
Fax: 040 / 73962-699
Thünen-Institut für Holzforschung
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg
E-Mail: martin.ohlmeyer@thuenen.de

Thünen Working Paper 94

Braunschweig/Germany, April 2018

Schlussbericht

zum Verbundvorhaben

Thema:

Entwicklung leichter Holzwerkstoffe unter Anwendung definierter Spanorientierung und Partikelmorphologie

hier: **Teilvorhaben 1**

Zuwendungsempfänger:

**Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und
Fischerei
Institut für Holzforschung**

Förderkennzeichen:

22005613

Laufzeit:

01.10.2014 bis 30.09.2017

Monat der Erfüllung:

04/2018

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Vorwort

Beim vorliegenden Dokument handelt es sich um den Schlussbericht zum Verbundprojekt

„Entwicklung leichter Holzwerkstoffe unter Anwendung definierter Spanorientierung und Partikelmorphologie“

des Kooperationspartners Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg, mit dem Förderkennzeichen 22005613 (Teilvorhaben 1). Der Schlussbericht des Forschungspartners Universität Stuttgart, Institut für Werkzeugmaschinen (IfW), Stuttgart, wurde dem Projektträger bereits im Dezember 2016 vorgelegt und ist dem Förderkennzeichen 22012814 zugeordnet (Teilvorhaben 2). Als Industriepartner waren am Verbundprojekt beteiligt:

- Swiss Krono GmbH (Krono), Heiligengrabe,
- Pallmann Maschinenfabrik GmbH & Co. KG (Pallmann), Zweibrücken, und
- Leuco Ledermann GmbH & Co. KG (Leuco), Horb am Neckar.

Das Verbundprojekt wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) unter den oben genannten Förderkennzeichen sowie dem Kurztitel „LeiHoWe“ gefördert. Mit dem vorliegenden Dokument berichtet der Kooperationspartner Thünen-Institut für Holzforschung über die Forschungsaktivitäten, die unter seiner Federführung im Zeitraum vom 1. Oktober 2014 bis 30. September 2017 durchgeführt wurden.

Danksagung

Für die Mitarbeit und Unterstützung an dieser Stelle ein herzliches Dankeschön

- den Mitarbeitern der Industriepartner für ihre engagierte Mitarbeit im Projekt:
 - Dr. Martin Dressler (Leuco)
 - Prof. Dr. Joachim Hasch (Swiss Krono Group, Luzern, CH)
 - Herrn Maik Hirschberg (Krono)
 - Dr. Helmut Roll (Pallmann)
- den Mitarbeitern des IfW:
 - Herrn Matthias Schneider
 - Dr.-Ing. Thomas Stehle
 - Herrn Dan Talpeanu
- Herrn Bernhard Dold (Dold Holzwerke GmbH, Buchenbach) für die freundliche Bereitstellung des „Leuco-P-Spans“
- den Mitarbeitern der Holzforschung München der TU München für die Herstellung der Mini-Wafer
 - Dr.-Ing. Markus Knorz
 - Herrn Frank Moosmann
 - Prof. Dr. Klaus Richter
- Herrn Michael Farnow (Ilim Nordic Timber GmbH & Co. KG, Wismar) für die Bereitstellung von sägefrischem Kiefernholz
- Herrn Dr. Jörg Hasener (Fagus-Grecon Greten GmbH & Co. KG, Alfeld) für die Bereitstellung eines DAX 6000 zur Bestimmung von Rohdichteprofilen
- den Kollegen am Thünen-Institut für Holzforschung:
 - Frau Sabrina Heldner für Datenauswertungen
 - Frau Dörte Bielenberg, Frau Birgit Butenschön und Frau Martina Müller-Zumbrägel für Arbeiten im Labor
 - Herrn Hannes Wagner für praktische Arbeiten
 - Frau Stefanie Warsow für den Prüfkörperzuschnitt
- Frau Christina Waitkus (Fachinformationszentrum des Thünen-Instituts) für die Anfertigung von Fotografien

Inhaltsverzeichnis

I	Ziele	1
1	Aufgabenstellung	1
1.1	Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und wesentliche Erfahrungen	2
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	3
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	4
2	Stand der Technik	4
2.1	Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.....	4
2.2	Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	8
2.2.1	Verwendete Fachliteratur.....	8
2.2.2	Benutzte Informations- und Dokumentationsdienste	10
3	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	10
II	Ergebnisse.....	11
1	Erzielte Ergebnisse	11
2	Verwertung	25
3	Veröffentlichungen	25

I Ziele

1 Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der Förderung stofflicher Auf- und Verarbeitung nachwachsender Roh- und Reststoffe zu biobasierten Produkten, war die Entwicklung einer dreischichtigen dichterereduzierten Spanplatte, die trotz einer Dichte von unter 500 kg/m^3 die Festigkeitseigenschaften konventioneller Spanplatte erfüllt, Ziel des Projektes. Unter Spanplatte ist hier ein nach EN 309 definierter Plattenwerkstoff zu verstehen, der aus Holzspänen verschiedenen Ursprungs (Rundholz, Sägeabfälle oder Altholz) hergestellt wird und die in EN 312 für den Plattentyp P2 festgelegten Produkteigenschaften erfüllt.

Die jährliche Produktionsleistung an Spanplatten beträgt laut dem Jahresbericht 2016-2017 des Europäischen Holzwerkstoffverbandes (kurz EPF für engl. European Panel Federation) in 2016 allein für Deutschland 5,5 Millionen m^3 . Eine Reduktion des Holzeinsatzes bei ansonsten gleichem Produktionsvolumen und Produkteigenschaften würde eine Steigerung der Materialeffizienz bedeuten und somit helfen, Ressourcen zu schonen. Bei perspektivisch steigender Nachfrage nach Holz - aufgrund der Erschließung neuer und Ausweitung bestehender Anwendungsfelder von Holz als Rohstoff- und Energiequelle sowie der Angleichung des weltweiten Konsumverhaltens auf westliches Niveau - könnte der reduzierte Holzeinsatz zur Spanplattenherstellung einen Beitrag zur langfristigen Sicherung der Rohstoffversorgung leisten. Mit dem Projektziel werden somit die förderpolitischen Ziele des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) verfolgt. Neben der langfristigen Sicherstellung der Rohstoffversorgung und Effizienzsteigerung, kann eine Reduktion der Dichte konventioneller Spanplatten von ca. 650 kg/m^3 auf unter 500 kg/m^3 aus unternehmerischer Perspektive weiter die Absicht verfolgen, Platten mit einem geringen Gewicht für Leichtbauanwendungen anzubieten.

Aufgrund der engen Korrelation zwischen Plattendichte und mechanischen Platteneigenschaften ist eine simple Reduktion des Holzeinsatzes zur Reduktion Plattendichte nicht möglich. Soll eine Dichterereduktion unter Erhalt der Festigkeitseigenschaften konventioneller Platten erreicht werden, so sind Maßnahmen zur Kompensation der Eigenschaftsverschlechterung zu ergreifen. Diese lassen sich nach dem in Abbildung 1 vorgeschlagenen Schema kategorisieren.

In diesem Projekt wurde beabsichtigt, die mit Dichterereduktion gegenüber konventionell hergestellten Spanplatten einhergehenden Festigkeitseinbußen über

1. den Einsatz von Spänen innovativer Geometrie und/oder
2. die Veränderung der Spanorientierung

zu kompensieren. Idee war hierbei, dass über die Geometrie (negative Korrelation zwischen Schüttdichte und Verdichtungswiderstand) bzw. die Orientierung (höhere Druckfestigkeit von Holz in longitudinaler als in tangentialer oder radialer Holzrichtung) der eingesetzten Späne ein Anstieg des Verdichtungswiderstandes der Mittelschicht zu erzielen. Trotz einer geringeren Mittelschichtdichte sollten so Platten vergleichbarer Deckschichtdichten und entsprechend unveränderter Eigenschaften hergestellt werden können. Ergänzend zur Untersuchung des Einflusses der Spangeometrie und der Spanausrichtung auf die Eigenschaften von dichterereduzierten Spanplatten wurden weiter der Einfluss des Klebstoffanteils in Deck- und Mittelschicht sowie die Effekte von flächigen Spänen als Deckschichtmaterial untersucht.

1.1 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und wesentliche Erfahrungen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde festgestellt, dass der Einsatz von Spänen geringer Schüttdichte (Ansatz 1) zur Herstellung dichterereduzierter Spanplatten unveränderter Eigenschaften nur dann zielführend ist, wenn diese sich über die Dichte des Holzes und nicht über die (voluminösen) Spanform begründet. Erklärt werden kann dies damit, dass der Widerstand, den die Spanmatte ihrer Verdichtung entgegen setzt, im Fall der Verdichtung der mikroskopischen Holzsubstanz größer ist, als im Fall der Verdichtung der makroskopischen Porenstruktur der Spanmatte. Mittelschichtspäne, die aufgrund ihrer voluminösen Spanform eine niedrige Schüttdichte aufweisen, können im Zuge des Pressvorgangs somit nur einen Gegendruck aufbauen, der denen konventioneller Späne entspricht. Mit einem erhöhten Verdichtungswiderstand ist hingegen zu rechnen, wenn Späne zu Einsatz kommen, die aufgrund der Dichte des Holzes eine niedrige Schüttdichte aufweisen. Der Einsatz von Spänen innovativer voluminöser Geometrie als Mittelschichtmaterial in Kombination mit einem konventionellen Deckschichtspan wird somit zur Herstellung dichterereduzierter Spanplatten als ungeeignet bewertet.

Über die Maßnahme der vertikalen Orientierung der Mittelschichtspäne (Ansatz 2) konnten für Platten reduzierter Dichte weder die Deckschichtdichte noch die Biegeeigenschaften auf dem Niveau konventioneller Platten gehalten werden. Dass eine Orientierung der Mittelschichtspäne auch nach dem Pressen erhalten geblieben ist, zeigt die erhöhte Querkzugfestigkeit von Platten geringer Dichte (500 kg/m^3) auf das Niveau von Platten konventioneller Dichte. Über die Spanorientierung kann somit nur eine Kompensation der Querkzugfestigkeit, nicht aber eine Kompensation des Verdichtungswiderstandes und damit der Biegeeigenschaften erreicht werden.

Für die Untersuchung des Einflusses der Schüttdichte auf die Platteneigenschaften wurden Späne unterschiedlicher Herstellung (Hersteller sowie Technologie) und Größe eingesetzt. Ein Nebenergebnis dieser Untersuchung ist, dass der Einfluss der Spangeometrie auf die Platteneigenschaften an sorgsam ausgewählten Spanproben zu erfolgen hat. Platteneigenschaftsbestimmende Variablen wie Holzart, Zerspanereinstellung, Trocknungsparameter u.v.m. sind für die zu untersuchenden Späne möglichst konstant zu halten. Zur Untersuchung des Einflusses von beispielweise der

Spangröße ist von der Verwendung von Spänen unterschiedlicher Hersteller abzuraten, auch wenn sich die Späne nachweislich (z.B. per Siebanalyse bestimmt) in ihrer Größe unterscheiden. Gleiches gilt für die Untersuchung des Einflusses der Zerspanungstechnologie, wenn nicht die gesamte Spanaufbereitung (Trocknung, Siebung und Sichtung) unter gleichen Bedingungen durchgeführt wurde. Auf die Auswahl bzw. die Erforderlichkeit der Herstellung eines geeigneten Referenzspans ist somit besonderes Augenmerk zu legen.

Ergänzende Versuchsreihen lieferten als Ergebnis, (a) dass die Dicke des Mittelschichtspans vornehmlich einen Einfluss auf die Querkzugfestigkeit hat und (b) über den Einsatz von sich schuppenartig-überlappenden Mini-Wafer in der Deckschicht trotz einer Reduktion der Plattendichte auf 500 kg/m^3 Biegeeigenschaften von konventionellen Platten zu erreichen sind.

Festzuhalten ist insgesamt, dass über die untersuchten Maßnahmen stets nur eine Auswahl der Platteneigenschaften auf den Niveau konventioneller Platten gehalten werden konnte. Grundsätzlich sollten sich Einzelmaßnahmen jedoch auch kombinieren lassen, um so unterschiedliche Effekte miteinander zu kombinieren. Gefunden wurde weiter, dass eine Kombination von Maßnahmen zu Effekten führen kann, auch wenn die isolierte Betrachtung der Einzelmaßnahme ohne Effekt ist.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Forschungsvorhaben LeiHoWe wurde unter der Trägerschaft der FNR als Verbundprojekt der Forschungspartner Thünen-Institut für Holzforschung und dem IfW sowie unter Beteiligung der Industriepartner Krono, Pallmann und Leuco im Zeitraum vom 01.10.2014 bis zum 31.09.2016 bzw. nach kostenneutraler Verlängerung für das Thünen-Institut für Holzforschung bis zum 30.09.2017 durchgeführt.

Aufgabe des Thünen-Instituts für Holzforschung bestand in der technischen Grundlagenentwicklung zur Herstellung leichter Holzwerkstoffplatten mit modifizierter Spanorientierung und Spangeometrie. Späne modifizierter Spangeometrie hierfür wurden vom Forschungspartner IfW hergestellt. Die Industriepartner waren mit individuellen Paketen unterschiedlicher Leistungshöhe am Projekt beteiligt, die beispielsweise die Bereitstellung von Material, Werkzeugen, Anlagen- und Laboreinrichtungen sowie Beratungsleistungen umfassten.

Ansatz zur Erreichung des Projektziels - die Herstellung einer dreischichtigen Spanplatte mit einer Rohdichte von unter 500 kg/m^3 und mindestens 16 mm Dicke unter Erhalt entsprechender Festigkeitseigenschaften - war es, in der Plattenmittelschicht Späne innovativer Geometrie und/oder veränderter Orientierung einzusetzen. Auf diese Weise sollte ein Anstieg des Verdichtungswiderstandes der Mittelschicht und trotz geringer Mittelschichtdichten hohe Deckschichtdichten erzielt werden. Dieser Lösungsansatz basierte auf dem gemeinhin vermutetem negativen Zusammenhang von Schüttdichte und Verdichtungswiderstand (im Fall der innovativen Spangeometrie) sowie der

höheren Druckfestigkeit von Holz in longitudinaler Richtung als tangentialer oder radialer Holzrichtung (im Fall der Spanorientierung).

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des Vorhabens (Projektantrag) hat folgenden Ablauf vorgesehen:

1. Definition von Anforderungsprofil, Spanformen und Methoden zur Spanausrichtung sowie Schaffung der versuchstechnischen Voraussetzungen zur Herstellung entsprechender Platten
2. Herstellung und Charakterisierung des Spangutes
3. Herstellung und Prüfung der Versuchsspanplatten
4. Übertragung der Erkenntnisse auf den industriellen Herstellungsprozess
5. Verwendungsrelevante Eigenschaftsprüfung der dichterreduzierter Spanplatten
6. Numerische Modellierung des Verhaltens der Späne im Verbund
7. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
8. Dokumentation der Ergebnisse

Da im Rahmen des Projektes kein wirtschaftlich praktikabler Ansatz zur Herstellung dreischichtiger Spanplatte mit einer Rohdichte von unter 500 kg/m^3 unter Erhalt entsprechender Festigkeitseigenschaften gefunden wurde, konnte weder eine ausführliche Übertragung der Versuchsergebnisse auf den industriellen Herstellungsprozess (mit praktischen Versuchen), noch eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand einer aussichtsreichen Verfahrenstechnik vorgenommen werden. Die Möglichkeit der Übertragbarkeit in die industrielle Praxis und Wirtschaftlichkeit der untersuchten Ansätze zur Erreichung des Projektziels wurden jedoch stets im Rahmen der regelmäßig durchgeführten Projekttreffen intensiv diskutiert.

2 Stand der Technik

2.1 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Die im Projekttitle angekündigte „Entwicklung leichter Holzwerkstoffe“ ist auf die Entwicklung von Spanplatte im Sinne der EN 309 - genauer Spanplatte vom Typ P2 nach EN 312 - fokussiert, für die unter Erhalt entsprechender Festigkeitseigenschaften eine Reduktion der Dichte erreicht werden sollte. Als „Leichte Spanplatten“ definiert die DIN CEN/TS 16368 Spanplatten mit einer Dichte unter 600 kg/m^3 . Grundsätzlich hat sich für Holzwerkstoffe aber eine Dichte von 500 kg/m^3 als Wert etabliert, ab dem Platten als „leicht“ bezeichnet werden.

Dem Bestreben, Spanplatten mit - gegenüber dem konventionell hergestellten Produkt - verringerter Dichte herzustellen, liegen zwei Absichten zugrunde:

- Spanplatten mit einem geringen Gewicht für Leichtbauanwendungen anbieten zu können
- Realisierung von Kosteneinsparungen durch eine Reduktion des Holzeinsatzes (Steigerung der Materialeffizienz)

Während beim Streben nach einer Steigerung der Materialeffizienz die vorzunehmenden Veränderungen am bestehenden Produktionsprozess durch Kosteneinsparungen zumindest getragen werden müssen, so könnte im Fall der Absicht eines Unternehmens, eine Leichtbauplatte anbieten zu können, auch ein finanzieller Mehraufwand zu rechtfertigen sein.

Aufgrund der engen Korrelation zwischen Plattendichte und mechanischen Platteneigenschaften ist eine simple Reduktion des Holzeinsatzes zur Reduktion des Holzeinsatzes nicht möglich. Soll eine Dichtereduktion unter Erhalt entsprechender Festigkeitseigenschaften erreicht werden, so sind Maßnahmen zur Kompensation der Eigenschaftsverschlechterung zu ergreifen. Diese lassen sich beispielsweise nach dem in Abbildung 1 dargestellten Schema kategorisieren, das im Rahmen dieses Projektes entwickelt und bereits für Lehrveranstaltungen (Lüdtke 2017) herangezogen wurde. Die Maßnahmen müssen hierbei nicht zwangsläufig zu dichterereduzierten Platten führen, die alle Eigenschaften der Ausgangsplatte (z.B. Spanplatte vom Typ P2 nach EN 312) erfüllen (Stichwort: funktionsangepasste Spanplatte).

Ausgehend von konventionell hergestellten Spanplatten lassen sich Maßnahmen zur Kompensation der Eigenschaftsverschlechterung bei Dichtereduktion nach dem in Abbildung 1 dargestellten Schema kategorisieren. Hiernach ist zunächst zu unterscheiden, ob eine Anpassung am Material oder an der Struktur der Spanplatte vorgenommen wurde. Im Fall einer Materialanpassung kann weiter zwischen einer Anpassung der Spangeometrie und einer Anpassung des Materials unterschieden werden, das für die Spanherstellung verwendet wurde. Im Fall der Strukturanpassung ist zwischen einer Anpassung der Dichteverteilung (Rohdichteprofil, horizontales Dichteprofil, periodische Veränderung des Rohdichteprofiles) und einer Anpassung der Spanorientierung zu unterscheiden.

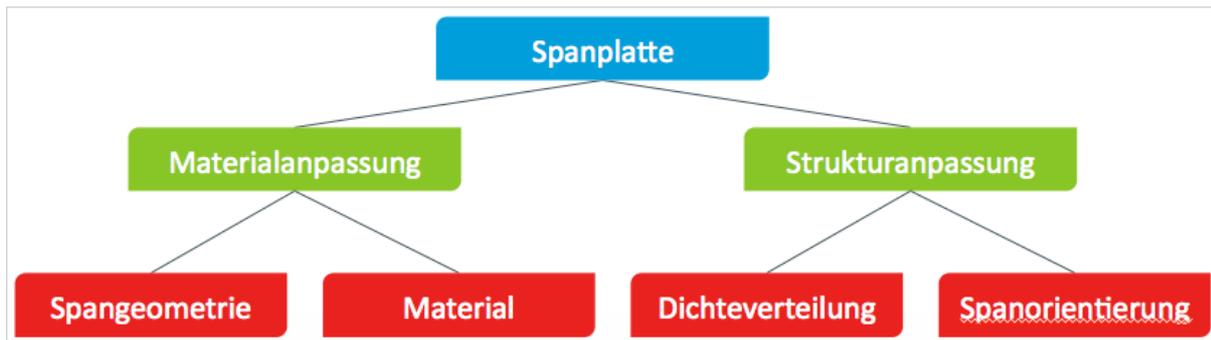


Abbildung 1: Schema zur Systematisierung von Maßnahmen zum Entgegenwirken der Verschlechterung von Platteneigenschaften bei Dichtereduktion mit dem Ergebnis einer Spanplatte im Sinne der EN 312 oder einer „Funktionsangepasster Platte“.

Die industrielle Herstellung von Leichtspanplatten erfolgt derzeit sowohl nach dem Prinzip der Materialanpassung als auch nach dem Prinzip der Strukturanpassung. Im Fall der Materialanpassung wird sowohl über die Substitution des Spanmaterials als auch über die Veränderung der Partikelgeometrie eine Kompensation der Eigenschaften versucht zu erreichen. Beispiele für die Substitution von Spänen sind der Einsatz leichter Füllstoffe (Kaurit Light Technology, BASF) oder der Einsatz von Partikel aus Einjahrespflanzen (Ecoboard, Wanhua, China). Ein Beispiel für eine veränderte Partikelgeometrie zur Eigenschaftskompensation ist der Ersatz von konventionellen Spänen durch großflächige dünne OSB-ähnliche Strands im Fall der Leichtspanplatte CoLight¹ (Ikea). Dem Prinzip der Strukturanpassung zur Eigenschaftskompensation ist die Veränderung der Dichteverteilung in Plattenebene beim BoBoard/Dual-Density-Board² (Ikea) zuzuordnen. Eine Technologie zur periodische Veränderung des Rohdichteprofiles in Plattenebene (Dascanova Technologie) wird vom österreichischen Unternehmen Dascanova angeboten. Eine Einordnung der Produkte Woodmax X (Rauch), Elka-Spanplatten Leicht (Elka-Holzwerkstoffe) und SuperPan Star (Finsa, Spanien) in die hier verwendete Systematisierung kann aufgrund fehlender Detailinformationen nicht vorgenommen werden.

In der Literatur werden zahlreiche Arbeiten zur Substitution konventioneller Hölzer durch Holzarten geringer Dichte (Kiri/Paulownia³, Küstentanne⁴, Weide⁵, ...) für die Spanerzeugung sowie Beispiele zur Substitution konventioneller Partikel durch Partikel aus Einjahrespflanzen (Stroh, Kenaf,

¹ Grunwald, 2012

² Grunwald, 2012

³ Clad und Pommer, 1980; Nelis et al., 2017

⁴ Vos, 2009

⁵ Frackowiak et al., 2008

Hanf, Mais (Stängel), Topinambur, Miscanthus, ...) ⁶ vorgestellt. Ebenfalls dem Prinzip der Materialanpassung zuzuordnen sind die Ansätze, bei denen ein Schaumklebstoff zum Verbinden der Partikel und Ausfüllen des Porenraums der porösen Kernschicht ⁷ oder ein unter Temperatureinwirkung expandierender Stoffe als Mittelschichtmaterial (Leichtbauholzwerkstoffplatte, Lüdtke et al. 2006) eingesetzt wird. Dem Prinzip der Veränderung der Spangeometrie folgt die Leichtspanplatte Ro-Light ⁸⁹ der Fachhochschule Rosenheim, wobei hier in einem zweiten Prozessschritt (daher keine Spanplatte im engeren Sinne) zusätzlich faserbasierte Deckschichten aufgebracht werden und daher eine Einordnung in die hier angewendete Systematisierung schwierig ist. Träger und Groß (2010) geben Hinweise zur Herstellung leichter Spanplatten aus federelastischen Spänen. Arbeiten bis zum Jahr 2000 zum Einfluss der Spangeometrie wurden von Dunky und Niemz (2002) zusammengestellt. Hier ist jedoch anzumerken, dass in den zitierten Arbeiten nur einschichtige Spanplatten sowie OSB aufgeführt wurden. Offenbar waren Arbeiten an dreischichtigen (praxisnahen) Platten nicht zu berücksichtigen. Nicht eingegangen wird hier darauf, wie die jeweilige Variation der betrachteten Spanabmessung bzw. -form erreicht wurde (Variation von Zerspanungsparametern oder Anwendung von Siebfraktionen).

Klimek und Wimmer (2014) schlagen eine Methode der Strukturanpassung durch Einprägen eines wellenförmigen Dichtemusters zur Manipulation der Platteneigenschaften vor. Parameter zur Einstellung bzw. Maximierung der Ausprägung des Rohdichteprofiles (Strukturanpassung - Veränderung der Dichteverteilung) wurden von Hänsel et al. (1988) und Mihailova und Tritchkov (2009) vorgestellt. Mit dem Ziel der Eigenschaftsanpassung von Spanplatten an die für Konkurrenzprodukte im Bauwesen gestellten Anforderungen untersuchte May (1974) die Effekte einer Spanmattenformung senkrecht zur Pressrichtung (Strukturanpassung - Veränderung der Spanorientierung) auf die Eigenschaften einschichtiger Spanplatten, um durch die zu beabsichtigten Eigenschaftsverbesserungen eine Ausweitung der Anwendungsgebiete für Spanplatte zu erreichen.

Mit ähnlichem Ziel untersuchten Walter et al. (1979) den Einfluss orientiert in Produktionsrichtung gestreuter Späne auf die Festigkeitseigenschaften von Spanplatten - mit insbesondere langen Spänen in den Außenlagen - und fanden deutliche Festigkeitsgewinne. May (1974) bewertete aufgrund der gewählten Zielsetzung, dem technischen Aufwand und der (Biege-) Steifig- und Festigkeit erhöhenden Wirkung vornehmlich eine Orientierung der Späne in den Außenzonen als positiv. Durch die Mattenformung senkrecht zur Pressrichtung erreichte Spanorientierung in der Mittelschicht (Anstieg der Querkzugfestigkeit) wird im Fall der nachträglichen Beplankung von Spanplatten ein Potential eingeräumt, da so erhöhte Schubkräfte aufgenommen werden könnten.

⁶ Dix et al., 2008; Stosch, 2009

⁷ Anonymous, o. J.

⁸ Michanickl und Leps, 2006

⁹ Michanickl, 2007

Als eine wichtige Eigenschaft des Spangutes zur Herstellung von Leichtspanplatten ist der Verdichtungswiderstand anzunehmen. Der Verdichtungswiderstand wird als der Druck verstanden, den eine Spanmatte ihrer Verdichtung entgegen setzt. Im Fall mehrlagiger Matten aus Spänen unterschiedlicher Eigenschaften können unterschiedliche Verdichtungswiderstände über den Mattenquerschnitt vorliegen. Unter anderen lässt sich hieraus die Ausbildung eines Dichteprofiles über den Plattenquerschnitt erklären, wenn auch vornehmlich die sich während des Heißpressprozess verändernde Spanfeuchte und Temperatur über den Mattenquerschnitt (feuchte- und temperaturinduzierte Plastifizierung) und die damit verbundene Veränderung des Verdichtungswiderstandes ursächlich ist. Mit dem Bestreben über ein besonders ausgeprägtes Rohdichteprofil (hochverdichtete, lasttragende Deckschichten und Mittelschicht geringer Dichte) eine Kompensation der Platteneigenschaften bei Dichtereduktion zu realisieren, erscheint die Verwendung eines Spanmaterials mit geringem Verdichtungswiderstand in den Deckschicht und eines Spanmaterials mit hohem Verdichtungswiderstand in der Mittelschicht als zielführend. Insbesondere die Hinweise von Tröger und Groß (2010) zur Herstellung leichter Spanplatten aus federelastischen Spänen in Kombination mit dem von Grigoriou (1981) gefundenem nur geringem Zusammenhang von Holzdichte und Spankompressibilität (Verformbarkeit des Spangutes bei gegebenem Druck), wohl aber deutlichem Zusammenhang von Schüttdichte und Kompressibilität, wurde der Einsatz voluminöser Späne als Mittelschichtmaterial als besonders aussichtsreich angenommen. Ergänzend zum Einsatz von voluminösen Spänen wurde im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes versucht, den Verdichtungswiderstand der Mittelschicht durch eine möglichst vertikale Spanorientierung (höhere Druckfestigkeit von Holz in longitudinaler Richtung als tangentialer oder radialer Holzrichtung) zu erreichen.

Der aufgrund von Ergebnissen von Tröger und Groß (2010) sowie Grigoriou (1981) zu folgender negativer Zusammenhang von Schüttdichte und Verdichtungswiderstand steht im Einklang mit dem beispielweise von Dunky und Niemz (2002) formulierten positiven Zusammenhang von Verdichtungsverhältnis und mechanischen Platteneigenschaften.

2.2 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

2.2.1 Verwendete Fachliteratur

- ANONYMOUS (o. J.) Entwicklung einer extraleichten Spanplatte für den Möbelbau auf Basis von Schaumklebstoffen. <http://www.nachhaltige-innovationen.de/de/602.php> (Abrufdatum: 30.11.2017)
- MICHANICKL A, LEPS T (2006) Die Zukunft der Holzwerkstoffe. <http://www.bm-online.de/allgemein/die-zukunft-der-holzwerkstoffe/#slider-intro-6> (Abrufdatum: 30.11.2017)
- CLAD W, POMMER EH (1980) Spanplatte aus Kiri (...). Holz als Roh- und Werkstoff 38:385-391

- DIX B, MEINLSCHMIDT P, THOLE V (2008) Lightweight particleboards made from annual and perennial plants. International panel products symposium 2007, Cardiff, Wales, UK
- DUNKY M, NIEMZ P (2002) Holzwerkstoffe und Leime - Technologie und Einflussfaktoren. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- FRACKOWIAK I, IDZIAK A, BENDOWSKA R, FUCZEK D (2008) The characteristic of lightweight panels made from fast growing willow tree *Salix viminalis*. Cost Action 49, 23.-25. Juni 2008, Bled, Slowenien
- GRIGORIOU A (1981) Die Eigenschaften von Feinspänen aus sieben verschiedenen Holzarten. Holzforschung und Holzverwertung 33(1):1-5
- GRUNWALD D (2012) Aktuelle Trends im Holzwerkstoffbereich - Was muss ein Klebstoff heute und in Zukunft können?. Bayern Innovativ, Kooperationsforum - Kleben von Holz und Holzwerkstoffen, 19.-20. Juni 2012, Würzburg
- HÄNSEL A, NIEMZ P, BRADE F (1988) Untersuchungen zur Bildung eines Modells für das Rohdichteprofil im Querschnitt dreischichtiger Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 46:125-132
- KLIMEK P, WIMMER R (2014) New pattern imprintment in particleboard and finite-element analysis of its alternatives. 3rd Int. Conf. on Proc. Techn. for the Forest and Bio-based Prod. Ind., Kuchel/Salzburg, Österreich, 24.-26. September 2014
- LÜDTKE J (2017) Vorlesungsskript Mechanische Holztechnologie, Universität Hamburg, WS 2016/17
- LÜDTKE J, WELLING J, THOEMEN H, BARBU MC (2006) Leichtbauholzwerkstoffplatte und Verfahren zu deren Herstellung. EP 2117792 B1
- MAY HA (1974) Herstellung von Spanplatten mit orientierten Spänen und unterschiedlicher Formgebung. Holz als Roh- und Werkstoff 32:169-176
- MICHANICKL A (2007) Leichte Holzwerkstoffe für den Möbel- und Innenausbau - Zwischen Nische und Massenproduktion. Innovationsworkshop Holzwerkstoffe, Interzum 08. Mai 2007, Köln
- MIHAILOVA J, TRITCHKOV N (2009) Theoretical model for determination of the maximum difference in particleboards vertical density. Cost Action 49, 28.-29. April, Istanbul, Türkei
- NELIS PA, MICHAELIS F, KRAUSE KC, MAY C (2017) Kiri ood (*Paulownia tomentosa*): can it improve the performance of particleboards?. Eur J Wood Wood Prod. DOI: 10.1007/s00107-017-1222-7
- PLATH E, SCHNITZLER E (1974) Das Rohdichteprofil als Beurteilungsmerkmal von Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 32:443-449
- STOSCH M (2009) Weder schwer wiegend, noch leicht fertig!. BM Spezial „Leichtbau“, Konradin Verlag, Leinfelden-Echterdingen
- TRÖGER J, GROß L (2010) Herstellung eines federelastischen Spangutes geringer Dichte als Matrix für Schüttdämmstoffe, für plattenförmige Dämmstoffe und leichte Spanplatten. In: Intelligent produzieren / Braun S, Maier W, Zirkelbach S (Hrsg.). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2010, S. 299-318. DOI 10.1007/978-3-642-13101-1
- VOS H (2009) Entwicklung von leichten Holzwerkstoffen aus *Abies grandis* (Küstentanne) und *Fagus sylvatica* (Buche). Dissertation, Universität Göttingen
- WALTER K, KIESER J, WITKE T (1979) Einfluß der Spanform auf einige Festigkeitseigenschaften orientiert gestreuter Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 35:183-188

2.2.2 Benutzte Informations- und Dokumentationsdienste

- Zentrum für Informationsmanagement, Bereich Fachinformation, Thünen-Institut, Braunschweig
- Wissenschaftliche Spezialbibliothek des Thünen-Instituts, Braunschweig

3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Neben den Verbundpartnern arbeitete das Thünen-Institut für Holzforschung im Rahmen des Forschungsprojektes LeiHoWe zusammen mit:

- Dold Holzwerke GmbH (Buchenbach), Bereitstellung des „Leuco-P-Spans“
- Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI (Braunschweig), Trocknung von Versuchsspänen
- Ilim Nordic Timber GmbH & Co. KG (Wismar), Bereitstellung sägefrischen Kiefernholzes
- Holzforschung München, Technische Universität München (München), Herstellung von Versuchsspänen

II Ergebnisse

1 Erzielte Ergebnisse

Versuchsreihe 1: Einfluss von Deck- zu Mittelschichtverhältnis sowie Klebstoffanteil in der Mittelschicht auf die Eigenschaften von dichter reduzierten Spanplatten

Im Rahmen von Vorversuchen wurde der Einfluss der sich bei Reduktion der Plattendichte potenziell ergebenden Veränderungen des Deck- zu Mittelschichtverhältnisses (35:65 ... 57:43) sowie des Klebstoffgehalts der Mittelschichtspäne (8 % ... 22,3 %) auf die Platteneigenschaften untersucht. Hierfür wurden Spanplatten mit Dichten von 650 (Referenz), 575, 500, 450 und 400 kg/m³ nach 4 verschiedene Spanrezepturen (Methode 1 bis 4) hergestellt und deren Eigenschaften bestimmt.

Im Fall von Methode 1 wurde die Plattendichte über die Verringerung der eingesetzten Deck- und Mittelschichtmaterials reduziert. Das Verhältnis von Deck- zu Mittelschichtmaterial wurde hierbei konstant auf 35:65 gehalten. Der Klebharzanteil in der Mittelschicht (bezogen auf atro Holz) betrug 8 %. Im Fall von Methode 2 wurde die Dichte durch die alleinige Verringerung des eingesetzten Mittelschichtmaterial erreicht, was ein verändertes Verhältnis von Deck- zu Mittelschichtmaterial zur Folge hat. In Bezug auf die Plattenzieldichte ergeben sich so Verhältnisse von Deck- zu Mittelschichtmaterial von 40:60 (575 kg/m³), 46:54 (500 kg/m³), 51:49 (450 kg/m³) und 57:43 (400 kg/m³). Der Klebharzanteil der Mittelschicht (bezogen auf atro Holz) betrug 8 %. Bei Methode 3 und 4 wurde ebenfalls allein das eingesetzte Mittelschichtmaterial reduziert, wobei hier der Klebharzanteil in der Mittelschicht erhöht wurde. Im Fall von Methode 4 wurde die absolute Klebharzmasse auf dem Niveau der Referenzplatten mit einer Dichte von 650 kg/m³ gehalten. Bezogen auf atro Holz bedeutet dies eine Erhöhung des Klebharzanteils in der Mittelschicht auf 9,9 % (575 kg/m³), 13% (500 kg/m³), 16,4 % (450 kg/m³) bzw. 22,3 % (400 kg/m³). Bei Methode 3 wurde der Klebharzanteil für die Plattendichte 400 kg/m³ auf 14% gesetzt. Die Klebharzanteile für die Dichtestufen zwischen 650 kg/m³ (8 %) und 400 kg/m³ (14 %) und wurden linear interpoliert. Dieses Vorgehen führt zu Klebharzanteilen von 9,8 % (575 kg/m³), 11,6 % (500 kg/m³) und 12,8 % (450 kg/m³) im Fall von Methode 3.

Es wurde festgestellt, dass die Spanrezeptur in erster Linie die Querkzugfestigkeit und die physikalischen Eigenschaften beeinflusst. Ein Einfluss auf die Biegeeigenschaften wurde nicht gefunden. Während ein erhöhter Klebharzanteil in der Mittelschichtschicht (Methode 3 und 4) zu einer verbesserten Querkzugfestigkeit führt, verursacht die gleichmäßige Reduktion von Deck- zu Mittelschichtverhältnis (Methode 1) eine Verschlechterung der physikalischen Eigenschaften. Vor diesem Hintergrund wurde Methode 2 (Reduzierung des Mittelschichtmaterials bei gleichbleibender Deckschichtmasse und nicht angepassten Klebharzanteil in der Mittelschicht) als Spanrezeptur

ausgewählt, die für nachfolgende Versuche zum Einfluss von Spangeometrie und Spanausrichtung in der Mittelschicht angewendet werden soll.

Die Ergebnisse von Versuchsreihe 1 bestätigen den wohlbekannten (positiven) Zusammenhang von Platteneigenschaften und Plattendichte: Mit höherer Dichte werden bessere Platteneigenschaften erzielt. Soll also bei entsprechenden Platteneigenschaften eine Reduktion der Plattendichte erreicht werden, so sind Maßnahmen durchzuführen, die die sinkenden Platteneigenschaften kompensieren. Ansatz im Projekt ist es, den Verdichtungswiderstand der Mittelschicht zu erhöhen, um so eine hohe Verdichtung der Deckschichten zu erreichen. Eine Verringerung der Masse der Deckschichtspäne soll hierbei vermieden werden, da die Deckschichten für die Biegeeigenschaften verantwortlich sind. Dieser Umstand spricht weiter für die Wahl von Methode 2 zur Ausgestaltung der Spanrezeptur.

Eine umfangreiche Darstellung der durchgeführten Versuche sowie der erzielten Ergebnisse ist in Benthien und Ohlmeyer (2017) zu finden.

Versuchsreihe 2: Zusammenhang von Spanqualität und Platteneigenschaften - Eine Untersuchung von Spänen verschiedener Hersteller

Den Eigenschaften von Spänen wird gemeinhin ein großer Einfluss auf die Eigenschaften der aus ihnen hergestellten Spanplatten zugeschrieben. Im Rahmen von Versuchsreihe 2 wurden Deck- und Mittelschichtspäne verschiedener Spanplattenhersteller (A, B, C) sowie ein mittelschichtähnlicher Span, der als Nebenprodukt einer Zerspanerlinie des Herstellers D anfällt, charakterisiert (Siebanalyse, Schüttdichte, pH-Wert und Pufferkapazität), Versuchsspanplatten in verschiedenen Kombinationen der vorliegenden Deck- und Mittelschichtspäne hergestellt und deren Eigenschaften geprüft. Mit diesem Ansatz sollten Zusammenhänge zwischen Spanqualität und Platteneigenschaften herausgearbeitet werden.

Es wurde gefunden, dass sich die Späne der verschiedenen Hersteller insbesondere in ihrer Partikelgrößenverteilung sowie Schüttdichte voneinander unterscheiden. Gleichwohl unterschieden sich die Eigenschaften der aus diesen Spänen hergestellten Spanplatten häufig signifikant voneinander. Da die Herstellung der Spanplatten unter gleichen Rahmenbedingungen durchgeführt wurde (Leim, Pressprogramm), konnte anhand der Ergebnisse der Einfluss der Partikelqualität auf die Platteneigenschaften untersucht werden.

Aus den gewonnenen Daten konnte geschlussfolgert werden, dass ein Zusammenhang zwischen der Partikelgrößenverteilung des Deckschichtspans und den Biegeeigenschaften besteht. Mit dem Vorhandensein gröberer Partikel in der Deckschicht wurden höhere Biegeeigenschaften gemessen. Es ist folglich nicht die Ausgeprägtheit des Rohdichteprofiles (Dichtedifferenz zwischen Deck- und Mittelschicht) allein für die erzielbaren Biegeeigenschaften verantwortlich, sondern maßgeblich auch die Partikelgröße. Größere Späne scheinen besser in der Lage zu sein, resultierende Druck- und Zugspannungen in der Deckschicht aufzunehmen. Die Querkzugfestigkeit wurde weniger von

der Partikelgröße in der Mittelschicht, als vielmehr von der Dichte des zur Spanherstellung verwendeten Holzes beeinflusst. Die Messergebnisse zeigen jedoch auch, dass nicht allein die Schüttdichte und somit das Verdichtungsverhältnis zu einer Steigerung der Verleimungsgüte der Mittelschichtpartikel von Bedeutung sind. Die Dickenquellung scheint weniger mit der Partikelgröße, als vielmehr mit dem zur Spanherstellung eingesetzten Altholzanteils in Verbindung zu stehen.

Anhand der Durchführung von Versuchsreihe 2 wurde deutlich, dass zur Untersuchung des Einflusses der Spanqualität auf die Platteneigenschaften nicht die Verwendung von Spänen verschiedener Hersteller sondern vielmehr der Einsatz von Spänen definierter Abmessungen sinnvoll wäre. Späne definierter Abmessungen (z.B. Variation der Länge) müssten jedoch gezielt hergestellt werden, da bei der Fraktionierung eines Ausgangsspanmaterials mit Sieben verschiedene Kriterien für die Auftrennung in Fraktionen zum Tragen kommt - beispielsweise nicht allein die Spanlänge. Die Findung eines geeigneten Kennwertes zur Korrelationsanalyse von Spanqualität und Platteneigenschaften erwies sich als schwierig und erfordert eine eingehendere Beschäftigung, als sie bis zu diesem Zeitpunkt der Durchführung der Versuchsreihe möglich war.

Eine umfangreiche Darstellung der durchgeführten Versuche sowie der erzielten Ergebnisse ist in Benthien und Ohlmeyer (2016) zu finden.

Versuchsreihe 3: Substitution konventioneller Mittelschichtspäne durch den Leuco-p-Span

Erste Versuche mit einem Span andersartiger Zerspanung (Nebenprodukt einer Zerspanerlinie, Leuco-P-Span) in der Mittelschicht wurden unter Variation des Substitutionsanteils (0, 33, 66 und 100 %), der Spanrezeptur (Methode 1, 2 und 3, siehe Versuchsreihe 1) und der Plattendichte (650, 575, 500 und 400 kg/m³) durchgeführt. Absicht beim Einsatz des Leuco-p-Spans war es, ein Spanmaterial für die Plattenmittelschicht zu verwenden, das sich durch eine enge Spanlängenverteilung (vornehmlich 20 mm), eine „streichholzartige“ Form und weitestgehend intakte Holzfasern auszeichnet, die parallel zur Längsachse des Spans verlaufen. Aufgrund des Standortes der Zerspanerlinie wurde der Leuco-p-Span aus Schwarzwälder Fichten- und Tannenholz hergestellt. Die Schüttdichte des Leuco-p-Spans betrug 128 kg/m³, die des Referenzspanmaterials (konventionell hergestelltes Spanplatten-Mittelschichtspanmaterial des Industriepartners Krono) 158 kg/m³.

In einem vollfaktoriellen Ansatz wurde zunächst bei einer Dichte von 650 kg/m³ (Klebstoffanteil in der Mittelschicht 8 %, Deck- zu Mittelschichtverhältnisses 35:65) der Substitutionsanteil von 0 über 33 und 66 auf 100 % variiert. Mit steigendem Substitutionsgrad wurde ein Anstieg der mechanischen Platteneigenschaften gefunden. Für den Vergleich von Platten mit vollsubstituiertem Mittelschichtspan mit Referenzplatten wurde ein statistisch signifikanter Anstieg ($\alpha = 0,05$) der Biegefestigkeit um 14 %, des Biege-Elastizitätsmoduls um 11 % und der Querkzugfestigkeit um 35 % festgestellt. In den Rohdichteprofilen wurden für Platten mit Leuco-p-Span in der Mittelschicht erhöhte Deckschichtdichten gefunden.

Die ermittelten Eigenschaften des Referenz- und Leuco-p-Spanmaterials sowie die aus diesen Spanmaterialien hergestellten Spanplatten werden in Benthien und Ohlmeyer (2016) tabellarisch aufgelistet.

In einem teilfaktoriellen Ansatz (Anwendung statistischer Versuchsplanung/ Design of Experiments, DoE) wurden der Substitutionsanteil (0, 33, 66 und 100 %), die Spanrezeptur (Methode 1, 2 und 3) und die Plattendichte (575, 500 und 400 kg/m³) variiert. Für die Variation der Spanrezeptur und der Plattendichte wurden im Wesentlichen keine anderen Zusammenhänge abgeleitet werden, als die, die bereits aus Versuchsreihe 1 bekannt waren. Mit Ausnahme der Biegeeigenschaften (kein Einfluss) wurden mit steigendem Substitutionsgrad eine Verbesserung der Querkzugfestigkeit (Anstieg) und der Dickenquellung (Reduktion) abgeleitet.

Versuchsreihe 4: Einsatz von Spänen geringer Schüttdichte aufgrund der Spangeometrie als Mittelschichtmaterial

Für keinen der Späne, die vom Forschungspartner IfW unter der Maßgabe einer geringen Schüttdichte aufgrund der Spangeometrie hergestellt wurden, konnte ein positiver Einfluss auf die Biegeeigenschaften der aus diesen hergestellten Platten gefunden werden. Lediglich die Querkzugfestigkeit (Erhöhung) oder die Dickenquellung (Verringerung) konnte durch den Einsatz einiger Späne verbessert werden. Der Umfang der Verbesserungen entsprach hier den Eigenschaftsverbesserungen, die bereits beim Einsatz des Leuco-p-Spans (Versuchsreihe 3) festgestellt wurden. Der Umfang der Eigenschaftsverbesserung würde hierbei eine Reduktion der Plattendichte um ca. 100 kg/m³ erlauben, ohne dass die Eigenschaften der Referenzplatte mit einer Dichte von 650 kg/m³ unterschritten würden. Ein Einfluss auf das Rohdichteprofil der Platten wurde nicht gefunden. Dies legt die Vermutung nahe, dass über eine Erhöhung der Schüttdichte aufgrund einer innovativen Spangeometrie keine Erhöhung des Verdichtungswiderstandes und damit Erhöhung der Deckschichtdichte erreicht werden kann. Geschlossen werden kann hingegen aus den Ergebnissen, dass die Späneigenschaften (Geometrie, aber vielleicht auch vielmehr die Spanoberfläche aufgrund der verwendeten Zerspanungstechnologie) Einfluss auf die Verklebungsgüte der Späne hat.

Versuchsreihe 5: Versuche mit Spänen, die mit einem Messerwellenzerspaner hergestellt wurden

Für die Untersuchung des Einflusses der Zerspanungstechnologie auf die Eigenschaften von Spanplatte wurde beim Industriepartner Krono Kiefernrundholz mit einem Messerwellenzerspaner (MWZ) zerspannt, die Späne am Thünen-Institut für Holzforschung getrocknet und am WKI siebfraktioniert. Aus Teilen der erzeugten Siebfraktionen (< 0,6 mm, 0,6 - 1,25 mm, 1,25 - 3,15 mm, 3,15 - 5 mm und > 5 mm) wurde anschließend ein Deck- und eine Mittelschichtsortiment verschnitten. Entsprechend den nach Siebung erhaltenen Fraktionsanteilen wurde der MWZ-Deckschichtspan aus 32 % der Fraktion < 0,6 mm und 68 % der Fraktion 0,6 - 1,25 mm gemischt. Der MWZ-Mittelschichtspan wurde aus 28 % der Fraktion 1,25 - 3,15 mm, 27 % der Fraktion 3,15 - 5 mm und 46 % der Fraktion > 5 mm hergestellt. Als Referenzmaterial wurden auf der Produktionsanlage des

Industriepartners hergestellte, getrocknete und im Rahmen der Siebung und Sichtung aufbereitete Deck- und Mittelschichtspäne verwendet. Aus diesen Materialien wurden folgende Prüfspanplatten mit einer Zieldichte von 650 kg/m^3 , aber auch 500 kg/m^3 , hergestellt:

- | | |
|------------------------------------|--|
| • Deckschicht: Referenzspan | Mittelschicht: Referenzspan |
| • Deckschicht: Referenzspan | Mittelschicht: MWZ-Mittelschichtspan |
| • Deckschicht: MWZ-Deckschichtspan | Mittelschicht: MWZ-Mittelschichtspan |
| • Deckschicht: Referenzspan | Mittelschicht: MWZ-Fraktion 1,25 - 3,15 mm |
| • Deckschicht: Referenzspan | Mittelschicht: MWZ-Fraktion 3,15 - 5 mm |
| • Deckschicht: Referenzspan | Mittelschicht: MWZ-Fraktion > 5 mm |

Für die daran anschließend angestellten Eigenschaftsvergleiche der Spanplatten wurden Ergebnisse vorheriger Versuchsreihen (Versuchsreihe 3, Leuco-P-Span) herangezogen. Um die Eigenschaften der Platten auf einem einheitlichen Dichteniveau vergleichen zu können, wurden diese auf eine einheitliche Dichte von 650 bzw. 500 kg/m^3 normiert. Die Normierung der Eigenschaften der Platten mit Leuco-P-Span als Mittelschichtmaterial auf eine Dichte von 500 kg/m^3 erfolgte hierbei auf Basis der Eigenschaften von Platten mit einer Zieldichte von 575 und 400 kg/m^3 .

Die Schüttdichten der Späne betragen:

- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| • Referenz-Deckschichtspan: | 173 kg/m^3 |
| • Referenz-Mittelschichtspan: | 158 kg/m^3 |
| • MWZ-Deckschichtspan: | 139 kg/m^3 |
| • MWZ-Mittelschichtspan: | 91 kg/m^3 |
| • MWZ-Fraktion 1,25-3,15 mm: | 123 kg/m^3 |
| • MWZ-Fraktion 3,15-5 mm: | 100 kg/m^3 |
| • MWZ-Fraktion > 5 mm: | 77 kg/m^3 |
| • Leuco-p-Span: | 128 kg/m^3 |

Mit Hilfe der Siebanalyse wurde gezeigt, dass sich jeweils die Deck- als auch Mittelschichtspäne der unterschiedlichen Zerspanungstechnologien voneinander unterschieden. Die Deckschichtspäne, die mit dem Messerwellenzerspaner hergestellt wurden, waren deutlich feiner als die Späne, die mit dem Messerringzerspaner hergestellt wurden. Für die Mittelschichtspäne zeigte sich der gegenteilige Sachverhalt. Weiter wurde mittels Siebanalyse gezeigt, dass ein hoher Befüllungsgrad der Trommel zum Klebstoffauftrag eine stärkere Spangrößenreduktion bewirkt als ein niedriger Befüllungsgrad. Für Platten aus Referenz-Deckschichtspänen und MWZ-Mittelschichtspänen wurde in diesem Zusammenhang gezeigt, dass eine Reduktion des Befüllungsgrads (50 % Reduktion) einen signifikanten Anstieg (um ca. 200 N/mm^2) des Biege-Elastizitätsmoduls bewirkt. Für die Biegefestigkeit konnte dieser Effekt nicht beobachtet werden.

Einfluss der Zerspanungstechnologie auf die Platteneigenschaften

Tabelle 1 zeigt die auf eine einheitliche Dichte von 650 kg/m^3 normierten Eigenschaften (Mittelwert und Standardabweichung) von jeweils 3 Platten unterschiedlicher Deck- und Mittelschichtzusammensetzung sowie die Ergebnisse der statistischen Analyse auf Mittelwertunterschiede (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).

Gezeigt werden soll hiermit, welchen Einfluss die Zerspanungstechnologie auf die Platteneigenschaften hat. Im Fokus steht hierbei die Untersuchung des Potenzials des MWZ-Mittelschichtspans zur Herstellung dichter-reduzierter Spanplatten bei entsprechenden Festigkeiten. Ergänzend hierzu wird über die Bestimmung der Eigenschaften von sowohl aus MWZ-Deckschicht- als auch MWZ-Mittelschichtspänen hergestellten Platten das Potenzial einer kompletten Spanherstellung mit Hilfe eines Messerwellenzerspanners untersucht.

Tabelle 1: Auf eine einheitliche Dichte normierte Eigenschaften (Mittelwert und Standardabweichung) verschiedener Platten aus Referenz-, MWZ-Deckschicht- und MWZ-Mittelschichtspan sowie Ergebnisse statistischen Analyse auf Mittelwertunterschiede (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).

Deckschichtspan	Referenz	Referenz	MWZ
Mittelschichtspan	Referenz	MWZ	MWZ
Normierte Dichte (kg/m^3)	650	650	650
Biegefestigkeit (N/mm^2)	14,4 (0,7) A	16,2 (0,9) B	18,4 (1,0) C
Biege-E-Modul (N/mm^2)	2548 (41) A	2706 (122) B	2836 (74) C
Querzugfestigkeit (N/mm^2)	0,53 (0,04) B	0,55 (0,05) B	0,49 (0,05) A
Dickenquellung 2h (%)	12,0 (0,8) A	15,1 (0,5) B	15,6 (0,3) C
Dickenquellung 24h (%)	18,5 (0,7) A	18,3 (0,6) A	18,7 (0,4) A
Wasseraufnahme 2h (%)	61,2 (2,6) A	75,5 (2,2) B	74,9 (2,0) B
Wasseraufnahme 24h (%)	76,2 (2,0) A	86,0 (1,5) B	87,4 (1,6) B

Der alternative Einsatz von MWZ-Spänen führt zu einem signifikanten Anstieg der Biegeeigenschaften. Durch den Einsatz des MWZ-Mittelschichtspans wird gegenüber der Referenzplatte bereits ein Anstieg von Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul erreicht, bei komplett alternativer Verwendung von MWZ-Spänen ein weiterer Anstieg. Ein Anstieg der Querzugfestigkeit wurde durch den Einsatz der MWZ-Späne nicht gefunden, bei kompletter Substitution der Referenzspäne hingegen sogar ein signifikanter Abfall der Querzugfestigkeit. Der Einsatz von MWZ-Spänen führt zu einem Anstieg der kurzfristigen Dickenquellung (2h), während nach 24-stündiger Wasserlagerung keine Unterschiede mehr zu beobachten sind. Die Wasseraufnahme wurde für Platten mit MWZ-Spänen als signifikant höher als die für Platten aus Referenzspänen gefunden.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Biegeeigenschaften sowohl durch eine Teil- (nur Mittelschichtspäne) als auch durch eine Vollsubstitution (sowohl Mittel- als auch Deckschichtspäne) der Referenzspäne verbessern lassen. Sowohl die Wahl des Mittel- als auch des Deckschichtspans hat einen Einfluss auf die Platteneigenschaften. Die Ergebnisse der Untersuchung der

Querzugfestigkeit zeigen, dass die Wahl des Deckschichtspans einen Einfluss auf die Verklebungsgüte (Querzugfestigkeit) der Mittelschicht haben kann.

Einfluss der Spangeometrie auf die Platteneigenschaften

Tabelle 2 zeigt die auf eine einheitliche Dichte von 650 und 500 kg/m³ normierten Eigenschaften (Mittelwert und Standardabweichung) von jeweils 3 Platten mit unterschiedlichem Spanmaterial in der Mittelschicht sowie die Ergebnisse der statistischen Analyse auf Mittelwertunterschiede (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).

Die Versuchsreihe soll zeigen, in welcher Größenordnung die Spangeometrie einen Einfluss auf die Platteneigenschaften hat. Im Fokus steht hierbei das Potenzial eines großen, flächigen Spans (MWZ-Fraktion > 5 mm) gegenüber dem Referenzspan. Der Leuco-p-Span wurde als Zweit-Referenz einbezogen, also ein Span durch dessen Verwendung in Versuchsreihe 3 ein signifikanter Anstieg der mechanischen Eigenschaften festgestellt wurde.

Der alternative Einsatz von großen, flächigen Spänen (MWZ-Fraktion > 5 mm) in der Mittelschicht führt im Fall von Platten konventioneller Dichte (650 kg/m³) zu einem signifikanten Anstieg der Biegefestigkeit auf das Niveau von Platten mit dem Leuco-p-Span in der Mittelschicht. Der Biege-Elastizitätsmodul übersteigt sogar das der Platten mit Leuco-p-Span. Die Querzugfestigkeit wurde als signifikant niedriger als die der Platten aus Referenzspan und weiter auch der Platten mit Leuco-p-Span in der Mittelschicht gefunden. Im Fall von Platten mit einer auf 500 kg/m³ reduzierter Dichte ist für den Einsatz der großen, flächigen Späne in der Mittelschicht lediglich für das Biege-Elastizitätsmodul von Vorteil. Sowohl die Biegefestigkeit als auch das Biege-Elastizitätsmodul bleibt signifikant unter den Werten, die für die Platten mit Leuco-p-Span in der Mittelschicht gefunden wurden. Die Querzugfestigkeit ist beim Einsatz der MWZ-Fraktion > 5 mm in der Mittelschicht gegenüber den Platten mit Referenz- und Leuco-p-Span reduziert. Die aufgeführten physikalischen Eigenschaften (Dickenquellung und Wasseraufnahme) sollen hier keine weitere Beachtung finden.

Tabelle 2: Auf eine einheitliche Dichte von 650 bzw. 500 kg/m³ normierte Eigenschaften (Mittelwert und Standardabweichung) verschiedener Platten aus Referenz-, MWZ > 5mm- und Leuco-p-Span sowie Ergebnisse statistischen Analyse auf Mittelwertunterschiede (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).

Deckschichtspan	Referenz	Referenz	Referenz
Mittelschichtspan	Referenz	MWZ > 5 mm	Leuco-p-Span
Normierte Dichte (kg/m ³)	650	650	650
Biegefestigkeit (N/mm ²)	14,4 (0,7) A	15,2 (1,0) B	15,7 (0,6) B
Biege-E-Modul (N/mm ²)	2548 (41) A	2742 (82) C	2649 (59) B
Querzugfestigkeit (N/mm ²)	0,53 (0,04) B	0,49 (0,04) A	0,67 (0,03) C
Dickenquellung 2h (%)	12,0 (0,8) A	13,4 (0,7) B	12,4 (0,6) A
Dickenquellung 24h (%)	18,5 (0,7) B	18,5 (0,9) B	17,7 (0,5) A
Wasseraufnahme 2h (%)	61,2 (2,6) A	61,3 (1,2) A	67,1 (1,1) B
Wasseraufnahme 24h (%)	76,2 (2,0) A	76,7 (0,8) A	79,9 (1,2) B
Normierte Dichte (kg/m ³)	500	500	500
Biegefestigkeit (N/mm ²)	5,8 (0,5) A	6,0 (0,5) A	7,4 (0,5) B
Biege-E-Modul (N/mm ²)	1044 (41) A	1220 (37) B	1308 (46) C
Querzugfestigkeit (N/mm ²)	0,30 (0,03) B	0,23 (0,03) A	0,45 (0,02) C
Dickenquellung 2h (%)	8,4 (0,4) A	11,4 (0,6) C	9,9 (0,3) B
Dickenquellung 24h (%)	12,4 (0,3) A	13,9 (0,6) B	12,8 (0,4) C
Wasseraufnahme 2h (%)	74,0 (4,3) A	90,1 (1,8) B	91,6 (4,7) B
Wasseraufnahme 24h (%)	94,1 (3,6) A	105,6 (1,7) B	109,9 (3,2) C

Die Ergebnisse zeigen, dass durch den Einsatz großer, flächiger Späne (MWZ-Fraktion > 5 mm) in der Mittelschicht keine Kompensation der mit Dichtereduktion einhergehende Eigenschaftverschlechterung auf das Niveau von konventionell dichten Platten zu erzielen ist. Lediglich die Platten mit Leuco-p-Span in der Mittelschicht erreichen im Fall der Querzugfestigkeit ein ähnliches Eigenschaftsniveau wie Platten konventioneller Dichte.

Einfluss der Spangröße auf die Platteneigenschaften

Tabelle 3 zeigt die auf eine einheitliche Dichte von 650 kg/m³ normierten Eigenschaften (Mittelwert und Standardabweichung) von jeweils 3 Platten mit unterschiedlichem Spanmaterial in der Mittelschicht sowie die Ergebnisse der statistischen Analyse auf Mittelwertunterschiede (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).

Mit der Versuchsreihe soll der Einfluss der Größe der Späne in der Mittelschicht auf die Platteneigenschaften gezeigt werden. Als Referenz dienen Ergebnisse von Platten (n = 3) mit MWZ-Mittelschichtspänen in der Mittelschicht.

Tabelle 3: Auf eine einheitliche Dichte von 650 kg/m^3 normierte Eigenschaften (Mittelwert und Standardabweichung) von Platten mit Spänen unterschiedlicher Größe in der Mittelschicht sowie Ergebnisse statistischen Analyse auf Mittelwertunterschiede (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).

Deckschichtspan	Referenz	Referenz	Referenz	Referenz
Mittelschichtspan	1,25-3,15 mm	3,15-5 mm	> 5 mm	MWZ
Normierte Dichte (kg/m^3)	650	650	650	650
Biegefestigkeit (N/mm^2)	14,6 (0,9) A	15,0 (0,5) A	15,2 (1,0) A	16,2 (0,9) B
Biege-E-Modul (N/mm^2)	2560 (60) A	2593 (48) A	2742 (82) B	2706 (122) B
Querzugfestigkeit (N/mm^2)	0,54 (0,04) B	0,57 (0,03) B	0,49 (0,04) A	0,55 (0,05) B
Dickenquellung 2h (%)	14,0 (0,9) B	13,0 (0,6) A	13,4 (0,7) AB	15,1 (0,5) C
Dickenquellung 24h (%)	20,1 (0,7) B	18,4 (0,6) A	18,5 (0,9) A	18,3 (0,6) A
Wasseraufnahme 2h (%)	72,5 (1,8) C	66,9 (1,2) B	61,3 (1,2) A	75,5 (2,2) D
Wasseraufnahme 24h (%)	87,8 (0,6) D	82,1 (0,5) B	76,7 (0,8) A	86,0 (1,5) C

Mit Ausnahme des Biege-Elastizitätsmoduls von Platten mit MWZ-Spänen der Fraktion < 5 mm in der Mittelschicht - dieser übersteigt die übrigen Messerwerte signifikant - wurde kein Zusammenhang von Spangröße und Biegeeigenschaften gefunden. Die Querzugfestigkeit wurde hingegen als signifikant niedriger im Vergleich zu den Eigenschaften der Platten mit kleineren Spänen in der Mittelschicht gefunden. Die aufgeführten physikalischen Eigenschaften (Dickenquellung und Wasseraufnahme) sollen hier keine weitere Beachtung finden.

Aus den Ergebnissen dieser Versuchsreihe ist zu schlussfolgern, dass zwischen der Spangröße in der Mittelschicht und den Platteneigenschaften kein Zusammenhang besteht, der für die Kompensation der Eigenschaftseinbußen durch Dichtereduktion herangezogen werden könnte.

Anmerkungen zu Versuchsreihe 5

Die Variation der Zerspanung, also die Verwendung eines Messerwellenzerspanners anstelle der Anwendung einer Kombination aus Hacker und Messerringzerspanner, kann mit einer Veränderung der Rohstoffbasis verbunden sein. Während ein Messerwellenzerspanner für die Zerspanung von Rundholz vorgesehen ist, so lassen sich mit einem Messerringzerspanner auch Hackschnitzel zerspannen, die nicht mit einem Hacker aus Rundholz erzeugt wurden. Soll also der Einfluss der Zerspanungstechnologie auf die Platteneigenschaften untersucht werden, so ist auf die Verwendung gleicher Ausgangsmaterialien zu achten. Um die Eigenschaften von Spanplatten aus Spänen unterschiedlicher Herstellung tatsächlich vergleichen zu können, muss weiter darauf geachtet werden, dass auch die Aufbereitung des Spanmaterials unter gleichen Bedingungen erfolgt.

In der vorliegenden Versuchsreihe wurde zwar auf die Sicherstellung der Vergleichbarkeit des Ausgangsmaterials geachtet, jedoch wurde die Spantrocknung und Aufbereitung auf unterschiedliche Art und Weise vorgenommen. Während der Referenzspan (Messerringzerspannung) im

Industriebetrieb getrocknet und im Rahmen der Siebung und Sichtung zu Deck- und Mittelschichtspan aufbereitet wurde, so hat die Trocknung der Messerwellenerspaner-Späne im Labor und die Siebfraktionierung im Technikum des WKI stattgefunden. Streng genommen kann somit kein direkter Vergleich zwischen Referenz- (Messerringerspaner-Spänen) und Messerwellenerspaner-Spänen hergestellt werden. Gleiches gilt für die Vergleichende Betrachtung der Versuchsergebnisse, bei denen die Eigenschaften von Platten mit Leuco-p-Span in der Mittelschicht einbezogen wurden.

Versuchsreihe 6: Experimentelle Bestimmung des Verdichtungswiderstandes

Ein Ansatz zum Erreichen des Projektziels war es, über den Einsatz von Spänen innovativer Geometrie (voluminös-sperrige Spanform) sonst mit Dichtereduktion einhergehende Eigenschaftseinbußen kompensieren zu können. Dieser Ansatz erschien vielversprechend, da Spänen mit einem geringen Schüttgewicht zugeschrieben wird, ihrer Verdichtung einen großen Widerstand entgegen zu setzen. Über den Einsatz von Mittelschichtspänen mit einem hohen Verdichtungswiderstand sollten so Spanplatten reduzierter Mittelschichtdichte und hochverdichten Deckschichten erzielt werden.

Mit dem Ziel eine Abschätzung des Potenzial von Versuchsspänen innovativer Geometrie nicht immer die Herstellung von Prüfspanplatten vornehmen zu müssen, wurde in Versuchsreihe 6 ein Versuchsaufbau zusammen gestellt, mit dem der Verdichtungswiderstand einer Spanprobe bestimmt werden kann.

Als Versuchsmaterial dienten Deck- und Mittelschichtspäne verschiedener Spanplattenhersteller (siehe Versuchsreihe 2), Späne innovativer Geometrie (siehe Versuchsreihe 3 und 4) sowie bereits in Versuchsreihe 5 aufgeführte Fraktionen von Messerwellenerspaner-Spänen. Der Versuchsaufbau umfasst einen Metallzylinder, der auf der unteren Traverse einer Universal-Prüfmaschine montiert ist, und einen Stempel, der kombiniert mit einer Kraftmessdose an der oberen Traverse montiert ist. In den Zylinder wird eine definierte Menge Spanmaterial gegeben und unter definierter Geschwindigkeit verdichtet. Die aufgezeichneten Daten werden als Dichte-Verdichtungswiderstand-Diagramm aufgezeichnet. Eine umfassende Beschreibung des Versuchsaufbaus und der Ergebnisse ist in Benthien et al. (2018) zu finden.

Aus den Ergebnissen von Versuchsreihe 6 wurde deutlich, dass bei der Verdichtung einer Spanmatte zunächst eine Annäherung der Partikel untereinander und erst im weiteren Verlauf des Verdichtungs Vorgangs eine Komprimierung des Spans an den Kontaktstellen stattfindet. Im Zuge der Annäherung der Partikel untereinander handelt es sich um eine Veränderung der äußeren Form der Partikel, bei der das Volumen der Spanmatte verringert wird. Für diesen Bereich der Verdichtung wurden geringe Verdichtungswiderstände gemessen. Bei der Komprimierung des Spans an den Kontaktstellen findet hingegen eine Komprimierung der mikroskopischen Porenstruktur des Holzes, also ein Zusammenquetschen der Holzzellen statt. Für diesen Bereich der Verdichtung wurden höhere Verdichtungswiderstände gemessen. Dies zeigt, dass Partikel geringer Schüttdichte nur

dann einen erhöhten Verdichtungswiderstand zeigen, wenn die geringe Schüttdichte in der geringen Rohdichte des Holzes begründet ist und nicht aufgrund einer voluminös-sperrigen Spanform erreicht wird. Die hier Erzielten Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen aus Versuchsreihe 4, in deren Rahmen keine Eigenschaftsverbesserungen für Platten mit Spänen innovativer Geometrie in der Mittelschicht gefunden wurden.

Weiter legten die Ergebnisse der Versuchsreihe 6 nahe, dass mit steigender Spangröße ein Anstieg des Verdichtungswiderstandes zu erwarten ist. Aufgrund dieses Ergebnisses wurde mit Fokus auf die Untersuchung des Einflusses der Spandicke Versuchsreihe 10 durchgeführt.

Versuchsreihe 7: Einfluss von Deck- und Mittelschicht-Klebstoffanteil

Aufgrund von Teilergebnissen der

- Versuchsreihe 1: Abflachung des Rohdichteprofiles aufgrund der Verringerung des Verdichtungswiderstandes der Mittelschicht mit steigendem Klebstoffanteil in der Mittelschicht,
- Versuchsreihe 2: Einfluss des Deckschichtspans auf u.a. Eigenschaften (Querzugfestigkeit) der Mittelschicht
- Versuchsreihe 5: Einfluss der Geometrie des Deckschichtspans auf die Biegeeigenschaften

sowie Hinweisen von Hänsel et al. (1988) sowie Mihailova und Tritchkov (2009) zu Möglichkeiten der stärkeren Ausprägung des Rohdichteprofiles wurde in Versuchsreihe 7 der Einfluss des Klebharzanteils in Deck- und Mittelschicht untersucht.

Anhand der Rohdichteprofile von Platten mit unterschiedlichen Klebharzanteilen in Deck- und Mittelschicht wurde geschlussfolgert, dass Späne mit einem höheren Klebharzanteil stärker, Späne mit einem niedrigeren Klebstoffanteil einen weniger stark während des Verdichtungs Vorgangs plastifizieren. Gleichwohl wurde ein Anstieg der Biegeeigenschaften mit steigendem Klebstoffteil in der Deckschicht und ein Anstieg der Querzugfestigkeit mit steigendem Klebstoffanteil in der Mittelschicht gefunden. Zur stärkeren Ausprägung des Rohdichteprofiles und Kompensation Verringerter Biegeeigenschaften mit Dichtereduktion könnte der Klebstoffanteil in der Deckschicht erhöht werden. Um ein Plastifizieren der Mittelschichtspäne zu vermeiden, dennoch aber Vorteile eines erhöhten Klebstoffanteils nutzen zu können, erscheint der Einsatz von pMDI-Klebstoff in der Mittellage und konventionellem UF-Klebstoff in der Deckschicht zielführend.

Versuchsreihe 8: Platten mit auf einer Taumelkreissäge hergestellten „S-Spänen“

Aufgrund des Hinweises von Plath und Schnitzler (1974), dass auf einer Taumelkreissäge hergestellte S-Späne aufgrund ihrer Verfilzung einen besonders hohen Verdichtungswiderstand aufweisen, wurden von Forschungspartner IfW solche Späne hergestellt und am Thünen-Institut für Holzforschung als Mittelschichtmaterial von Prüfspanplatten verarbeitet.

Entsprechende Platten mit einer Dichte von 500 kg/m^3 zeigten zwar gegenüber der Referenz eine signifikant erhöhte Querkzugfestigkeit, jedoch keine Verbesserung der Biegeeigenschaften. Hieraus wurde geschlussfolgert, dass zwar die Art der Zerspanungen zwar einen positiven Effekt auf die Verklebbarkeit der Späne hat, nicht aber einen höheren Verdichtungswiderstand aufweist, was sich in einem ausgeprägteren Rohdichteprofil und verbesserten Biegeeigenschaften hätte bemerkbar machen müssen.

Versuchsreihe 9: Vertikale Spanausrichtung

Neben dem Einsatz von Spänen innovativer Geometrie war es ein Ansatz zum Erreichen des Projektziels, über die Orientierung konventioneller Späne die sonst mit Dichtereduktion einhergehenden Eigenschaftseinbußen kompensieren zu können. Dieser Ansatz basiert auf der Tatsache, dass Holz in Faserrichtung eine höhere Druckfestigkeit als quer hierzu (radial und tangential) aufweist. Bei vertikaler Ausrichtung der Mittelschichtspäne ist daher ein höherer Verdichtungswiderstand mit folglich hochverdichteten Deckschichten zu erwarten.

Prüfspanplatten mit vertikal ausgerichteten Spänen in der Mittelschicht wurden in den Dichtestufen 500 und 650 kg/m^3 in der Weise hergestellt, dass zunächst die Mittelschicht zwischen zwei aufrecht gestellte Pressbleche gestreut wurde. Nach Streuung der Mittelschicht wurden die Pressbleche horizontal ausgerichtet, das obere Pressblech entfernt, die erste Deckschicht aufgestreut, das Pressblech erneut aufgelegt, die so fixierte Matte gewendet und nach dem Abnehmen des nun oberen Pressbleches die zweite Deckschicht gestreut.

Entgegen dem beabsichtigten Effekt einer Verbesserung der Biegeeigenschaften, wurden lediglich die Querkzugfestigkeit und die Dickenquellung positiv beeinflusst. Als Ursache hierfür wurde das Fehlen der unterstützenden Wirkung horizontal ausgerichteter Mittelschichtspäne kurz unterhalb der Deckschichten angenommen.

Eine umfangreiche Darstellung der durchgeführten Versuche sowie der erzielten Ergebnisse wird in Benthien und Ohlmeyer (2018) zu finden sein.

Versuchsreihe 10: Spandicke

Aufgrund der Ergebnisse aus Versuchsreihe 6 (Anstieg des Verdichtungswiderstandes mit Steigender Mittelschichtdicke) wurden für Versuchsreihe 10 konventionelle Mittelschichtspäne unterschiedlicher Dicke hergestellt und für die Prüfspanplattenherstellung eingesetzt. Die Herstellung der Späne erfolgte beim Industriepartner Pallmann auf einem Messerringzerspaner im Industriemaßstab unter Veränderung des Messerüberstands. Es wurden Späne in den Dicken „dünn“, „normal“ und „dick“ hergestellt. Die Prüfspanplatten wurden mit einer Zieldichte von 500 und 650 kg/m^3 hergestellt.

Im Fall der Biegeeigenschaften wurde für Platten hoher Dichte die (signifikant) höchsten Werte für Platten mit Spänen „normaler“ Dicke in der Mittelschicht gefunden. Für die Platten geringerer Dichte wurden keine Unterschiede zwischen den Biegeeigenschaften der Platten mit unterschiedlichen Spandicken gefunden. Für die Querkzugfestigkeit von Platten hoher Dichte wurden gegenüber „dünnen“ Spänen ein signifikanter Anstieg festgestellt, wobei die Querkzugfestigkeit der Platten mit „normalen“ Spänen in der Mittelschicht die von Platten mit „dicken“ Spänen signifikant übersteigt. Auch im Fall der Platten mit einer geringen Dichte steigt die Querkzugfestigkeit mit steigender Spandicke an, wobei hier zwischen Spänen der Dicke „normal“ und „dick“ kein Unterschied besteht. Für Platten hoher Dichte wurde mit steigender Spandicke eine Verringerung der Dickenquellung festgestellt. Insbesondere nach 24-stündiger Wasserlagerung ist für Platten geringer Dichte kein Unterschied zwischen den Dickenquellungen der Platten geringer Dichte festzustellen.

Wie auch die Ergebnisse der Partikelgrößenanalyse zeigen, ist ein direkter Vergleich zwischen den Referenz-Mittelschichtspänen und den Spänen der Dicke „normal“ ohne weiteres nicht möglich. Grund hierfür wird die unterschiedliche Herstellungsgeschichte (Industrieherstellung im Fall der Referenzspäne vs. Laborherstellung der Späne unterschiedlicher Dicke) sein.

Als Ergebnis liefert diese Versuchsreihe die Erkenntnis, dass am ehesten für Platten konventioneller Dichte die Spandicke einen Einfluss hat. Für Platten reduzierter Dichte scheint zumindest der Einsatz dünner Mittelschichtspäne einen negativen Effekt auf die Querkzugfestigkeit zu haben.

Versuchsreihe 11: Fahrni-Deckschichtwafer

Inspiziert von den Details der ersten Spanplattenherstellung durch Fahrni in den 1940er Jahren, wurden in Versuchsreihe 11 Spanplatten mit dünnen, schuppenartig übereinander liegenden Flachspänen (Mini-Wafer) als Deckschichtmaterial hergestellt. So sollten Deckschichten hoher Zugfestigkeit erzielt werden, die zu Platten hoher Biegeeigenschaften führen. Als Mittelschichtmaterial wurden Referenzspäne sowie Späne der Dicke „dick“ aus Versuchsreihe 10 eingesetzt. Ergänzend hierzu wurde weiter ein Schichtaufbau mit Referenz-Deckschichtspänen als äußere Deckschichtlage, darauf folgend eine Zwischenschicht mit Mini-Wafern und Referenz-Mittelschichtspänen als Plattenkern ausprobiert. Es wurden Platten mit einer Zieldichte von 500 und 650 kg/m³ hergestellt.

Durch den Einsatz der Mini-Wafer als Deckschichtmaterial wurde eine starke Steigerung der Biegeeigenschaften erreicht. Im Fall der Platten mit einer Dichte von 500 kg/m³ wurden die Biegeeigenschaften um mehr als 100 % gesteigert. Die Biegefestigkeit der Platten mit einer geringen Dichte und Mini-Wafer als Deckschichtmaterial entsprach statistisch der von Referenzplatten hoher Dichte. Für Platten geringer Dichte mit Mini-Wafer als Deckschichtmaterial und Spänen der Dicke „dick“ in der Mittelschicht entsprachen Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul denen von Referenzplatten mit hoher Dichte. Für Platten geringer Dichte mit Mini-Wafer als Zwischenschicht wurde zwar ein deutlicher (signifikanter) Anstieg der Biegeeigenschaften gegenüber den Referenzplatten geringer Dichte gefunden, jedoch blieben Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul hinter denen mit allein Mini-Wafer als Deckschichtmaterial zurück. Die ermittelten

Rohdichtepprofile korrelieren nur bedingt mit den gefundenen Biegeeigenschaften. Das ausgeprägteste Rohdichteprofil (höchste Deckschichtdichte) wurde für Platten mit Mini-Wafer als Zwischenschicht gemessen. Der Anstieg der Biegeeigenschaften von durch den Einsatz von Spänen der Dicke „dick“ anstelle von Referenzspänen bei Platten geringer Dichte und Mini-Wafer als Deckschichtmaterial wurde vom Rohdichteprofil widerspiegelt - höhere Deckschichtdichten wurden für Platten mit Spänen der Dicke „dick“ gefunden.

Die Querkzugfestigkeit der Platten mit einer geringen Dichte und Mini-Wafer als Deckschichtmaterial konnte gegenüber der von Referenzplatten geringer Dichte signifikant gesteigert werden. Für Platten hoher Dichte traf dies nicht zu. Das Rohdichteprofil von Platten mit Mini-Wafer als Deckschichtmaterial war sowohl im Fall hoher als auch niedriger Plattendichte weniger stark ausgeprägt als das der Referenzplatten. Der Einsatz von Spänen der Dicke „dick“ als Mittelschichtmaterial führte gegenüber den Platten mit Mini-Wafer als Deckschichtmaterial und Referenzspan in der Mittelschicht (beide geringe Dichte) zu einem weiteren signifikanten Anstieg der Querkzugfestigkeit. Die Querkzugfestigkeit der Platten mit Mini-Wafer als Zwischenschicht entsprach der von Platten mit Mini-Wafer als Deckschichtmaterial und Referenzspänen als Mittelschichtmaterial.

Die Verwendung von Mini-Wafer als Deckschichtmaterial führte bei Platten hoher Dichte zu einem starken (signifikanten) Anstieg der Dickenquellung. Bei 24-stündiger Wasser zu einem Anstieg um ca. 100 %. Im Fall der Platten mit geringer Dichte (alle Rezepturen) konnte bei grober Betrachtung kein Unterschied festgestellt werden. Die Wasseraufnahme fiel für Platten hoher Dichte geringer als die von Platten niedriger Dichte aus. Unterschiede in der Wasseraufnahme zwischen den Platten innerhalb einer Dichtestufe konnten bei grober Betrachtung nicht festgestellt werden.

Mit Versuchsreihe 11 konnte gezeigt werden, dass die Biegeeigenschaften von dichterduzierten Platten durch die Wahl eines Deckschichtspans, der eine feste Deckschicht ausbildet, auf das Niveau von konventionellen Platten gebracht werden kann. Diese Steigerung muss hierbei nicht mit einem Anstieg der Ausprägtheit des Rohdichteprofiles verbunden sein. In Kombination mit einem geeigneten Mittelschichtspan, die auch zu einer stärkeren Ausprägung des Dichteprofiles führt, kann eine weitere Steigerung der Biegeeigenschaften erzielt werden. Auf die Ausbildung der Querkzugfestigkeit kann auch die Wahl des Deckschichtspans und nicht allein die Wahl des Mittelschichtspans Einfluss haben. Das Kaschieren eines auf Maximierung der Biegeeigenschaften optimierten Deckschichtspans durch einen Span zur Erzielung einer feinen Oberflächenstruktur wirkt sich negativ auf die Leistungsfähigkeit der funktionsoptimierten Deckschicht aus. Dies zeigt, wie wichtig die äußeren Bereiche der Mittelschicht unterhalb der feinspanigen Deckschichten für die Biegeeigenschaften sind.

2 Verwertung

Mit keinem der im Projekt verfolgten Ansätze ließen sich dichterereduzierte Spanplatten herstellen, die in allen Eigenschaften konventionellen Spanplatten vergleichbar sind. Insbesondere der Einsatz innovativer Späne stellte sich als nicht zielführend heraus. Mit dem Ansatz der Spanorientierung in der Mittelschicht sowie verschiedenen ergänzenden Ansätzen (Spandicke, flächiger Deckschichtspan) wurde jeweils ein Teil der Eigenschaften auf dem Niveau konventioneller Eigenschaften gehalten.

Wenn auch kein wirtschaftlich praktikabler Ansatz zur Herstellung dreischichtiger Spanplatte mit einer Rohdichte von unter 500 kg/m^3 unter Erhalt entsprechender Festigkeitseigenschaften gefunden wurde (keine direkte Umsetzung in ein kommerzielles Produkt), so lassen sich die Projektergebnisse doch für die industrielle Weiterentwicklung nutzen sowie auf akademischem Niveau verwerten. Neben der Umsetzung der Versuchsergebnisse zu Fachaufsätzen helfen die Erkenntnisse, aussichtsreiche neue Lösungsansätze zu finden und überlegt anzugehen. Denkbar ist beispielsweise, die für bestimmte Eigenschaften erfolgreichen Ansätze so zu ergänzen, dass in der Summe das Ziel einer dichterereduzierten Spanplatte mit einer konventionellen Platte vergleichbaren Eigenschaften erzielt wird. Schwierig beim Einsatz von Spänen spezieller Geometrie wird sein, diese kostendeckend herzustellen, zumal die Einsparung von Kosten durch die Einsparung von Holz bei einer Dichterereduktion von 650 kg/m^3 auf 500 kg/m^3 überschaubar ist. Ein Mehraufwand für eine aufwändigere Zerspanung kann sich vermutlich erst bei verändertem Rohstoffangebot rechnen.

3 Veröffentlichungen

- BENTHIEN JT (2015) Mega-Trend, Zukunftsmusik oder Sackgasse? : Spannende Diskussionen rund um die leichte Platte beim "Leichtbau-Symposium" in Herford - viele Möbelhersteller vor Ort. Holz-Zentralblatt 141(3):58-59
- BENTHIEN JT (2015) Eine Frage der Perspektive : Leichtbau: Mega-Trend oder Sackgasse? Exakt(1-2):34-35
- BENTHIEN JT, OHLMEYER M (2016) Zusammenhang von Spanqualität und Platteneigenschaften - Eine Untersuchung von Spänen verschiedener Hersteller. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 38 p, Thünen Working Paper 52, DOI:10.3220/WP1454667598000
- BENTHIEN JT, OHLMEYER M (2017) Influence of face-to-core layer ratio and core layer resin content on the properties of density-decreased particleboards. Eur J Wood Wood Prod 75(1):55-62
- BENTHIEN JT, OHLMEYER M (2018) Enhancement of low-density particleboard properties by core layer particle orientation. Eur J Wood Wood Prod 76(3):1087-1091
- BENTHIEN JT, SCHNEIDER M, STEHLE T, OHLMEYER M (2018) Experimental determination of the compression resistance of differently shaped wood particles as influencing parameter on wood-reduced particleboard manufacturing. Eur J Wood Wood Prod 76(3):937–945
- SCHNEIDER M, BENTHIEN JT, OHLMEYER M, STEHLE T (2018) Stiffness modelling of particles in the core layer for the manufacturing of wood-reduced particleboard. Eur J Wood Wood Prod 76(3):947-952

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek (German National Library) lists this publication in the German National Bibliografie; detailed bibliographic data is available on the Internet at www.dnb.de

Bereits in dieser Reihe erschienene Bände finden Sie im Internet unter www.thuenen.de

Volumes already published in this series are available on the Internet at www.thuenen.de

Zitationsvorschlag – Suggested source citation:

Benthien JT, Ohlmeyer M (2018) Entwicklung leichter Holzwerkstoffe unter Anwendung definierter Spanorientierung und Partikelmorphologie - Schlussbericht zum Teilvorhaben 1. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 25 p, Thünen Working Paper 94, DOI:10.3220/WP1523967736000

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den jeweiligen Verfassern bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are responsible for the content of their publications.



Thünen Working Paper 94

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-working-paper@thuenen.de
www.thuenen.de

DOI:10.3220/WP1523967736000
urn:urn:nbn:de:gbv:253-201804-dn059805-7