



Universität für Bodenkultur Wien

Verfahren zur Herstellung einer knochenleimgebundenen Spanplatte

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur an der Universität für Bodenkultur Wien

eingereicht von Georg Hahn

Betreuer:

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Wolfgang Gindl

Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik
Institut für Holzforschung
Universität für Bodenkultur Wien

April 2008

Kurzfassung

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde ein Verfahren zur Herstellung von knochenleimgebundenen Spanplatten, die anschließend auf Querkzug- und Biegefestigkeit geprüft und hinsichtlich des Quellverhaltens untersucht wurden, entwickelt. Ein Problem stellte die Verpressung der durch die Beleimung zu feuchten Späne dar. Dies konnte unter Ausnutzung der thermoplastischen Eigenschaften des Knochenleims gelöst werden, indem die Späne nach der Beleimung getrocknet und anschließend bei 150°C heißverpresst wurden. Unter Einwirkung der hohen Temperatur kam es zur Plastifizierung des bereits ausgehärteten Klebstoffs und zur Verleimung der Späne untereinander. Die vollständige Festigkeit des Knochenleims trat erst nach Abkühlung unter die Sol-Gel-Übergangstemperatur ein. Bei der anschließenden Prüfung der Querkzugfestigkeit erreichten vier von fünf Proben die Anforderung der Norm. Die laut Norm geforderte Biegefestigkeit konnte nur von einer Platte erreicht werden. Obwohl Knochenleim gegenüber Feuchtigkeit nicht beständig ist, erzielten hinsichtlich des Quellverhaltens jene Proben passable Werte, die sich auch durch gute Festigkeitswerte auszeichneten.

Schlagwörter: Knochenleim, Spanplatte, Querkzugfestigkeit, Biegefestigkeit, Quellverhalten

Abstract

A procedure to fabricate bone glue bonded particle boards was developed within the diploma thesis. The transverse tensile strength and modulus of rupture as well as the moisture expansion behaviour of the particle boards was evaluated. One problem that occurred was that the particles were wet due to the application of adhesive and consequently non bonds could develop during pressing. The solution for the problem works like the following. One has to use the thermoplastic properties of bone glue in its full capacity by drying the particles after the glue application. Then the particles have to be pressed under a temperature of 150°C. As a consequence of the high temperature the already cured bone glue plasticized and the particles stuck together. Only after the cooling under the Sol-Gel-transition-temperature the whole stability of the bone glue was achieved. Four of five samples met the standard requirements for transverse tensile strength. The modulus of rupture demanded by the standard could only be reached by one particle board. Although bone glue is not stable against moisture those samples that demonstrate a good behaviour against moisture also offer good values of stability.

keywords: bone glue, particle board, transverse tensile strength, modulus of rupture, moisture expansion

Danksagung

Am Ende des Studiums beziehungsweise der Diplomarbeit ist es an der Zeit sich bei all jenen Menschen zu bedanken, die einen mehr oder weniger großen Anteil am Gelingen der oben genannten hatten.

Mein größter Dank gilt hier meinen Eltern Christine und Günter Hahn, die mir durch ihre unermüdliche und vor allem finanzielle Unterstützung das Studium ermöglichten und mir immer hilfreich zur Seite stehen. Bedanken will ich mich auch bei meinen beiden Brüdern Günther und Gernot für ihre lockere Art und für die vielen praktischen Erfahrungen, die ich in ihrem Unternehmen, für das ich ihnen weiterhin viel Erfolg wünsche, sammeln durfte.

Für die gute fachliche und sehr kollegiale Betreuung im Rahmen der Diplomarbeit möchte ich mich bei Prof. Wolfgang Gindl bedanken. Weiterer Dank gilt Dr. Johannes Konnerth für die Unterstützung bei der Durchführung der Festigkeitsprüfungen, Gerhard Emsenhuber für die Hilfe bei technischen Fragen und Veronika Knoblich für die Herstellung der Proben.

Bei Petra bedanke ich mich für vier gemeinsame Jahre und für die Hilfe bei der Erstellung des Abstracts. Für die Unterstützung am Ende des Studiums und für die Korrektur der Diplomarbeit bedanke ich mich bei Claudia.

Was wäre ein Studium ohne gute Freunde und Studienkollegen, mit denen man gemeinsam die Hürden des Studiums meistert, für Prüfungen lernt und danach oder einfach ohne Grund feiert. Darum möchte ich mich stellvertretend für alle bei Emanuel, Franz-Josef und Manuel bedanken, mit denen ich den größten Teil meines Studiums absolviert und eine wunderschöne Zeit in Wien verbracht habe.

1	Einleitung.....	6
2	Natürliche organische Bindemittel.....	7
2.1	Holzeigene Klebstoffe.....	7
2.1.1	Lignin.....	7
2.1.2	Tannine	9
2.2	Bindemittel auf tierischer Proteinbasis.....	11
2.2.1	Glutinklebstoffe.....	11
2.2.2	Kaseinklebstoff.....	11
2.2.3	Blutalbuminklebstoff	12
2.3	Bindemittel auf pflanzlicher Kohlenhydratbasis	12
2.3.1	Stärkeklebstoffe.....	12
2.3.2	Dextrinklebstoffe.....	13
3	Spanplatte.....	13
3.1	Herstellung.....	13
3.2	Marktwirtschaftliche Aspekte.....	17
4	Leime.....	17
4.1	Synthetische organische Bindemittel in der Holzwerkstoffindustrie	17
4.2	Knochenleim.....	19
4.2.1	Geschichtliche Entwicklung.....	19
4.2.2	Chemischer Aufbau.....	20
4.2.3	Eigenschaften und Anwendung.....	21
4.2.4	Herstellung	23
4.3	Melamin-Harnstoff-Formaldehyd	25
4.3.1	Herstellung	26
4.3.2	Anwendungsgebiet.....	28
5	Material und Methode	29
5.1	Allgemeines	29
5.2	Späneaufbereitung	30
5.2.1	Trocknung der Späne.....	31
5.2.2	Sieben der Späne.....	31
5.3	Herstellung der Leimflotten.....	32
5.3.1	Knochenleim	32
5.3.2	MUF	32
5.4	Beleimung.....	33
5.4.1	Bestimmung der Spanmenge.....	34
5.4.2	Bestimmung der Leimmenge	34
5.5	Verpressen des Spänekuchens	37
5.5.1	Biospanplatte	38
5.5.2	MUF-Spanplatte	39

5.6	Prüfen der Proben	40
5.6.1	Querzugprüfung	40
5.6.2	Biegeprüfung	42
5.6.3	Quellverhalten	44
6	Ergebnisse und Diskussion	45
6.1	Probenübersicht	45
6.2	Querzugprüfung	46
6.3	Biegeprüfung	50
6.4	Quellverhalten	53
7	Konklusion	55
8	Literaturverzeichnis	57
9	Abbildungsverzeichnis	59
10	Tabellenverzeichnis	60

1 Einleitung

Knochenleim, ein Glutinklebstoff, aufgebaut aus dem Gerüstprotein Kollagen, wird durch milde Hydrolyse von tierischen Knochen hergestellt und zählt zu den ältesten bekannten Klebstoffen. Früher in großem Umfang in der Holzindustrie eingesetzt, wurde dieses Naturprodukt in den letzten Jahrzehnten durch das Aufkommen von synthetischen Bindemitteln stark zurückgedrängt.

Nichtsdestotrotz rücken in jüngster Zeit wieder vermehrt natürliche Bindemittel in das Interesse der Holzwerkstoffindustrie und häufen sich Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der natürlichen Klebstoffe. Die Abhängigkeit von Erdöl und Erdgas, die ständig steigenden Preise derselben und die Endlichkeit dieser Ressourcen, die als Rohstoffe zur Herstellung synthetischer Klebstoffe dienen, tragen sicher wesentlich am aufkommenden Interesse am Einsatz von natürlichen Klebstoffen für die Holzwerkstoffindustrie bei.

Einen weiteren Beitrag hierfür liefert auch das steigende Umweltbewusstsein unserer Gesellschaft, die zunehmend größeren Wert auf ökologische Produkte - vor allem bei Lebensmitteln, Bauen und Wohnen - legt. Eröffnete die Spanplatte Mitte des 20. Jhdts. ganz neue Möglichkeiten im Möbelbau, mit leistbaren Möbeln für jedermann, gab es in den 70er-Jahren große Probleme mit der nachträglichen Formaldehydabgabe von Spanplatten, die aber heutzutage weitgehend gelöst wurden. Dennoch gibt es heute noch keine Spanplatten ohne Formaldehydabgabe. Mit dem Einsatz von Glutinklebstoffen sollte es möglich sein völlig formaldehydfrei Spanplatten herzustellen, die noch dazu bedenkenlos entsorgt werden können. Ein mögliches Haupteinsatzgebiet für die biologische Spanplatte könnte deshalb im Innenbereich und Möbelbau liegen, allein schon aufgrund der eher geringen Feuchtebeständigkeit.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollte daher ein Verfahren entwickelt werden, das es ermöglicht Spanplatten mit Knochenleim als Bindemittel herzustellen, die den industriellen Ansprüchen gerecht werden.

2 Natürliche organische Bindemittel

Der Einsatz von natürlichen organischen Bindemitteln ist seit Jahrtausenden bekannt, hat aber in den letzten Jahrzehnten durch das Aufkommen von synthetischen Bindemitteln stark an Bedeutung verloren.

2.1 Holzeigene Klebstoffe

Eine bisher kaum genutzte Rohstoffreserve zur Herstellung umweltfreundlicher und wasserbeständiger Klebstoffe stellen die in der Ablauge der Zellulosegewinnung massenhaft anfallenden Ligninabbauprodukte (Lignosulfonsäuren, Sulfat- und Säurelignine) dar. Die Holzhauptbestandteile Zellulose, Hemizellulose, Lignin sowie einige Holzextraktstoffe (Tannine) sind zur Herstellung von Klebstoffen geeignet und einige werden in den nächsten Kapiteln separat beschrieben. Hemizellulosen und Lignin werden während der Herstellung von Holzfasern (HDF) im Nassverfahren durch gezielte Hydrolyse als holzeigene Klebstoffe genutzt. Hierbei ist das inhärente Bindevermögen der Faser ausreichend um Hartfaserplatten herzustellen (Zeppenfeld und Grunwald 2005).

2.1.1 Lignin

Durch Erhitzen auf 150°C kann Lignin geschmolzen werden und kondensiert dabei zu braunen, unschmelzbaren Stoffen. Unter gleichzeitiger Druckausübung beginnt das Lignin zu fließen und verbindet sich mit den Holzfasern zu hochdichten Holzprodukten. Die so erzeugten Klebeverbindungen sind gegenüber Wasser und Feuchte nicht sehr beständig und quellen unter teilweiser Sprengung der Leimfugen. Durch Erhitzung von Lignin in Gegenwart von reichlicher Feuchte oder Wasser kommt es zur Bildung eines schwammigen, unkondensierten Stoffes, der nachfolgend geschmolzen und als Klebstoff verwendet werden kann. Nach dem Masonite- oder dem Defibratorverfahren hergestellte Faserstoffe enthalten aktiviertes Lignin und Spaltprodukte der Polysaccharide, die als Klebstoff bei der Faserplattenherstellung genutzt werden können (Zeppenfeld und Grunwald 2005).

Lignine fallen in großen Mengen bei der Zellstoffherstellung als Sulfat-beziehungsweise Sulfitablauge an und sind ein billiges Abfallprodukt der Zellstoffindustrie, weshalb seit einigen Jahrzehnten ein großes Interesse an Verwertungsmöglichkeiten besteht. Entsprechend ihrer chemischen Struktur

können diese Ligninderivate als Substitute oder Teilsubstitute für Phenol-Formaldehyd-Klebstoffe dienen oder finden als alleiniges Bindemittel für Holzwerkstoffe ihre Verwendung (Dunky, Niemz 2003; Zeppenfeld und Grunwald 2005).

Lignin, ein Abkömmling des Phenylpropan, besitzt phenolischen Charakter und zeigt aufgrund seiner funktionellen Gruppen ein gewisses Kondensationsvermögen. Jedoch weist Lignin im Vergleich zu reinen Phenolen aufgrund seiner veretherten phenolischen Hydroxylgruppen bei den Kondensationsmechanismen ein verlangsamtes und geringeres Reaktionsvermögen auf. Die langsame Aushärtung aufgrund der niedrigen Anzahl an reaktiven Stellen im Molekül und die komplexe chemische Struktur stellen den größten Nachteil von Ligninen bei ihrem Einsatz als Bindemittel bei Holzwerkstoffen dar. Die Reaktionsfreudigkeit des Lignins kann durch chemische Modifikation durch Entmethylierung, die Kochung in Ätzkalk, den Zusatz von Aminen oder Ammoniak erhöht werden. Ablaugenlignine sind sehr inhomogen bezüglich der Molekulargewichtsverteilung, der chemischen Zusammensetzung und der Verunreinigungen durch Hemizellulosen und Zucker. Diese Inhomogenität der Ablaugenlignine stellt eine wesentliche Schwierigkeit bei der Herstellung von Bindemittel dar (Dunky, Niemz 2003; Knoblauch-Mayer 1991).

Erste technische Versuche Lignin als alleiniges Bindemittel zur Herstellung von Spanplatten zu verwenden, wurden erstmals 1960 in Dänemark gemacht, als Platten ausschließlich mit Sulfitablauge gebunden wurden. Die nach dem so genannten Pedersen-Verfahren erzeugten Holzwerkstoffe wiesen zufrieden stellende Eigenschaften auf, allein die kostenintensive Herstellung, aufgrund der sehr langen Presszeiten und der Nachtemperung, die Umweltbelastungen durch Schwefeldioxid- und Schwefelwasserstoff-Emissionen sowie Korrosionsprobleme an den Anlagen, verursacht durch die Kondensation im stark sauren Bereich, verhinderten einen wirtschaftlichen Erfolg. Beim Pedersen-Verfahren werden die Holzspäne mit Sulfitablauge (pH-Wert 3-4) in Menge von 15 bis 10% Festlignin/atro Span besprüht und bei einer Temperatur von 180 – 200°C verpresst. Danach werden die Platten im Druckautoklaven bei 200°C thermisch behandelt (Nachtemperung), wobei die Sulfitablauge unter Abspaltung von Wasser und SO₂ aushärtet (Dunky, Niemz 2003; Knoblauch-Mayer 1991).

Das Verfahren Lignin als Bindemittel einzusetzen wurde von Shen und Fung in den 80er Jahren modifiziert, indem sie die Späne mit Schwefelsäure enthaltender Sulfitablauge besprühten und bei über 210°C verpressten. Weiter verbessert wurde das Verfahren von Drechsel, wobei sprühgetrocknete

Sulfitablauge mit zwei verschiedenen Korngrößen verwendet wurde und die Sulfitablauge vor der Versprühung mit Schwefelsäure angereichert worden war. Aber auch diese Methode setzte sich aus wirtschaftlichen Gründen, aufgrund hoher Presszeiten, und der nicht Erreichung der Normanforderungen in industrieller Anwendung nicht durch (Dunky, Niemz 2003; Knoblauch-Mayer 1991).

Ein anderes Verfahren, bei dem die Verleimung auf einer oxidativen Kupplung unter radikalischer Vernetzung der Ligninsubstanz mit dem Holz beruht und nicht auf einer Kondensationsreaktion, entwickelte Niemz 1983. Bei dieser Methode werden die Späne mit Sulfitablauge (50%ig, pH-Wert 3 bis 4), die etwas SO₂ enthält, einer Paraffinemulsion und einer 35%igen Wasserstoffperoxidlösung bedüst und anschließend verpresst. Diese Reaktion erfordert an sich keine Wärmezufuhr und keine sauren Bedingungen, wird aber durch Temperaturerhöhung und niedrigem pH-Wert beschleunigt. Damit können die oben erwähnten Nachteile, wie hohe Presstemperaturen, lange Presszeiten sowie die Verwendung starker Mineralsäuren vermieden werden (Dunky, Niemz 2003; Knoblauch-Mayer 1991).

Dies sind nur einige Verfahren einer langen Liste, bei denen versucht wurde Lignin als Bindemittel zur Herstellung von Spanplatten einzusetzen, wobei aber nur wenig davon in der industriellen Fertigung umgesetzt wurden. Sehr treffend wird dies von Dunky und Niemz 2003 beschrieben. Über Lignine unterschiedlichster chemischer Art und ihre Einsatzmöglichkeiten in der Holzwerkstoffindustrie (Bindemittel, Zusatz- und Streckmittel für andere Bindemittel, Ersatz für Rohstoffe in synthetischen Bindemitteln) existiert ein praktisch nicht mehr überschaubares Schrifttum. Tatsächlich realisierte Einsatzmöglichkeiten für Lignine in der Holzwerkstoffindustrie sind jedoch überraschend selten.

2.1.2 Tannine

Tannine (Gerbstoffe) sind polyphenole Polymerverbindungen, die aus Rinde oder Holz durch Extraktion mit Wasser oder wässrigen Lösungen gewonnen werden. Vom chemischen Aufbau lassen sich die Gerbstoffe in hydrolysierbare und kondensierte Tannine einteilen. Erstere sind enthalten in Rinden der Eiche, Kastanie, Sumach sowie in Valonea-Holz und –Rinde und sind Mischungen einfacher phenolischer Verbindungen, wie Pyrogallol, Ellagsäure und Gallussäure, sowie anderer Phenolcarbonsäuren und deren Ester. Sie reagieren kaum mit Formaldehyd und sind daher für die Klebstoffherstellung ungeeignet. Kondensierte Tannine sind oligomere und polymere Flavanoide

und Flavandiole, die leicht mit Formaldehyd reagieren. Die Grundstrukturen sind Flavanoïdmoleküle, deren A-Ring ein substituiertes Resorcin oder Phloroglucin und deren B-Ring ein Catechin, Pyrogallol oder ein p-substituiertes Phenol sein kann (Dunky, Niemz 2003; Zeppenfeld und Grunwald 2005).

Zu den technisch relevanten Tanninquellen zählen das Quebrachoholz, Mimosa, Mangroven und Kiefern (*pinus radiata*). Die Gewinnung von Tannin erfolgt fast ausschließlich in Südamerika, Südafrika und Südamerika, während die Verwender sowohl in den Herstellerländern als auch in Europa ansässig sind. Es gibt aber auch aktuelle Entwicklungsarbeit betreffend der Gewinnung von Tanninen aus in Europa heimischen Holzarten (Dunky, Niemz 2003; Schmidt 2001).

Je nach Herkunft und chemischer Zusammensetzung sind Tannine unterschiedlich reaktiv. Tannine können entweder als alleiniges Bindemittel oder in Kombination mit amino- oder phenoplastischen Harzen eingesetzt werden. Bei Verwendung als alleiniges Bindemittel wird Formaldehyd als Vernetzer eingesetzt, mit dem die Tannine relativ schnell kondensieren und hochmolekulare, hochviskose, aber wenig vernetzte Strukturen eingehen. Diese wenig fließfähigen und voluminösen Strukturen bilden keine wasserbeständigen Klebverbindungen aus, weshalb es oft zu Kombinationen mit amino- oder phenolischen Harzen kommt, welche als verstärkte Tanninharze bezeichnet werden (Dunky, Niemz 2003; Zeppenfeld und Grunwald 2005).

Eine einfache Rezeptur für die Herstellung von Spanplatten mit niedriger Formaldehydabgabe wurde von Dunky 1996 beschrieben:

100 kg Kieferntanninlösung (Konzentration 40%), 3 kg Paraformäquivalent als Vernetzer, zugegeben als Harnstoff-Formaldehyd-Konzentrat und 7 kg Harnstoff, zugegeben in fester Form beziehungsweise zum Teil entahlt im Harnstoff-Formaldehyd-Konzentrat.

Laut Zeppenfeld und Grunwald (2005) ergeben sich für den Einsatz von Tanninklebstoffen folgende Vorteile: Emissionsminderung (Formaldehyd), hohe Reaktivität (bei Kombination mit Präpolymeren von UF-, PF- oder PRF-Klebstoffen) und die Erzeugung von kochwasserbeständigen Klebeverbindungen. Diesen stehen etliche Nachteile gegenüber, wie etwa die natürliche Schwankung der Qualität von Tanninextrakten, keine Erzeugung von wasserfesten Klebeverbindungen aus unmodifizierten Tanninen oder die Empfindlichkeit gegenüber pH-Änderungen.

2.2 Bindemittel auf tierischer Proteinbasis

2.2.1 Glutinklebstoffe

Glutinklebstoffe werden aus verschiedenen Kollagen (lat.: leimgebende Substanz) enthaltenden tierischen Körperteilen - wie Knochen, Knorpel, Häute, usw. - durch Hydrolyse hergestellt. Das bei der Hydrolyse entstehende kolloidal lösliche Eiweißabbauprodukt bezeichnet man als Glutin (lat.: glutinous = leimig, agglutinare = kleben). Glutinklebstoffe gehören zu den ältesten bekannten Klebstoffarten und wurden früher in großem Umfang in der Holzindustrie eingesetzt, in den letzten Jahrzehnten aber durch verschiedene synthetische Klebstoffe stark zurückgedrängt. Man unterscheidet aufgrund des Rohstoffes zwischen Knochenleim, Hautleim, Fischleim und Lederleim (Habenicht 1997, Zeppenfeld und Grunwald 2005).

Die Geschichte, der chemische Aufbau, die Eigenschaften und Anwendungen der Glutinleime im Allgemeinen und des Knochenleims im Besonderen werden unter Kapitel 4.2 ausführlich beschrieben.

2.2.2 Kaseinklebstoff

Kasein ist der wichtigste Bestandteil der Milch, wobei der Gehalt an Kasein in Kuhmilch ca. 3% beträgt. Kaseine sind physikalisch und kalt abbindende Klebstoffe, die bereits in geringer Konzentration sehr viskose und zähflüssige Lösungen entstehen lassen, die harte und spröde Leimfugen bilden.

Kasein wird aus Milch über eine Säurefällung (Milchsäure, Salzsäure) oder mit Lab-Ferment gewonnen und nach dem Ausflocken des sauer gefällten Kaseins gewaschen, gepresst, gemahlen und getrocknet. Das so entstandene weiße bis gelbliche Pulver weist einen geringen Eigengeruch und milden Geschmack (Rohkasein) auf. Wegen der Unlöslichkeit von Kasein in kaltem Wasser wird zur Herstellung des Kaseinklebstoffs das Rohkasein in alkalischem Medium mittels Natronlauge oder Ammoniak gelöst, wobei die Art des Lösungsmittels starken Einfluss auf die rheologischen Eigenschaften des Klebstoffes hat. Diese Lösung ist bereits als Klebstoff einsetzbar, ergibt aber mit Wasser lösliche Klebfugen, weshalb dem Klebstoff Ca-Ionen zugesetzt werden.

Der Kaseinklebstoff findet sein Hauptanwendungsgebiet in der Flaschenetikettierung, da das Kasein auch auf nasser Oberfläche über sehr gute Klebeeigenschaften verfügt. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die mit

Kasein verklebten Etiketten in den Flaschenwaschanlagen mittels 1,5 bis 2,5%iger Natronlauge problemlos wieder entfernt werden können, sowie seine biologische Abbaubarkeit. Kasein wird heute als Bindemittel für Anstrichfarben sowie zur Sperrholzverleimung verwendet, wobei aufgrund des starken alkalischen Charakters und der damit verbundenen Neigung der Holzverfärbung der Einsatz von Kaseinklebstoffen in der Holzindustrie stark eingeschränkt wird (Habenicht 1997, Zeppenfeld und Grunwald 2005).

2.2.3 Blutalbuminklebstoff

Blutalbuminklebstoffe sind physikalisch abbindende Klebstoffe auf der Basis von Proteinen und werden aus dem albumin- und globulinhaltigem Serum tierischen Blutes gewonnen. Nach dem Gerinnen des Blutes wird durch Zentrifugieren das Blutserum erhalten, das anschließend getrocknet und so das Blutalbumin als hygroskopisches Pulver erhalten wird. Zur Klebstoffherstellung wird das Pulver in Wasser gelöst und mit Calciumhydroxid versetzt. Blutalbuminklebstoffe unterliegen starken Qualitätsschwankungen und werden nur noch äußerst selten verwendet (Zeppenfeld und Grunwald 2005).

2.3 Bindemittel auf pflanzlicher Kohlenhydratbasis

2.3.1 Stärkeklebstoffe

Stärke ist ein Polysaccharid auf Basis von 1,4- α -D-glukosidisch gebundener Glukose und besteht aus dem hochmolekular aufgebauten Amylopektin (etwa 70% der Stärke) und der heißwasserlöslichen Amylose (der Inhaltssubstanz der Stärkekörner). Stärkeprodukte aus Kartoffeln, Mais, Getreide sind die Ausgangsprodukte für den Klebstoff. Da die native Stärke in kaltem Wasser nicht löslich ist, wird sie bei erhöhter Temperatur von ca. 65°C, der so genannten Verkleisterungstemperatur, in eine lösliche Form (Stärkekleister) übergeführt. Für die Herstellung länger beständiger Klebstoffe wird die Stärke in alkalischem Medium gequollen und anschließend mit Säure neutralisiert. Durch Zugabe von Melaminformaldehyd- oder Harnstoffformaldehydharzen kann eine Verbesserung der Wasserfestigkeit erreicht werden. Die Abbindezeit des Stärkeklebstoffes variiert je nach Auftragsmenge, Saugfähigkeit und Feuchte der Fügeteile zwischen einigen Sekunden, bei erhöhter Temperatur, bis wenige Minuten. Ihre Anwendung finden Stärkekleister beim Kleben von Papier und

Pappe, in der Buchbinderei und in der Etikettierung (Habenicht 1997; Zeppenfeld und Grunwald 2005).

Der Einsatz in der Holzindustrie spielt nur eine untergeordnete Rolle. Schmidt (2001) erwähnt, dass Stärke als Bindemittel in der Holzwerkstoffindustrie für die Erzeugung von Dämmplatten eingesetzt wird. Zeppenfeld und Grunwald (2005) beschreiben, dass die Verwendung als teilweiser Ersatz von Tannin-Klebstoffen oder UF-Klebstoffen über das Versuchsstadium noch nicht hinausgekommen ist.

2.3.2 Dextrinklebstoffe

Dextrine sind abgebaute Stärken, die durch Hydrolyse mittels wässriger Säure gewonnen werden. Aufgrund der dadurch niedrigeren Molmassen können auch Klebstoffe höherer Konzentration hergestellt werden. Dextrine zeichnen sich durch eine höhere Wasserlöslichkeit aus, ergeben niedrigviskose und konzentrierte Lösungen, besitzen bessere Hafteigenschaften und erzeugen durch Quellspannungen weniger belastende Klebfugen (Zeppenfeld und Grunwald 2005).

3 Spanplatte

3.1 Herstellung

Als Rohstoffe werden Holz, sowohl Nadel- als auch Laubholz, verholzte Einjahrespflanzen (z.B. Bagasse, Stroh, Hanf) und Altholz (Recyclingholz) verwendet, wobei letzteres in jüngster Zeit stark an Bedeutung gewonnen hat, was auf die niedrigeren Preise zurückzuführen ist (Dunky, Niemz 2003). Als Rohstoff dienen Waldholz sowie Sägenebenprodukte (SNP), wie Späne, Hackgut, Spreißel, die bei der Schnittholzerzeugung als Koppelprodukt anfallen. Der Anteil des Waldholzes ist in den letzten Jahren rückläufig, im Gegensatz zum Anteil der SNP, der aufgrund der Kapazitätsausweitungen der Sägeindustrie und dem damit verbundenen Mehrangebot, gestiegen ist. Auch die Verwertung der im Haushaltsmüll vorhandenen Holz- und Papieranteile ist möglich (Dunky, Niemz 2003), wobei aber der Einsatz von Altpapier aufgrund qualitativer Probleme über das Versuchsstadium nicht hinaus kam (Schmidt 2001).

Die Rohstofflagerung erfolgt entweder in Hallen, Silos oder im Freien. Das Waldindustrieholz wird auf Trommel- oder Scheibenhacker oder seltener auch

auf Messerwellenzerspaner zu Hackschnitzel verarbeitet. Das zum Teil sperrige Recyclingholz wird, wenn nötig auf Großbrecheranlagen aufbereitet und anschließend meist in so genannten Prallhammermühlen zerkleinert. Bei Hackgut aus der Sägeindustrie erfolgt die Aufbereitung in Messerringzerspanern. Das durch verschiedene Verfahren erzeugte Spangut wird durch Mühlen nachzerkleinert um es in Länge und Breite richtig zu dimensionieren (Deppe, Ernst 2000).

Anschließend werden die Späne auf die für die Verklebung erforderliche Sollfeuchte von $\omega = 1\%$ bis 6% in direkt (Einwegtrommeltrockner) oder indirekt (Rohrebündeltrockner) beheizten Trocknern gebracht (Deppe, Ernst 2000; Dunky, Niemz 2003). Bei den direkt beheizten werden die Rauchgase durch den Trockner geleitet und kommen mit dem Spangut in Berührung, während bei den indirekt beheizten das Spangut mit den Rauchgasen nicht in Berührung kommt, sondern über heißwasser- bzw. dampfbeheizte Kontaktflächen getrocknet wird. Transportmedium für die Späne ist bei allen Trocknertypen erwärmte Luft, die neben Feinstaub, Holzextraktstoffe auch Abbauprodukte wie Ameisen- und Essigsäure und Formaldehyd enthält. Als umfangreiche Abgasreinigungsanlagen werden Elektronassfilter, Gewebefilter oder thermische Abluftreinigungssysteme eingesetzt (Schmidt 2001).

Die nachfolgende Sortierung der Späne dient der Entfernung von Grob- und Feinanteilen und der Aufteilung in grobe (Mittelschichtspäne) und feine (Deckschichtspäne) Fraktionen. Das Sortieren erfolgt entweder durch Sieben (Plan- und Wurfsiebung, Taumelsieb, Scheibensieb) oder durch Sichten im Luftstrom, wobei die Späne durch unterschiedliche Schwebegeschwindigkeiten im aufsteigenden Luftstrom getrennt werden (Dunky, Niemz 2003).

Die getrockneten und fraktionierten Späne werden in Beleimmischern meist getrennt nach Deck- und Mittelschicht beleimt. Zwei verschiedene Beleimsysteme, (i) die Innenbeleimung, auf dem Zentrifugalprinzip basierend, bei der die Leimzugabe über eine Hohlwelle in einem schnell laufenden Ringmischer erfolgt, oder die (ii) Außenbeleimung, bei der der Klebstoff von außen in einen schnell laufenden Ringmischer über Düsen versprüht wird, sind bekannt. Der Leim muss möglichst gleichmäßig auf die relativ große spezifische Oberfläche der Späne aufgebracht werden, wobei folgendes beachtet werden sollte: Bei gleicher Festharzdosierung sinkt mit abnehmender Spangröße die Menge des aufgetragenen Klebstoffes je m^2 Spanoberfläche außerdem wird Feingut bezogen auf die Masse stark überbeleimt (Dunky, Niemz 2003). Die wichtigsten in der Spanplattenindustrie verwendeten Harze werden in Kapitel 4 näher dargestellt.

Die beleimten Späne werden mit Hilfe von Streueinrichtungen gleichmäßig auf ein laufendes Transportband gestreut und somit entsteht ein kontinuierliches

Spänevlies. Da die Festigkeitseigenschaften von Spanplatten in erheblichem Maße durch ihre Dichte bestimmt werden, ist eine Spänestreuung mit möglichst geringer Schwankung in der Flächengewichtsverteilung Voraussetzung für gleichmäßige Festigkeitswerte des Holzwerkstoffes. Bei der konventionellen Plattenfertigung unterscheidet man zwischen Wind- und Wurfstreusystemen. Beim Windstreusystem erfolgt beim Ablegen der Späne eine Separierung durch Luftwirkung, während man bei der Wurfstreuung die Späne durch Auflösewalzen mehr oder weniger separiert. Die Separierung bei der Streuung dient dem Zweck, einen stufenlosen Aufbau in der Platte zu erreichen, das heißt, die feinen Späne an der Oberfläche des Vlieses abzulegen, während die innere Schicht aus größerem Material gebildet wird (Deppe, Ernst 2000).

Nach der Vliesbildung kommt es zur Verpressung des Spänekuchens, wobei zuerst meist eine kalte Vorverdichtung, um eine gewisse Mindestfestigkeit des Spanvlieses zu erreichen, stattfindet und dann der vorverdichtete Spänekuchen der Heißpressanlage zugeführt wird. Ihre Anwendung finden in der Plattenindustrie sowohl taktweise arbeitende Ein- bzw. Mehretagenpressen als auch kontinuierliche Durchlaufpressen, welche aufgrund von Produktivitätsvorteilen am häufigsten eingesetzt werden. Durch den Heißpressvorgang wird das Bindemittel ausgehärtet und auch viele spätere Platteneigenschaften beeinflusst. Dies gilt insbesondere für das so genannte Rohdichteprofil und damit für das Verhältnis von Biege- zu Querkzugfestigkeit. Durch Wahl des Bindemittels oder durch Variation von Vliesfeuchte, Schließgeschwindigkeit der Presse, Pressdruck, Presstemperatur und Partikelgeometrie können verschiedenste Plattenqualitäten erzielt werden (Dunky, Niemz 2003; Deppe, Ernst 2000).

Die noch heißen Platten, deren Temperatur nach dem Pressen über 100°C beträgt, werden anschließend in Kühlsternen auf ca. 70°C gekühlt, in Schleifanlagen auf die Nenndicke kalibriert und mehrere Tage konditioniert. Vor allem bei Harnstoffharzverleimung ist eine Kühlung notwendig, da eine länger einwirkende Temperatur vor allem über 70°C, verbunden mit einer bestimmten Feuchte, zur Hydrolyse und damit zu erheblichen Festigkeitsverlust führt. Bei PF-verleimten Platten wird dagegen auf das Kühlen verzichtet, da durch die Lagerung bei erhöhter Temperatur ein Vergütungseffekt durch das Nachhärten der Harze erzielt wird. Danach werden die Platten besäumt, geschliffen, sortiert, in Fixmaße oder auftragsbezogen aufgetrennt und eventuell noch oberflächenbehandelt (Dunky, Niemz 2003; Deppe, Ernst 2000).

Eine schematische Darstellung des oben beschriebenen Prozesses zur Erzeugung von Spanplatten zeigt Abbildung 1.

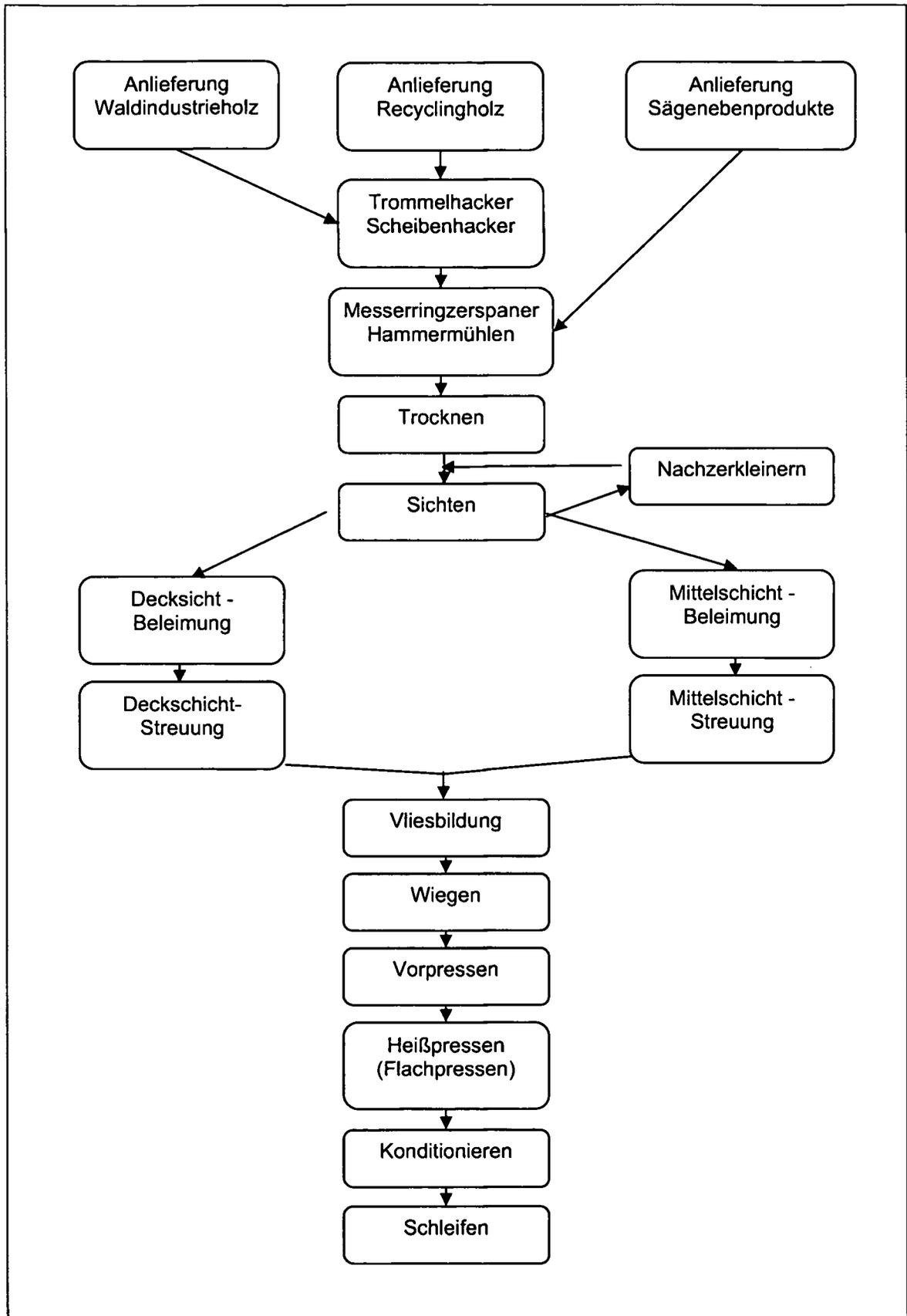


Abbildung 1: Fertigungsablauf der Spanplattenherstellung (Quelle: Dunky, Niemz 2003; Schmidt 2001)

3.2 Marktwirtschaftliche Aspekte

In Österreich produzierten 11 Betriebe 2,38 Mio. m³ Spanplatten im Jahre 2002 und erwirtschafteten dabei einen Produktionswert von 608 Mio. €. Insgesamt hält die Spanplattenindustrie einen Anteil von ca. 70% am Produktionswert des gesamten Plattenmarktes. Der Import der Spanplatten beträgt ca. 15% der im Inland produzierten Menge, wobei der Löwenanteil aus Deutschland (ca. 56%) stammt (Schwarzbauer 2007).

Schwarzbauer (2007) gibt grobe Schätzungen über den Einsatz von Spanplatten aus dem Jahr 1990 an. Demnach gehen 28% in die Bauwirtschaft, 52% in die Möbelindustrie und 20% werden für Verpackung verwendet. In der Möbelindustrie wurde in den letzten Jahrzehnten das Schnittholz durch den Einsatz der Spanplatte verdrängt, in letzter Zeit kommt es jedoch wieder zu einer Resubstituierung der Spanplatte, allerdings größtenteils aufgrund der Verwendung von Massivholzplatten.

Innerhalb Europas stellt die österreichische Span- und Faserplattenindustrie die führenden Unternehmen. Im Jahr 2005 wurden in Österreich 2,4% der weltweit erzeugten Spanplatten hergestellt. Im selben Jahr produzierten die Länder Europas (exklusive GUS) 3,9 Mio. m³ Spanplatten (Schwarzbauer 2007).

4 Leime

4.1 Synthetische organische Bindemittel in der Holzwerkstoffindustrie

Der Einsatz von Bindemitteln ist abhängig von den Anforderungen die an den jeweiligen Holzwerkstoff gestellt werden. Die Eigenschaften der Holzwerkstoffe hängen von der eingesetzten Holzart, dem Herstellungsverfahren und dem verwendeten Bindemittel ab. Zur Herstellung von Holzspanplatten werden aus Kostengründen fast ausschließlich Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoffe (UF) verwendet. Außer den geringen Kosten beschreiben Zeppenfeld und Grunwald (2005) noch weitere wichtige Vorteile, wie schnelles Härten, hohe Trockenbindefestigkeit, relativ gute und farblose Klebefuge sowie die Verträglichkeit mit Füll- und Streckmitteln, weshalb die UF-Klebstoffe den Löwenanteil in der Herstellung von Spanplatten halten. Die geringe Wasser- bzw. Feuchtebeständigkeit stellt allerdings einen erheblichen Nachteil dieser Leime dar. Für den Einsatz von Platten im Bauwesen und hier vor allem bei Außenanwendungen gilt eine hohe Feuchtebeständigkeit als Voraussetzung. Zur Verbesserung derselben werden Melamin-Formaldehyd-Harze (MUF) oder Melamin-Harnstoff-Phenol-Formaldehyd-Harze (MUPF) verwendet, die durch

Beimischung von Melamin zu den UF-Harzen erzeugt werden. MUF-Harze sind wesentlich teurer, weshalb der Melamingehalt auf ein möglichst niedriges Maß reduziert wird (Schmidt 2001). Die Herstellung und Verwendung von UF- und MUF-Harz wird in Kapitel 4.3 näher beschrieben.

Eine weitere Möglichkeit Spanplatten mit hoher Feuchtebeständigkeit zu erzeugen, stellen Phenol-Formaldehyd-Harze (PF) dar, die in der Spanplattenverleimung von großer Bedeutung sind. Die Kondensation des Phenols mit Formaldehyd wird in Gegenwart von Natriumhydroxid (NaOH) durchgeführt (Deppe, Ernst 2000). Der in der Vergangenheit sich nachteilig auswirkende hohe Alkaligehalt wurde durch die Entwicklung von alkaliarmen Phenol-Formaldehyd-Harzen insbesondere in der Deckschichtverleimung weitgehend kompensiert. PF-Harze sind jedoch wesentlich teurer als UF-Harze, benötigen wesentlich längere Presszeit, haben eine dunkle Farbe und können Ursache für eventuell auftretende Fehlverleimungen bei späterer Oberflächenbeschichtung sein (Schmidt 2001).

Neben den oben genannten finden organische Isocyanate seit 1973 als Bindemittel für feuchtebeständige Verleimung in der Spanplattenindustrie ihre Anwendung. Das für die Spanplattenerzeugung hauptsächlich eingesetzte PMDI (polymeres Diphenylmethan-diisocyanat) ist kein Kleber im üblichen Sinn, da es nur eine geringe Eigenklebrigkeit besitzt. Die Entstehung der Spänebindung kann man sich daher als chemische Bindung zwischen dem Isocyanat und dem Holz (Zellulose und Lignin) vorstellen. Durch das Entstehen von chemischen Hauptvalenzkräften wird die besonders feste Verklebung mit Isocyanat verständlich. Ein verarbeitungstechnischer Nachteil besteht aber in der großen Klebeneigung zu Metall, weshalb die mit PMDI verleimten Platten an den Pressblechen und -bändern haften bleiben. Um dies zu vermeiden werden entweder spezielle Trennmittel verwendet oder die äußeren Deckschichten mit konventionellen (UF) Klebstoffen verleimt (Deppe, Ernst 2000).

Tabelle 1: Einsatz von synthetischen, organischen Bindemitteln bei Spanplatten (nach Schmidt 2000)

Holzwerkstoff	Bindemittel	Einsatzzweck
Spanplatte	UF-Harz	Möbel- und Innenausbau
	PF-Harz	Möbel- und Innenausbau
	PF-Harz	Bauwesen, Feuchteraumbeständigkeit
	PMDI	Möbel- und Innenausbau
	PMDI	Bauwesen, Feuchteraumbeständigkeit
	MUF-Harz	Bauwesen, Feuchteraumbeständigkeit
	MUPF-Harz	Bauwesen, Feuchteraumbeständigkeit

4.2 Knochenleim

4.2.1 Geschichtliche Entwicklung

Das erste Vorkommen eines tierischen Leimes lässt sich bei den altägyptischen Tischlern nachweisen, wobei Haut- bzw. Lederleim und Kaseinleim die beiden uralten Leimarten darstellen und Knochen-, Blut- und Stärkeleim erst später ihre Bedeutung fanden. In zahlreichen Grabmälern wurden neben kunstvollen Möbeln auch Bilder von Tischlerwerkstätten, den Leim betreffende Inschriften und auch Leimreste gefunden, die über Anwendung und Herstellung des Leimes Aufschluss geben. Es wurden einige Wandgemälde, so zum Beispiel jenes im Grab des Präfekten Rekhmara von Theben aus der 18. Dynastie (um 1475 v. Chr.), entdeckt, die eine ausführliche Wiedergabe des Verleim- und Furniervorganges darstellen (Greber 2003).

Ob die Griechen, die den Leim schon in der Frühzeit nutzten, den Leim selbst entdeckten, oder was wahrscheinlicher ist, von den Ägyptern kennen gelernt hatten, ist nicht sicher belegt. Bereits der Dichter Homer erwähnt die Nutzung des Leimes in Zusammenhang mit dem Schiff, der Tür und dem Wagen. Später berichtet der griechische Philosoph Theophrast (371-286 v. Chr.) in seiner „Geschichte der Gewächse“ über die Holzverleimung (Greber 2003).

Nach der Eroberung Griechenlands durch die Römer nutzten auch diese dieselben Leimarten wie die Griechen, wobei die beiden Kulturvölker den Kaseinleim noch nicht kannten. Plinius der Ältere, er kam 79 n. Chr. beim Ausbruch des Vesuvs ums Leben, gibt in seiner „Naturgeschichte“ Auskunft über der Verwendung und Haltekraft der tierischen Leime (Greber 2003).

Die mittelalterliche Handschrift „Abriss verschiedener Künste“ des Benediktinermönchs Theophilus aus dem 10. Jahrhundert enthält auch Rezepte zur Herstellung verschiedener tierischer Leime. Nach diesen beschriebenen Verfahren wird im Grunde genommen heute noch gearbeitet (Greber 2003).

Der Physiker Denis Papin (1647-1710) hat 1680 gezeigt, wie man Leim aus Knochen, die unter Dampfdruck gekocht werden, gewinnen kann. Chaugeux erkannte 1775, dass man Gelatine auch durch Kochen des Knochenmehls erhält, ohne das Papinsche Dampfverfahren anzuwenden. Unter Jean d'Arcet (1777-1844) erfuhr die Knochenleimbereitung eine verbesserte Form, indem den Knochen durch Salzsäure die erdigen Bestandteile entzogen und die übrig gebliebenen Knorpel mit Wasser zu Leim aufgelöst wurden. Die Erfindungen häuften sich und zur Zeit Liebig's (1803-1873) begann die Wissenschaft in den Leimsiedereien einzuziehen und die Arbeitsmethoden wurden wesentlich verbessert. Mitte des 19. Jahrhunderts wurden die vielen kleinen Leimsiedereien von großen rationellen Leimfabriken abgelöst (Greber 2003).

4.2.2 Chemischer Aufbau

Knochenleim ist ein Klebstoff, der aus tierischen Knochen durch milde Hydrolyse hergestellt wird und zählt zu den Glutinklebstoffen (Zeppenfeld, Grunwal 2005). Dieser Eiweißklebstoff ist im Prinzip nichts anderes als Gelatine, wie sie heutzutage großtechnisch in der Nahrungsmittelindustrie wenn auch in reinerer Form eingesetzt wird. Ausgangsstoff für die Herstellung von Glutinklebstoff (Gelatine) ist das hochmolekulare Gerüstprotein Kollagen, das mengenmäßig zu den am weitesten verbreiteten Proteinen des Organismus der Wirbeltiere gehört. Kollagene sind in allen Binde und Stützgeweben weit verbreitet und ihre wesentliche Funktion liegt darin, Geweben und Organen mechanische Stabilität zu verleihen. Dies geschieht vor allem durch die Fibrillen-bildenden Kollagene mit den Haupttypen Kollagene I, II, III, die 90% aller Körperkollagen ausmachen (Kisters 2001; Löffler 2003)

Kollagen weist, wie in

Abbildung 2 schematisch gezeigt wird, eine primäre, sekundäre, tertiäre, quartäre Struktur auf.

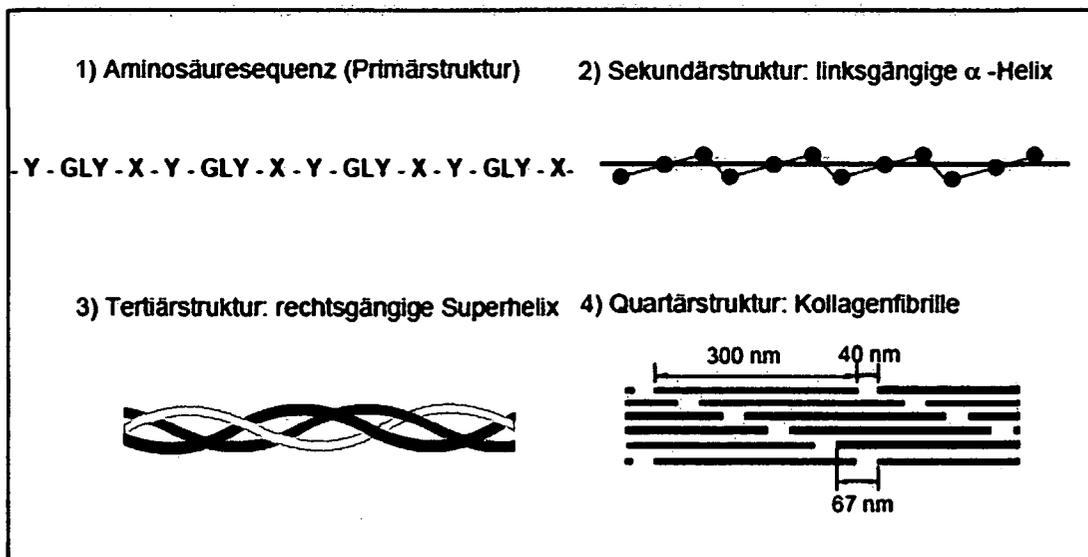


Abbildung 2: Schematische Darstellung der verschiedenen Strukturmerkmale des Kollagens (Quelle: Kisters 2001)

Primärstruktur: Mit dem Ausdruck Primärstruktur bezeichnet man die Aminosäuresequenz des Proteins. Proteine und Peptide sind kettenförmige Moleküle, in denen die 21 proteinogenen Aminosäuren über Peptidbindungen (-NH-CO-) in jeweils spezifischer Sequenz miteinander verknüpft sind. Die verschiedenen Kollagentypen unterscheiden sich grundsätzlich nur in ihrer Primärstruktur, das heißt im Aufbau der Polypeptidkette, die aus ca. 1500

Aminosäuren besteht. Fast über die gesamte Polypeptidkette stellt Glycin jede dritte Aminosäure dar, weshalb Kollagen auch als Polymer von Tripeptideinheiten mit der $(\text{Gly-X-Y})_n$ bezeichnet werden kann. Da Glycin keine Seitenketten besitzt, ist diese Anordnung eine wichtige Voraussetzung für die Helixbildung. Die Aminosäure in der X-Position ist meist Prolin, die dritte Aminosäure in Y-Position häufig Hydroxyprolin. Diese beiden sind verantwortlich für die Bildung einer linksgängigen α -Helix (Sekundärstruktur), da sie die Beweglichkeit des Peptidfadens stark einschränken, weil aufgrund ihrer Struktur keine Drehbarkeit der Bindung zwischen dem α -C-Atom und der α -Aminogruppe mehr möglich ist (Kisters 2001; Löffler 2003; Schrieber, Gareis 2007).

Sekundärstruktur: Die Helixbildung des Peptidfadens wird durch intramolekulare Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Carbonyl-Atomen und den übernächsten Aminogruppen stabilisiert. Dabei liegen die Wasserstoffbrückenbindungen parallel zur Helix-Achse (Kisters 2001).

Tertiärstruktur: Je drei linksgängige α -Kollagenhelices verdrillen sich intramolekular über Wasserstoffbrücken zu einer Superhelix oder Trippelhelix um eine starre seilähnliche Struktur zu bilden. Diese strukturelle Grundeinheit des Kollagens weist eine Länge von ca. 300nm und einen Durchmesser von ca. 1,5 nm auf (Kisters 2001; Löffler 2003; Schrieber, Gareis 2007).

Quartärstruktur: Durch elektrostatische Anziehung und covalente Vernetzung von meist fünf Kollagentripelhelices entstehen die so genannten kollagenen Mikrofibrillen.

4.2.3 Eigenschaften und Anwendung

Durch Hydrolyse des Kollagens besitzen Glutinleime eine relativ breite Molmassenverteilung von niedermolekularen bis zu sehr hochmolekularen, gerade noch kolloidal löslichen Peptiden. Je nach Hydrolysegrad schwankt die mittlere Molmasse zwischen 20 000 und 200 000 g/mol. Gareis und Schrieber (2007) geben eine Molmassenverteilung von 10 000 bis 400 000 g/mol an. Diese Werte, abhängig vom Ausgangsmaterial, sind verglichen mit anderen Klebstoffen sehr hoch und basieren auf der spiralförmigen Helixstruktur der Gewebeweisse, die in den Hydrolyseprodukten noch enthalten sind. Diese Grundstruktur bewirkt ebenfalls die gute Elastizität und Festigkeit der Klebefuge (Zeppenfeld und Grunwald 2005).

Glutinklebstoffe, die meist in Perlform oder Tafeln vorliegen, bilden beim Erwärmen mit Wasser eine „ideale kolloidale Lösung“ (Hydrokolloid), die so genannte Sole. Aufgrund ihrer physikalischen Struktur sind sie in der Lage, beim Abkühlen, auch in hoher Verdünnung, in feste, gallert- oder pastenförmige Gele überzugehen. Der Übergang der Glutinklebstoffe vom Sol- in den Gelzustand beim Abkühlen verursacht auch das relativ schnelle Abbinden der Klebstoffe. Dieser temperaturabhängige Sol-Gel-Übergang ist reversibel, wodurch die Leimfugen bei höherer Temperatur wieder gelöst werden können. Der Gelzustand ist dadurch gekennzeichnet, dass die Gelteilchen durch lockere physikalische Wechselwirkungskräfte zu einer Netz- oder Wabenstruktur zusammentreten und dabei große Mengen an Dispersionsmitteln einschließen. Eiweiße können schon bei sehr geringem Feststoffgehalt, etwa ab 1%, Gele bilden. Das Abbinden der Glutinklebstoffe erfolgt durch Diffusion des Wassers in das Holz oder die Umgebung. Die Klebstoffschicht konzentriert sich, die Gelteilchen nähern sich immer stärker an, binden sich fest aneinander und bilden zum Teil unter erheblichem Schwinden eine hochfeste Klebefuge aus (Zeppenfeld und Grunwald 2005; Schrieber und Gareis 2007).

Man unterscheidet zwischen kalt abbindenden, warm abbindenden und heißhärtenden Glutinklebstoffe. Wird dem Glutin Verflüssigungsmittel (Harnstoff, Salze) zugesetzt, erhält man Glutinklebstoffe, die unterhalb der Raumtemperatur zur Gelbildung neigen. Sie binden innerhalb von sechs Stunden ab. Heißhärtende Klebstoffe erhält man durch Zugabe von Formaldehyd, wodurch die Aminogruppen der Glutine unter Hitze Vernetzungen eingehen. Die direkte Zugabe von Formaldehyd reduziert allerdings die Gebrauchsdauer, weshalb meist Paraformaldehyd oder Hexamethylentetramin als Härter dienen, die erst allmählich beziehungsweise bei Erhitzen Formaldehyd abgeben. Grundsätzlich werden Glutinklebstoffe als Warmleime verwendet. Das Pulver, die Tafeln oder die Perlen werden bei Raumtemperatur in Wasser gequollen und das so erhaltene Gel in einem Wasserbad bei ca. 60°C geschmolzen. Die Fügebauteile sollten vorgewärmt sein, um ein vorzeitiges Gelieren zu verhindern, und die Holzfeuchtigkeit ca. 4- 10% betragen. Der Sol-Gel-Übergang, also das Abbinden des Klebstoffes, tritt zwischen 20°C und 40°C ein (Zeppenfeld und Grunwald 2005).

Glutine sind in getrocknetem Zustand gegenüber Wasser nicht beständig. Sie nehmen Wasser auf, quellen und verlieren dadurch schrittweise ihre Festigkeit. Werden die Klebefugen für längere Zeit einem Feuchtklima ausgesetzt, so sinkt die Festigkeit durch Quellen auf 15 bis 25% der Trockenbindefestigkeit ab. Bei einer eintägigen Lagerung im kalten Wasser löst sich die Klebefuge auf. Werden bei der Verarbeitung die Glutinklebstoffe zu lange auf höhere Temperatur erhitzt, entstehen, aufgrund der hohen Hydrolyseempfindlichkeit,

niedermolekulare Peptide und die Festigkeit sinkt ab (Zeppenfeld und Grunwald 2005).

Seine Verwendung fand der Knochenleim vor allem im Möbelbau. Fast alle Möbel des 19. Jahrhunderts sind mit Knochenleim zusammengefügt und auch noch bis Mitte des 20. Jahrhunderts fand der Knochenleim im Möbelbau eine breite Anwendung, bis er allmählich von den Kunstharzen abgelöst wurde. Dennoch werden Glutinleime auch heute noch von Tischlern verwendet und dies nicht nur aus Gewohnheit, sondern durchaus auch aufgrund von einigen Vorteilen, die die Glutinleime aufweisen. Hierzu zählen unter anderem die leichte Abwandlung durch Gerben (Härten) oder Weichmachen, die einfache Verarbeitung, die neutrale Eigenschaft, dass gerbsäurereiche Hölzer nicht verfärben, die leichte Beseitigung von Furnierfehlern, Auswaschen des Leimdurchschlages und vieles mehr (Spannagel 1983). Neben dem Möbelbau liegt das Haupteinsatzgebiet der Glutinleime in der Papierverklebung, Restauration und im Instrumentenbau. Knochenleim findet weiters mannigfache Anwendung als Klebstoff für Filz und Stoff, für Gummierungen und Beschichtungen, als Hülsenkleber in der Kartonagenindustrie, in der Buchbinderei, für Vergoldungen, zum Leimen von Farbpigmenten und vieles mehr, sowie aufgrund seiner hohen Schutzkolloidwirkung zur Herstellung von Textil- und Färbereihilfsmitteln, Emulsionen und als Glanzmittel in galvanischen Bädern und vieles mehr (Zeppenfeld und Grunwald 2005).

4.2.4 Herstellung

Gelatine, dazu zählen unter anderem auch die Glutinklebstoffe, wird heute je nach Ausgangsmaterial und Anwendungsgebiet nach unterschiedlich modifizierten Verfahren großtechnisch in Fabriken hergestellt. Als Rohmaterialien dienen aufgrund der guten Verfügbarkeit und der gleich bleibenden Qualität vorwiegend Schweineschwarten, Rinderspalt (Mittelschicht der Rinderhaut) oder Knochen, die in Schlachthöfen, Zerlegebetrieben oder Fleischwarenfabriken anfallen. Andere Ausgangsmaterialien von Fischen oder Geflügel sind relativ neu und noch nicht ausreichend erforscht und bedienen daher höchstens Nischenmärkte (Schrieber, Gareis 2007).

Knochen als Ausgangsprodukt

Für Knochenleim, dessen Anwendung bei dieser Diplomarbeit untersucht wurde, werden ausschließlich Knochen von Schweinen und Rindern verwendet. Zur Herstellung dieses Glutinklebstoffes wird das Knochenmaterial schonend zu

ca. 0,5 cm großen Würfeln gehackt und entfettet, indem es mit heißem Wasser (85 – 90°C) unter mechanischer Beanspruchung gewaschen wird. Dadurch entfernt man auch eventuell anhaftende Fleisch- oder Knochenhautreste. Nach diesem Prozess werden die gehackten und gewaschenen Knochen (Knochenschrot) mit heißer Luft in kontinuierlichen Trocknern getrocknet, gesiebt und nach der Korngröße fraktioniert.

Durch diesen Prozess entstehen als Nebenprodukte Fett, welches in der chemischen Industrie und in manchen Ländern als Tierfuttermittel verwendet wird, Fleisch und Knochenmehl, das als Düngemittel Verwendung findet (Schrieber, Gareis 2007).

Entmineralisierung

Der Knochenschrot wird nun weiter mit verdünnter Salzsäure (4 bis 6%) in einem Gegenstromprozess in mehreren hintereinander geschalteten Tanks für ca. eine Woche bei 10 bis 20°C behandelt. Dadurch werden die Calciumphosphate und Calciumcarbonate, welche in den Knochen gebunden sind, gelöst und später ausgefällt. Nach der kompletten Entmineralisierung liegt nur mehr das Proteingerüst Kollagen vor. Dieser entmineralisierte Knochenschrot wird auch als „Ossein“ bezeichnet, abgeleitet von „os“ für Knochen und „ein“ für Protein (Schrieber, Gareis 2007).

Alkalisches Verfahren

Grundsätzlich kann das Kollagen, welches in Knochen enthalten ist, auch durch langsames Kochen mit heißem Wasser gelöst werden, wie es seit Jahrhunderten gemacht wurde. Jedoch nimmt diese Methode eine längere Zeit in Anspruch, da sich die intramolekularen Quervernetzungen zwischen den einzelnen Tropokollagenmolekülen und die Peptidbindung in den α -Ketten des Kollagens auch in kochendem Wasser nur schwer und langsam spalten lassen. Außerdem führt eine längere Behandlung des Knochenmaterials bei höherer Temperatur zu einer negativen Beeinflussung der Qualität. Daher ist es notwendig das Rohmaterial chemisch zu behandeln um das Kollagen zu lösen und eine möglichst hohe Qualität zu erhalten. Für die partielle Hydrolyse des Kollagens werden hauptsächlich der alkalische und der saure Aufschluss angewendet, wobei Knochen als Rohmaterial meist mit dem alkalischen Verfahren behandelt werden.

Der Knochenschrot wird mit Basen in Tanks mit einem Fassungsvermögen bis 125m³ mit oder ohne maschinelles Rühren behandelt. Abhängig von der Konzentration der Basen, der Temperatur und der Intensität des Rührens kann das Verfahren von einigen Tagen, zum Beispiel bei Verwendung einer 1%igen Natriumhydroxidlösung, bis zu vier Monaten, bei Behandlung mit Kalkmilch,

dauern. Am Ende des Verfahrens werden die alkalischen Substanzen ausgewaschen und das behandelte Material durch Zugabe von Säure neutralisiert. Das darin enthaltene Kollagen ist nun in warmem Wasser löslich (Schrieber, Gareis 2007).

Extraktion

Die durch das alkalische Verfahren entstandenen Substanzen werden nun mit warmem Wasser versetzt und die Gelatine wird in einem mehrstufigen Batch-Prozess extrahiert. Die ersten Abzüge, die bei einer Temperatur von etwa 50°C gewonnen werden, ergeben die höchste Gallertfestigkeit der dabei ausgeschmolzenen Gelatine. Diese fällt als etwa 5%ige Lösung an. Das zurückgebliebene Material wird wieder mit Frischwasser höherer Temperatur versetzt und wieder extrahiert. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt bis der letzte Rest der Gelatine bei annähernd Siedetemperatur in Lösung gegangen ist. Die höherwertigen Produkte werden dabei von den ersten Abzügen geliefert (Habenicht 1997; Schrieber, Gareis 2007).

Formgebung

Die wässrigen Auszüge werden gegebenen Falls gebleicht, mit Konservierungsmitteln versetzt und anschließend in Vakuumverdampfern eingedampft. Das Konzentrat wird zu Tafeln ausgegossen (Tafelleim) oder durch Auftropfen auf ein Metallband zu Perlleim verarbeitet. Durch Mahlen kann aus beiden Sorten auch Pulverleim hergestellt werden (Zeppenfeld und Grunwald 2005).

4.3 Melamin-Harnstoff-Formaldehyd

Melamin-Harnstoff-Formaldehyd (MUF) ist ein duroplastischer Klebstoff und gehört zur Gruppe der Formaldehyd-Kondensationsharze, welche durch Reaktion von Formaldehyd mit Verbindungen wie Harnstoff, Melamin, Phenol oder Resorcin sowie aus Kombinationen dieser Verbindungen entstehen. Kondensationsharze liegen in Verarbeitungsform in linearen oder verzweigten Molekülen vor, die beim Aushärtungsprozess ein unlösliches und unschmelzbares dreidimensionales Netzwerk bilden. Sie sind keine stabilen Verbindungen und daher nicht dauerhaft lagerfähig, da sie während der Lagerung langsam weiter reagieren. So weisen etwa MUF-Leime, abhängig von Formaldehydgehalt und Kondensationsgrad eine 1- bis 2-monatige Lagerfähigkeit auf. (Dunky, Niemz 2003)

Die Harnstoff-Formaldehyd-(UF-)Harze stellen aufgrund der preisgünstigen Herstellung und anderer zahlreicher Vorteile die wichtigste Gruppe für die Holzwerkstoffindustrie dar. Jedoch beschreiben Dunky und Niemz 2003 auch drei entscheidende Nachteile:

- Die Empfindlichkeit gegen Einwirkung von Feuchtigkeit und Wasser. Abhilfe wird durch Einbau von Melamin und teilweise Phenol in das UF-Harz geschaffen.
- Abspaltung von Formaldehyd während der Verarbeitung. Dieses Problem wurde durch Absenkung des Molverhältnisses Harnstoff zu Formaldehyd gelöst.
- Auch an der nachträglichen Formaldehydabgabe wurde seit Ende der 70er-Jahre intensiv gearbeitet und ist im Wesentlichen durch die oben erwähnte Maßnahme gelöst.

4.3.1 Herstellung

MUF-Klebstoffe sind chemisch ähnlich aufgebaut wie die UF-Harze. Beiden Verbindungen ist gemeinsam, dass in ihnen die Aminogruppe ($-NH_2$) entweder in Form der Aminbindung ($R-NH_2$) oder der Amidbindung ($R-CO-NH_2$) enthalten ist. Hieraus leitet sich für Kondensationsprodukte mit Formaldehyd bei diesen Verbindungen die Bezeichnung „Aminoplaste“ ab (Habenicht 1997).

Sie entstehen durch Polykondensation eines zusätzlichen aminogruppenhaltigen Monomers des Melamins mit Formaldehyd. MUF-Harze können prinzipiell nach zwei verschiedenen Verfahren hergestellt werden, wie Zeppenfeld und Grunwald (2005) beschreiben. Entweder durch separate Herstellung des UF- und des Melamin-Formaldehyd (MF)-Anteils und anschließende Mischung oder durch Cokondensation von Melamin, Harnstoff und Formaldehyd.

Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoffe

Die Methylolierung von Harnstoff (Reaktion des Formaldehyds mit dem Harnstoff) und die eigentliche Kondensationsreaktion sind die beiden Hauptreaktionen bei der Herstellung von UF-Leimen. Durch die alkalische Methylolierung bilden sich Mono-, Di- und Trimethylolharnstoffe sowie formaldehydreiche Mehrkernverbindungen, wie in Abbildung 3 zu sehen ist.

basischen Bestandteile des Klebstoffes und setzt dann die Polykondensation durch Freisetzung von H^+ -Ionen wieder in Gang. Der Säurehärter kann der Klebelösung entweder hinzugefügt (Untermischverfahren) oder auf eines der zu verklebenden Füge­teile aufgestrichen (Vorstrichverfahren) werden (Dunky, Niemz 2002; Habenicht 1997; Zeppenfeld, Grunwald 2005).

Melamin-Harnstoff-Formaldehyd

Reine MF-Systeme werden durch Polykondensation von Melamin und Formaldehyd in wässrigem Medium hergestellt. Nach der Anlagerung des Formaldehyds an die reaktiven Aminogruppen des Melamins (Abbildung 6) setzt sofort die Kondensation der Aminogruppen mit den Methylgruppen ein und es bilden sich höhermolekulare, lineare und verzweigte Melamin-Formaldehyd-Kondensate.

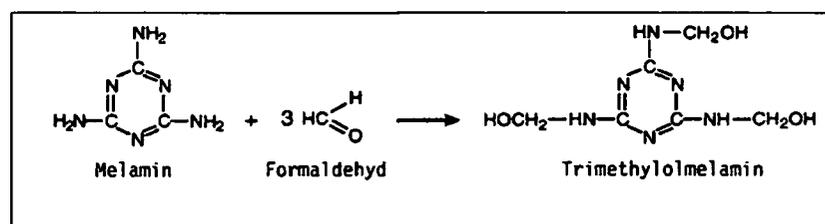


Abbildung 6: Methylierung von Melamin (Quelle: Habenicht 1997)

Ist die gewünschte Viskosität erreicht, wird die Reaktion durch Abkühlung und Änderung des pH-Wertes unterbrochen. Aufgrund der geringen Lagerdauer von wenigen Tagen werden MF-Harze durch Zugabe von Alkohol stabilisiert oder durch Sprühtrocknung in Pulver übergeführt.

Die Cokondensation der MUF-Klebstoffe verläuft chemisch und verfahrenstechnisch analog wie die UF- oder MF-Homokondensation über Methylen- und Methylenether-Verknüpfungen zu hochmolekularen, stark vernetzten, harten und zum Teil spröden Klebschichten. Überdies weisen cokondensierte MUF-Harze deutliche Vorteile gegenüber den gemischten Klebstoffen auf. Die Aushärtereaktion erfolgt wie bei UF-Harzen im sauren Bereich (Habenicht 1997; Zeppenfeld, Grunwald 2005).

4.3.2 Anwendungsgebiet

Das eingesetzte Bindemittel hat einen entscheidenden Einfluss auf die Holzwerkstoffe. Ausgehärtete UF-Harze sind empfindlich gegen Wasser und Feuchtigkeit, da sie aufgrund der umkehrbaren Reaktion zwischen Harnstoff und Formaldehyd nicht hydrolysestabil sind. Aus diesem Grund finden die UF-

Leime eher im Möbelbau und im Innenbereich ihre Anwendung. Durch Zugabe von Melamin wird die beschränkte Hydrolysebeständigkeit verbessert. Reine MF-Harze werden allein schon aus Kostengründen nicht verwendet, finden jedoch als MF-Imprägnierharze für die Herstellung von Klebefilmen für die Oberflächenvergütung von Holzwerkstoffen breite Anwendung.

MUF-Harze sind wesentlich beständiger gegenüber Hydrolyse und Wassereinwirkung und reduzieren somit auch deutlich die Dickenquellung des damit erzeugten Holzwerkstoffes. Aufgrund der guten Feuchtebeständigkeit werden MUF-Leime zur Herstellung von Holzwerkstoffen herangezogen, die im Außenbereich oder in Feuchträumen verwendet werden. Besonders wichtig ist eine geringe Dickenquellung, wenn Platten als Trägermaterial für Laminatfußböden erzeugt werden, zu deren Herstellung meist MUF-Systeme verwendet werden.

MUF-Harze können mit Streck- und Füllmittel gemischt werden, wodurch durch Kombination mit Holzschutzmitteln, pilz- und insektenbeständige Holzwerkstoffe erzeugt werden können. MUF-Klebstoffe besitzen eine hohe Trocken- und gute Nassfestigkeit, sind unbrennbar, ausgehärtet ungiftig und hygienisch unbedenklich und werden in großem Umfang in der Holzwerkstoffindustrie eingesetzt. (Dunky, Niemz 2002; Zeppenfeld, Grunwald 2005)

5 Material und Methode

Eine der Hauptaufgaben der vorliegenden Arbeit war es herauszufinden, ob es überhaupt möglich ist eine Knochenleimgebundene Spanplatte zu erzeugen, und wenn ja, ein geeignetes Verfahren zur Herstellung derselben zu finden. Die Materialien sowie deren Verarbeitung und die Methoden und Verfahren zu einer im Labormaßstab gefertigten Spanplatte sollen hier näher beschrieben werden.

5.1 Allgemeines

Nach mehreren glücklosen Vorversuchen wurde schließlich ein Verfahren entwickelt um Knochenleimgebundene Spanplatten herzustellen. Eine der größten Herausforderungen dieser Arbeit war es die Beleimung der Späne und hier vor allem die gleichmäßige Benetzung der Späne mit dem Klebstoff, in den Griff zu bekommen. Da der flüssige Knochenleim sehr viel Wasser enthält, wie in 5.3.1 beschrieben, wurde durch die Beleimung zu viel Feuchtigkeit eingebracht, wodurch die beleimten Späne eine Holzfeuchte von $\omega = 41\%$ aufwiesen. Bei der Verpressung dieser ersten Platte konnte die zu hohe

Feuchtigkeit nicht entweichen und daher der Knochenleim, der durch Diffusion des Wassers in das Holz und die Umgebung abbindet, nicht aushärten.

Somit musste das Verfahren geändert werden um geeignete Platten herstellen zu können. Die Wassermenge der Leimflotte konnte nicht soweit reduziert werden, um eine für die Verpressung geeignete Feuchtigkeit zu erhalten, weil sonst eine gleichmäßige und ausreichende Benetzung der Späne mit dem Klebstoff nicht erreicht werden konnte. Aus diesem Grund blieb nur mehr die Möglichkeit die Späne nach der Verleimung zu trocknen.

Knochenleim härtet aufgrund des temperaturabhängigen Übergangs vom Sol- in den Gelzustand aus. Die Übergangstemperatur liegt bei Knochenleim bei ca. 60°C. Das heißt, dass der Glutinklebstoff thermoplastische Eigenschaften besitzt, die es erlauben eine bereits ausgehärtete Klebeverbindung zu lösen und anschließend wieder zu verbinden. Von dieser Möglichkeit wurde bei den vorliegenden Versuchen nun Gebrauch gemacht und die beleimten Späne vollständig getrocknet, dann heiß verpresst und abgekühlt und somit die thermoplastischen Eigenschaften des Knochenleims ausgenutzt. Diese neue und in der Spanplattenherstellung ungewöhnliche Methode führte schon zu guten Ergebnissen, doch stellte sich noch heraus, dass es besser sein wird, in den beleimten Spänen eine gewisse Feuchtigkeit beim Pressen zu belassen.

Aufgrund der Laboreinrichtungen war es nur schwer möglich Platten nach industriellen Standards herzustellen. Um die Eigenschaften der biologischen Spanplatte dennoch charakterisieren und vergleichen zu können wurden MUF-gebundene Referenzspanplatten erzeugt. Mit den Referenzproben aus dem in der Industrie durchaus üblichen Leim soll auch gezeigt werden, ob mit den vorhandenen Laboreinrichtungen überhaupt Platten hergestellt werden können, die den industriellen Normen gerecht werden können. Erzeugt wurden Proben mit unterschiedlichen Dichten und Beleimgraden, deren Einfluss untersucht und anschließend die Biegefestigkeit, die Querzugfestigkeit und das Quellverhalten getestet.

In den nächsten Kapiteln werden nun die einzelnen Schritte der Versuche genau beschrieben.

5.2 Späneaufbereitung

Für die Herstellung der Spanplatten wurden Fichtenspäne der Firma Holz-Hahn GesmbH, Rappottenstein verwendet. Da es sich hierbei um völlig herkömmliche, bei der Schnittholzerzeugung anfallende Späne mit unterschiedlichen Spangrößen und unterschiedlichen Anteilen an Grob- und

Feinteilen handelte und die Späne eine relativ hohe Feuchtigkeit aufwiesen, mussten diese für die Plattenherstellung noch entsprechend behandelt werden.

5.2.1 Trocknung der Späne

Zuerst wurde die Feuchtigkeit der Späne mittels zweier Darrproben und der Formel (1), wobei m_0 die Ausgangsmasse und m_u die darrtrockene Masse darstellt, auf $\omega = 71\%$ bestimmt um einen Ausgangswert für die Trocknung zu erhalten.

$$\omega = \frac{m_0 - m_u}{m_u} * 100[\%] \quad (1)$$

Die Trocknung der Späne erfolgte mit einem Darrofen (Verticell) bei 70°C und es sollte eine Holzfeuchte von ca. $\omega = 2\%$ erzielt werden. Auf Aluminiumbleche wurden jeweils Späne mit einer Schichthöhe von ca. 2 bis 3 cm gestreut, was pro Blech ca. 700 g ergab. Um die Trocknung kontrollieren zu können und die gewünschte Endfeuchtigkeit von $\omega = 2\%$ zu erzielen, wurden die Bleche immer wieder aus dem Darrschrank genommen, gewogen und mit der Formel (1) die Holzfeuchte ermittelt.

Für den Term m_0 wurde das Anfangsgewicht, für m_u wurde das momentan gewogene Gewicht eingesetzt, auch wenn die Späne noch nicht vollkommen trocken waren. Die daraus errechnete Holzfeuchte wurde von den anfangs ermittelten 71% subtrahiert und die Differenz entsprach der momentanen Holzfeuchtigkeit der Späne.

Sobald die Späne die gewünschte Holzfeuchte erreicht hatten, wurden diese aus dem Ofen genommen und luftdicht gelagert, um eine Wasseraufnahme aus der Umgebungsluft und den damit verbundenen Feuchtigkeitsanstieg zu verhindern. Die Trocknungszeit betrug ca. 7 Stunden.

5.2.2 Sieben der Späne

Die getrockneten Späne wurden anschließend gesiebt um die Staub- und Grobanteile zu entfernen. Es wurde jedoch keine Fraktionierung in bestimmte Größen vorgenommen und daher wurden nur Platten mit einem einschichtigen Aufbau hergestellt. Die max. Maschenweite des Siebes betrug 8 mm und die min. 0,5 mm. All die dazwischen liegenden Späne wurden für den Versuch verwendet und wieder luftdicht verschlossen.

5.3 Herstellung der Leimflotten

Zur Herstellung der biologischen Spanplatten wurde Knochenleim der Firma Sehestedter-Naturfarben (Sehestedt, Deutschland) verwendet und zur Erzeugung der Referenzspanplatten diente Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Harz (MUF, Prefere 10H117, Dynea Austria GmbH, Krems). Aufgrund der chemisch völlig unterschiedlichen Herkunft der Klebstoffe ist eine für jeden Klebstoff eigene Methode zur Herstellung der Leimflotten und zur Beileimung notwendig.

5.3.1 Knochenleim

Der in trockenen Perlen vorliegende Knochenleim wurde in Wasser, im Mischungsverhältnis 1:2 (d.h. 1/3 Festharz, 2/3 Wasser) mehrere Stunden gequollen, bis die Perlen das Wasser vollständig aufgenommen hatten. Anschließend wurde der Leim im Wasserbad auf 60°C erwärmt, wodurch der Leim flüssig wurde und eine kolloidale Lösung, die so genannte Sole, bildete. Erscheint die Leimmischung zu zähflüssig, kann weiter Wasser hinzugegeben werden, bis man die richtige Viskosität erhält. Diese ist abhängig von der jeweiligen Anwendung und hat grundsätzlich nichts mit der Festigkeit des Harzes zu tun. Im Fall der Herstellung einer Spanplatte hat sich herausgestellt, dass die Leimflotte möglichst dünnflüssig sein soll, um einen Großteil der Späne mit Leim zu benetzen. Es gibt hierfür aber keine genauen Daten, weshalb man sich der richtigen Viskosität erst durch mehrere Versuche nähern musste. Es erschien daher sinnvoll, vorerst eher eine zähflüssige Leimmischung herzustellen und erst durch weitere Zugabe von Wasser die richtige Viskosität einzustellen.

5.3.2 MUF

Zur Erzeugung der Referenzspanplatten wurde ein in der Spanplattenindustrie üblicher Leim, Melamin-Harnstoff-Formaldehyd, verwendet. Für die Aushärtung dieses Polykondensationsproduktes sind zwei verschiedene Komponenten, Härter und Harz notwendig. Die ideale Mischung dieser zwei Komponenten wurde vom Lieferanten angegeben und somit waren hier keine Versuche notwendig um die bestmögliche Leimflotte zu erhalten.

5.4 Beleimung

Die Beleimung der Späne erfolgte in einer speziellen Trommelkonstruktion (siehe Abbildung 7), indem die Leimflotte mit einer Sprühflasche in der Mitte der Trommel eingebracht wurde.



Abbildung 7: Beleimen der Späne

Durch eine ständige, händisch betriebene Rotation der Trommel kam es zu einer guten Durchmischung der Späne und der Leimflotte. Das Drehen der Trommel durfte aber nicht zu schnell erfolgen, da sonst die Späne an den Rand gedrückt wurden und es zu keiner Durchmischung kam. Durch die richtige Wahl der Drehgeschwindigkeit wurden die Späne nicht ständig an die Wand gepresst, sondern fielen kurz unterhalb des höchsten Punktes zu Boden und so entstand ein so genannter Spänefilm, in den der Leim eingesprüht wurde.

Ursprünglich wurde der Leim nicht mit einer Sprühflasche aufgebracht, sondern in kleinen Mengen mit einem Gefäß auf die Späne gegossen und anschließend durch Drehen der Trommel durchmischt. Dieser Vorgang wurde mehrmals wiederholt, führte aber zu einer unzureichenden Beleimung, da es aufgrund dieser Technik zur Bildung von so genannten Leimnestern kam. Das heißt, es entstanden Stellen mit hoher Leimkonzentration, an denen sich Klumpen aus Leim und Späne bildeten, welche auch mit weiterer Rotation des Mixers nicht gelöst werden konnten. Aufgrund dessen wurde ein geringer Teil der Späne vollständig mit Leim getränkt und ein Großteil der Späne erfuhr keine Benetzung mit Leim.

Durch den Einsatz der Sprühflasche konnte die Entstehung der Leimnester verhindert und ein gleichmäßiger Leimauftrag erreicht werden. Da die Viskosität der Glutinklebstoffe bereits bei einem Feststoffgehalt von 50 bis 60% sehr hohe Werte erreicht und Klebstoffe höherer Konzentrationen nicht mehr

verarbeitet werden können (Zeppenfeld, Grunwald, 2005), erschien es sinnvoll die Viskosität möglichst niedrig zu halten. Je dünnflüssiger der Knochenleim vorbereitet wurde, desto feiner wurde dieser mittels Sprühflasche zerstäubt und desto besser erfolgte die Benetzung der Späne. Jedoch sollte die Viskosität auch nicht zu niedrig werden, da sonst der Festharzanteil gegenüber dem Wassergehalt zu gering und der Leimfilm auf den Spänen zu dünn geworden wäre.

5.4.1 Bestimmung der Spanmenge

Aufgrund der Pressenform war eine Plattengröße von 21,3 mal 20,3 cm vorgegeben, die Plattendicke sollte ca. 1,3 cm betragen und es sollten verschiedenen Dichten zwischen 500 kg/m^3 und 800 kg/m^3 erreicht werden. Das Volumen einer Probe betrug demnach gerundet 562 cm^3 , was bei einer vorgegebenen Dichte von zum Beispiel 500 kg/m^3 zu einem Gesamtgewicht von 281 g führte. Von diesem wurde noch das Gewicht der errechneten Leimmenge (Berechnung siehe Kapitel 5.4.2) abgezogen und so erhielt man die benötigte Spanmenge von 234,2 g.

5.4.2 Bestimmung der Leimmenge

Der Leimanteil (Festharzgehalt bezogen auf die Masse der darrtrockenen Späne) sollte jeweils bei beiden Leimarten 10% bzw. 20% betragen. Die benötigte Menge Festharz bei einer Platte mit $\rho=500 \text{ kg/m}^3$ und einem Leimanteil von 20% errechnet sich wie folgt:

$$\text{Festharz} = 281 \times 20/120 = 46,8 \text{ gram} \quad (2)$$

Der Knochenleim liegt in trockenen Perlen, also als Festharz vor, das heißt, das Gewicht der Perlen ist gleich das Gewicht des Festharzes. Die Herstellung der Leimflotte wurde in 5.3.1 beschrieben. Anders ist dies beim MUF-Leim, der ja aus zwei Komponenten, dem MUF-Polykondensat und dem Härter, Ammoniumsulfat, besteht, wodurch der Festharzgehalt der Leimflotte erst bestimmt werden musste.

Der MUF-Klebstoff besteht aus einer wässrigen Flüssigkeit mit einem Feststoffgehalt von 66% und einem Melamingehalt von 23%. Als Härter wurde eine 25%ige Ammoniumsulfatlösung verwendet. Laut Angaben des Herstellers sollte die Leimflotte 3% Ammoniumsulfat bezogen auf den Feststoffgehalt des MUF-Klebstoffes enthalten. Dies wären also bei angenommenen 100 g MUF-

Leim, der 66 g Feststoff enthält, 7,9 g Härterlösung (25%ige Ammoniumsulfatlösung), wie in den Formeln (3) berechnet.

$$\begin{aligned} 100 \text{ g} \times 0,66 &= 66 \text{ g} \\ 66 \text{ g} \times 0,03 &= 1,98 \text{ g} \\ 1,98 \text{ g} \times 0,25 &= 7,9 \text{ g} \end{aligned} \quad (3)$$

Als Feststoffgehalt in der MUF-Leimflotte zählen sowohl das MUF-Harz als auch der Härter, da beide als Feststoff in der fertigen Platte vorliegen und ebenfalls zur Dichte beitragen.

Bei der Verarbeitung von angenommenen 107,9 g Leimflotte (100 g MUF + 7,9 g Härter) wird ein Feststoffgehalt von 67,98 g (66 g MUF + 1,98 g Härter) erreicht. Um den für die Platte ($\rho=500 \text{ kg/m}^3$, 20% Leimanteil) angestrebten Feststoffgehalt von 46,8 g (Formel 2) zu erhalten muss eine Leimflotte mit 74,3 g hergestellt werden, wie in Formel (4) berechnet wird.

$$\begin{aligned} 107,9 : 67,98 &= x : 46,8 \\ x &= 74,3 \text{ g} \end{aligned} \quad (4)$$

Daraus lassen sich weiters die Mengen der beiden Komponenten berechnen, indem mit dem Verhältnis „Feststoffgehalt-soll/Feststoffgehalt-ist“ multipliziert wird. Es werden demnach 68,8 g MUF-Lösung und 5,4 g Härterlösung für die Leimflotte benötigt, wie in den Formeln (5) gezeigt wird.

$$\begin{aligned} \text{MUF} &= 100 \times (46,8/67,98) = 68,8 \text{ g} \\ \text{Härter} &= 7,9 \times (46,8/67,98) = 5,4 \text{ g} \end{aligned} \quad (5)$$

Die berechneten Mengen der Einzelkomponenten einer Platte mit einer Dichte von $\rho= 500 \text{ kg/m}^3$ und einem Leimanteil von 20% werden in Tabelle 2 dargestellt. Daraus kann man schon ablesen, dass bei der knochenverleimten Spanplatte die eingebrachte Wassermenge - bei gleichem Feststoffgehalt - doppelt so groß ist wie bei einer MUF-verleimten Platte. Meist beträgt der Wasseranteil noch ein wenig mehr um bei der Beleimung eine feine Zerstäubung des Harzes durch die Düse des Sprühers zu erreichen, wie in 5.4 beschrieben. Dadurch wird der Feuchtegehalt der beleimten Späne sehr hoch und so lässt sich das in 5.1 beschriebene Problem der zu feuchten Verleimung erklären.

Es wurde nun versucht Platten mit einer Dichte von $\rho= 500 \text{ kg/m}^3$ und $\rho= 700 \text{ kg/m}^3$ und mit einem jeweiligen Leimanteil von 10% bzw. 20% herzustellen. Die Berechnung der einzelnen Leim- und Spanmengen erfolgt analog zu obigem

Beispiel und die berechneten Mengen der einzelnen Komponenten sind in den Tabellen 2 bis 5 aufgelistet.

Tabelle 2: Einzelkomponenten der Platte ($\rho = 500 \text{ kg/m}^3$, Leimanteil = 20%)

Mengen	Knochenplatte	MUF-Platte
Späne	234,2	234,2
Festharz	46,8	46,8
Leimmenge ohne Härter/Wasser	46,8	68,9
Wasser bzw. Härtermenge	93,7	5,4
Leimflotte	140,5	74,3

Tabelle 3: Einzelkomponenten der Platte ($\rho = 500 \text{ kg/m}^3$, Leimanteil = 10%)

Mengen	Knochenplatte	MUF-Platte
Späne	255,5	255,5
Festharz	25,6	25,6
Leimmenge ohne Härter/Wasser	25,6	37,6
Wasser bzw. Härtermenge	51,1	3,0
Leimflotte	76,7	40,6

Tabelle 4: Einzelkomponenten der Platte ($\rho = 700 \text{ kg/m}^3$, Leimanteil = 20%)

Mengen	Knochenplatte	MUF-Platte
Späne	327,9	327,9
Festharz	65,6	65,6
Leimmenge ohne Härter/Wasser	65,6	96,5
Wasser bzw. Härtermenge	131,2	7,6
Leimflotte	196,7	104,1

Tabelle 5: Einzelkomponenten der Platte ($\rho = 700 \text{ kg/m}^3$, Leimanteil = 10%)

Mengen	Knochenplatte	MUF-Platte
Späne	357,7	357,7
Festharz	35,8	35,8
Leimmenge ohne Härter/Wasser	35,8	52,6
Wasser bzw. Härtermenge	71,5	4,2
Leimflotte	107,3	56,8

5.5 Verpressen des Spänekuchens

Die Verpressung der beleimten Späne erfolgte mit der Laborpresse (Arnold), die in Abbildung 8 dargestellt ist. Dazu wurden die Späne in eine Form aus Metall mit den bekannten Abmessungen 21,3 cm mal 20,3 cm gegeben und gegen einen passgenauen Druckschuh nach oben gedrückt, bis die Distanz von 13 mm erreicht wurde.

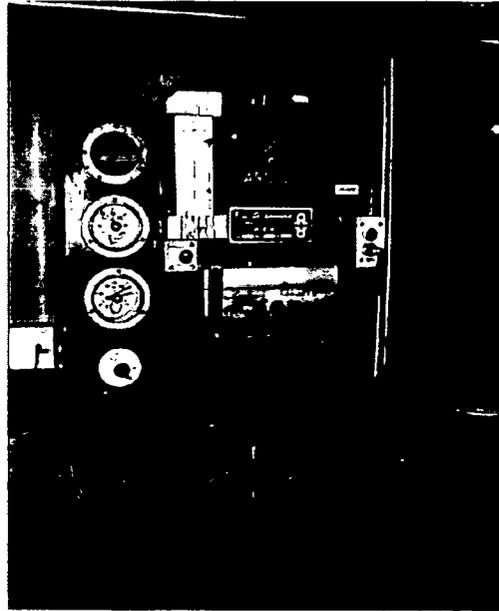


Abbildung 8: Presse

Daraus resultiert, dass der bestimmende Faktor nicht der Pressdruck war, sondern die Dichte, die sich auf Grund der Spanmenge und der Dicke der Platte ergab.

Grundsätzlich sind in der Presse die obere und untere Pressplatte beheizbar. Auf der oberen Platte wurde aber der Druckschuh angebracht, aber dieser konnte nicht beheizt werden. Dieses Problem wurde dadurch umgangen, dass die Presse vor dem eigentlichen Pressvorgang geschlossen wurde, sodass der Stempel die untere Platte berührte. Nun wurde das untere Pressblech auf die gewünschte Temperatur aufgeheizt und somit erwärmte sich auch der Druckschuh auf dieselbige. Damit der Druckschuh die Wärme länger speichern konnte, wurde dieser aus einer 5 cm dicken Metallplatte hergestellt und mit Dämmwolle von oben isoliert. Sobald die Metallplatte nun die gewünschte Temperatur erreicht hatte, wurde die Presse geöffnet und die Späne verpresst. Damit es zu keiner einseitigen Erwärmung der Platte kam wurde die Heizung schon vor dem Verpressen abgedreht. Aufgrund der größeren Masse der unteren Pressplatte, kann diese mehr Wärme speichern und damit die Wärme länger abgeben, was wiederum zu einem einseitigen Aufheizen hätte führen

können. Das war aber nicht zu bemerken und stellte auch bei den Pressvorgängen kein Problem dar.

Eine Fraktionierung bezüglich der Spangrößen wurde, wie schon beschrieben, nicht vorgenommen und deshalb wurden einschichtige Spanplatten, im Gegensatz zu handelsüblichen Platten mit unterschiedlichen Spangrößen in Deck- und Mittelschicht hergestellt.

Für die Verpressung der Knochenverleimten bzw. MUF-verleimten Platte bedarf es unterschiedlicher Verfahren, die nun hier näher beschrieben werden sollen. Die Parameter der beiden Verfahren werden in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Pressparameter der Platten

	Biospanplatte	MUF-Spanplatte
Zeit	> 5 h	10 min
Temperatur	150°C	220°C
Dicke	13 mm	13 mm
Besonderheit	Trocknen der beleimten Späne	

5.5.1 Biospanplatte

Grundsätzlich erfolgt das Abbinden des flüssigen Glutinklebstoffes durch Diffusion des Wassers in das Holz oder die Umgebung (Zeppenfeld, Grunwald, 2005). Das heißt, Knochenleim härtet physikalisch durch Trocknung aus. Für die Herstellung einer Spanplatte würde das bedeuten, die beleimten Späne zu verpressen und zu warten, bis der Leim trocknet und dadurch aushärtet. Dies wurde auch versucht, war jedoch erfolglos, weil die Späne aufgrund der Beleimung zu feucht waren und das Wasser nicht so schnell abgegeben werden konnte, um eine respektable Platte zu erhalten.

Da Knochenleim aufgrund des temperaturabhängigen Sol-Gel-Überganges thermoplastische Eigenschaften aufweist, wurde eine völlig andere, ungewöhnliche Technik zur Erzeugung der Platten gewählt um die thermoplastischen Eigenschaften auszunutzen zu können. Die beleimten Späne wurden vollständig im Darrschrank bei 70° getrocknet, wodurch der Klebstoff aushärtete, und in diesem Zustand verpresst. Um die Feuchtigkeit der Späne bei der Trocknung zu ermitteln, wurden diese immer wieder aus dem Darrschrank genommen, gewogen und so lange getrocknet, bis sich ein konstantes Gewicht (Darrgewicht) einstellte. Der ausgehärtete Knochenleim lag nun in fester Form auf den Spänen vor. Die Späne hafteten eigentlich nicht

aneinander, sodass der beleimte Spankuchen trotz des ausgehärteten Harzes streufähig blieb. Es wurden auch zwei Platten mit einer Spanfeuchtigkeit von ca. $\omega = 11\%$ produziert und es zeigte sich, dass dies zu einem besseren Ergebnis (siehe Kapitel 6) führt, als die Verwendung darrtrockener Späne.

Um den Knochenleim während des Pressvorganges wieder zu plastifizieren wurde eine Presstemperatur von 150°C gewählt. Diese Temperatur stellt einen guten Kompromiss zwischen der Übergangstemperatur von fester zur plastischer Phase und einer zu hohen Temperatur, bei der es zu einem hydrolytischen Abbau der Polypeptide kommt. Wie Zeppenfeld und Grunwald (2005) beschreiben ist die Hydrolyseempfindlichkeit der Polypeptide bei Glutinklebstoffen ausgeprägt vorhanden. Werden Glutinklebstoffe bei der Verarbeitung zu lange auf eine höhere Temperatur erhitzt, so entstehen niedermolekulare Peptide und die Festigkeit der Klebstoffe sinkt ab. Eine zu niedere Presstemperatur von beispielsweise 80°C , wie sie bei den ersten Versuchen gewählt wurde, führt allerdings zu einer unzureichenden Plastifizierung des Leimes und dadurch zu keiner vollständigen Verklebung der Späne untereinander.

Die beleimten, getrockneten Späne wurden in die auf 150°C vorgewärmte Pressform gegeben, die Heizung abgeschaltet und die Presse geschlossen bis die Distanz von 13mm erreicht wurde. Aufgrund der Wärme kam es zur Plastifizierung des Glutinklebstoffes und zur Verleimung der Späne untereinander. Die Verfestigung des Leimes trat jedoch erst nach Abkühlung unter der Sol-Gel-Übergangstemperatur ein, was zu einer langen Presszeit von mehreren Stunden führte. Die Platten wurden meist über Nacht oder für wenigstens 5 Stunden in der Presse gelassen. Hier wäre sicher noch Einsparungspotential vorhanden, aber die minimale Presszeit wurde im Rahmen dieser Versuche nicht ausgetestet. In der Praxis wäre es auf alle Fälle sinnvoll die Presse mit einer Kühlung auszustatten. Mit dieser könnten Presszeiten von nur wenigen Minuten erreicht werden.

5.5.2 MUF-Spanplatte

Die Späne wurden unmittelbar nach der Beleimung bei einer Temperatur von 220°C verpresst. Die Presszeit liegt laut Angaben des Herstellers bei ca. 6 bis 8 s/mm Plattendicke. Das entspricht bei einer Plattendicke von 13 mm einer Presszeit von ca. 80 bis 105 sek. Da es sich bei diesen Angaben um Parameter handelt, die bei der industriellen Herstellung von Spanplatten zur Anwendung kommen, wurde bei den Laborversuchen eine Presszeit von 10 min. gewählt, um die max. Festigkeit zu erreichen. Diese Presszeit erwies sich allerdings als

Obergrenze, da auf der Unterseite der Platte leichte Verbrennungen, die sich als bräunliche Verfärbungen darstellten, entstanden. Dass diese nur auf der Unterseite auftraten, weist auf die in 5.5 beschriebene einseitige Beheizung der Presse hin.

Nach dem Verpressen der Platten wurden diese wenigstens eine Woche im Klimaraum unter Normklimabedingungen bei 20°C und 65% relativer Luftfeuchtigkeit gelagert, wodurch sich eine Holzausgleichsfeuchte von $\omega = 11\%$ einstellte.

5.6 Prüfen der Proben

Die hergestellten Platten wurden auf ihre Querkzug- und Biegefestigkeit geprüft, ebenso wurden ihre Quellverhalten untersucht. Dazu wurden aus jeder Platte je 4 Querkzugproben, 2 Biegeproben und 2 Quellproben zur Untersuchung herangezogen.

5.6.1 Querkzugprüfung

Die Querkzugprüfung erfolgte laut ÖNORM EN 319 (2005) „Bestimmung der Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene“. Für die Prüfung wurden je 4 Proben pro Platte mit den Abmessungen 50 mal 50 mm zugeschnitten, auf denen Joche aus Buchensperrholz aufgeklebt wurden. Ein Polyurethanklebstoff (PUR, Purbond HB 110, Collano AG, Sempach, Schweiz) diente für die Verklebung der beiden Joche mit dem Probekörper (Abbildung 9). Durch die Verwendung dieser biegesteifen Joche kommt es zu einer gleichmäßigen Krafteinwirkung auf den Probekörper.



Abbildung 9: Querkzugprobe

Die Querkzugprüfungen wurden auf einer Universalprüfmaschine der Firma Zwick/Roell (Z020, Ulm, Deutschland) durchgeführt. Die dafür verwendete Kraftmessdose mit 5 kN weist eine Abweichung von 0,1% der Maximalkraft auf, das heißt in absoluter Zahl 5 N. Bei einer erwarteten Querkzugfestigkeit von ca. 0,3 N/mm² und den Probenabmessungen von 50 mm mal 50 mm, werden ca. 750 N notwendig sein um die Probe zu zerstören. Das ergibt eine Prüfgenauigkeit von ca. 0,7% (Formel 6) und damit ist der Anforderung der Norm (1%) folgegeleistet.

$$\text{Prüfgenauigkeit} = (5\text{N}/750\text{N}) * 100 = 0,7\% \quad (6)$$

Nach dem Einspannen der Probe in die Halterungen der Prüfmaschine (Abbildung 10) wurde diese mit einer Vorkraft von 10 N belastet um ein Ausrichten des Prüfkörpers zu erreichen. Anschließend wurde der Probekörper mit einer Prüfgeschwindigkeit von 10 mm/min bis zum Bruch belastet. Diese Belastungsgeschwindigkeit wurde deshalb gewählt, weil laut Norm der Bruch innerhalb von 60±30 s eintreten soll. Das Ende des Versuchs erfolgt bei einem 50%igen Kraftabfall der maximalen Bruchkraft F_{max} . Die Querkzugfestigkeit σ berechnet sich mit angegebener Formel (7) aus der maximalen Bruchkraft F_{max} und den Abmessungen a, b (mm) des Prüfkörpers.

$$\sigma = \frac{F_{\text{max}}}{a * b} [N / mm^2] \quad (7)$$



Abbildung 10: Querzugprüfung

5.6.2 *Biegeprüfung*

Die Biegeprüfung erfolgte in Anlehnung an die ÖNORM EN 310 (2005), bei der der Biege-Elastizitätsmodul und die Biegefestigkeit ermittelt wurden. Die Bestimmung dieser beiden Werte erfolgte durch Aufbringen einer Last in der Mitte eines an zwei Punkten aufliegenden Prüfkörpers (Abbildung 11). Bei dem berechneten Wert des Biege-Elastizitätsmoduls handelt es sich um den scheinbaren und nicht um den wahren Wert, da das Prüfverfahren sowohl Scherung als auch Biegung einschließt (ÖNORM EN 310, 1993).

Pro Spanplatte wurden 2 Proben mit 180 mm Länge, 20 mm Breite und der jeweiligen Dicke der Platte (ca.13 mm) getestet. Laut Norm sollte die Probenlänge l_2 , die das Zwanzigfache der Nenndicke plus 50mm betragen soll, bei dieser Prüfung ca. 310 mm Länge aufweisen, was aber aus produktionstechnischen Gründen nicht möglich war, da die Pressform nur 213mm lang war. Somit wurde in der Probengeometrie von der Norm abgewichen.

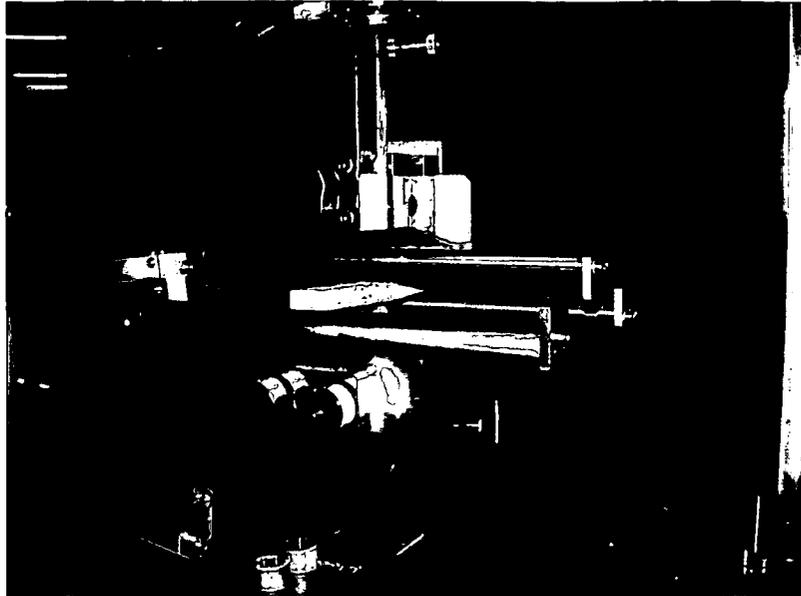


Abbildung 11: Biegeprüfung

Für die Prüfung wurde eine 2,5 kN Kraftmessdose und zur Ermittlung des Biege-Elastizitätsmoduls ein makromechanischer Wegaufnehmer verwendet. Der Auflagerabstand l_1 betrug 150 mm. In Abbildung 11 ist der Versuchsaufbau der Biegeprüfung zu sehen. Zu Beginn der Prüfung wurde eine Vorkraft von 5 N aufgebracht und anschließend der Probekörper mit einer Prüfgeschwindigkeit von 5 mm/min bis zum Bruch belastet, sodass dieser innerhalb der vorgeschriebenen 60 ± 30 s stattfand. Das Prüfende wurde mit einer Kraftabschaltschwelle von 30% F_{\max} definiert.

Der Biegeelastizitätsmodul (N/mm^2) wurde mit Hilfe der Sekantenmethode im linearen Bereich zwischen den beiden Punkten 10 und 40% von F_{\max} mit nachfolgender Formel (8) ermittelt, wobei l_1 der Abstand zwischen den Auflagern, b die Prüfkörperbreite, t die Prüfkörperdicke, $(F_2 - F_1)$ die Kraftzunahme im geradlinigen Bereich des Kraft-Durchbiegungs-Diagramms (F_1 ungefähr 10%, F_2 ungefähr 40% von F_{\max}) und $(a_2 - a_1)$ die Durchbiegungszunahme in Prüfkörpermitte ist.

$$E_m = \frac{l_1^3(F_2 - F_1)}{4 \cdot b \cdot t^3(a_2 - a_1)} [N/mm^2] \quad (8)$$

Aus der maximalen Bruchkraft F_{\max} , l_1 , b und t wurde die Biegefestigkeit σ_B (N/mm^2) mit nachfolgender Formel (9) berechnet.

$$\sigma_B = \frac{3F_{\max} l_1}{2bt^2} [N/mm^2] \quad (9)$$

5.6.3 Quellverhalten

Die Bestimmung der Dickenquellung nach Wasserlagerung erfolgt bei Span- und Faserplatten nach ÖNORM EN 317 (2005). Hierzu müssen die Probekörper je nach Plattentyp und Anforderung verschieden lange unter Wasser gelagert werden. Dies würde bei den knochenleimgebundenen Platten wahrscheinlich zur Zerstörung führen, da Glutine in getrocknetem Zustand gegenüber Wasser nicht beständig sind. Sie nehmen Wasser auf, quellen und verlieren dadurch schrittweise ihre hohe Festigkeit, wodurch bei wiederholten Wechselklimabelastungen ein Lösen der Klebeverbindung beobachtet werden kann (Zeppenfeld, Grunwald, 2005). Aus diesem Grund war eine normgerechte Durchführung der Dickenquellung laut EN 317 nicht möglich.

Das Quellverhalten der Platten sollte aber dennoch geprüft werden und hierzu wurden die Probekörper zwei verschiedenen Klimaten ausgesetzt, anschließend darrgetrocknet und nach jedem Klimaeinfluss die Dicke und das Gewicht gemessen.

Aus den im Normklima (20°C, 65% relative Luftfeuchtigkeit) bei einer Holzgleichsfeuchte von $\omega=11\%$ gelagerten Platten wurden jeweils 2 quadratische Proben mit einer Seitenlänge von 50 mm entnommen, von denen die Dicke und das Gewicht bestimmt wurde. Die Dicke wurde kreuzweise gemessen und daraus der Mittelwert gebildet. Anschließend kamen die Prüfkörper in den Klimaschrank bei 40°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 90%, was einer Holzgleichsfeuchte von ca. $\omega =20\%$ entspricht, in dem sie für 30 Stunden dem Klima ausgesetzt waren. Nachdem Dicke und Gewicht der Proben wieder bestimmt waren kamen die Prüfkörper in den Darrschrank und am Ende dieses Zyklus wurden die beiden charakteristischen Werte wieder gemessen.

Die Dickenquellung G_t eines jeden Prüfkörpers in Prozent der Anfangsdicke wurde mit nachfolgender Formel (10) laut EN 317 berechnet, wobei

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} * 100[\%] \quad (10)$$

t_1 die Dicke des Prüfkörpers im Normklima in mm und t_2 die Dicke des Prüfkörpers nach Feuchtlagerung in mm ist.

6 Ergebnisse und Diskussion

6.1 Probenübersicht

Für die Auswertung des Verfahrens zur Herstellung einer knochenleimgebundenen Spanplatte wurden 12 Platten herangezogen, die in Tabelle 7 aufgelistet sind. Angegeben sind die Herstellungsnummer, die Leimart, der Leimanteil in Prozent und die Dichte (kg/m^3) der Platte nach der Lagerung im Normklima, berechnet aus der Dicke und aus dem Gewicht.

Tabelle 7: Probenübersicht

Nr	Leimart	Leimanteil %	Dicke mm	Gewicht gram	Dichte kg/m^3
6	KNO	20	19	590	718
7	MUF	20	13,6	436	741
8	KNO	20	14,8	448	700
9	MUF	20	13,3	463	804
10	KNO	20	14,5	441	703
11	KNO	10	13,2	446	781
12	MUF	10	13,1	433	764
14	KNO	20	12,4	331	617
16	MUF	20	12,2	316	599
15	MUF	10	12,3	305	573
17	KNO	10	12,2	320	607
18	KNO	>20	12,5	592	1095

Die ursprünglich angestrebten Dichten von 500 und 700 kg/m^3 wurden nicht exakt erreicht. Dies lag größtenteils daran, dass die Platten mit nahezu darrtrockenen Spänen hergestellt und nach der Verpressung im Normklima gelagert wurden. Durch die anschließende Lagerung im Normklima bei einer Holzgleichsfeuchte von $\omega=11\%$ nahmen die Proben wieder Feuchtigkeit auf und es kam auch zu einer leichten Zunahme der Plattendicke. Aufgrund dessen weichen die tatsächlichen Dichten von den ursprünglich zu erzielenden ab.

Um die Auswirkung der Einflussparameter Dichte, Art der Beileimung und Leimanteil auf die Querkzug- und Biegefestigkeit und das Quellverhalten untersuchen zu können wurden 4 Gruppen von Platten mit ähnlichen Parametern gebildet:

1. Platte 7 bis 10 mit 20% Leimanteil und einer Dichte zwischen 700 und 800 kg/m³
2. Platte 11 und 12 mit 10% Leimanteil und einer Dichte von ca. 800 kg/m³
3. Platte 14 und 16 mit 20% Leimanteil und einer Dichte von ca. 600 kg/m³
4. Platte 15 und 17 mit 10% Leimanteil und einer Dichte von ca. 700 kg/m³

Bei der Platte 6 erfolgte die Beleimung nicht mit der Sprühflasche sondern nach dem alten Verfahren (siehe 5.4), was zu einer unzureichenden Beleimung und nicht zufrieden stellenden Festigkeiten führte. Aus diesem Grund wurde diese Probe nur für die Auswertung des Quellverhaltens herangezogen. Mit der Platte 18 wurde eine hochdichte Platte ($\rho = 1095 \text{ kg/m}^3$) mit einem Leimanteil von über 20% erzeugt, die natürlich sehr hohe Festigkeiten erreicht.

6.2 Querzugprüfung

Die Ergebnisse der Querzugprüfung werden in den nachfolgenden Diagrammen dargestellt. Zum Vergleich ist in Tabelle 8 auch die jeweilige Anforderung der Norm EN 312 für TYP 1 „Anforderungen an Platten für allgemeine Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich“ angegeben.

Tabelle 8: Querzugfestigkeitsanforderung an Platten für allgemeine Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich (TYP P 1) in Anlehnung an EN 312

Eigenschaft	Prüfverfahren	Einheit	Anforderung		
			Dickenbereich (mm)		
			>6 bis 13	>13 bis 20	>20 bis 25
Querzugfestigkeit	EN319	N/mm ²	0,28	0,24	0,20

Die Werte der Querzugfestigkeiten der biologischen Platte sind in grünen, für die Referenzplatte in blauen und die Anforderung der Norm in roten Balken dargestellt. Als Bezeichnung werden die Abkürzung des Leimes (MUF für Melamin-Harnstoff-Formaldehyd und KNO für Knochenleim), die Plattennummer und die Probennummer der jeweiligen Platte angegeben. Das heißt, die Bezeichnung KNO_10.1 steht für eine knochenleimgebundene Platte mit der Nummer 10 und daraus die Probe 1.

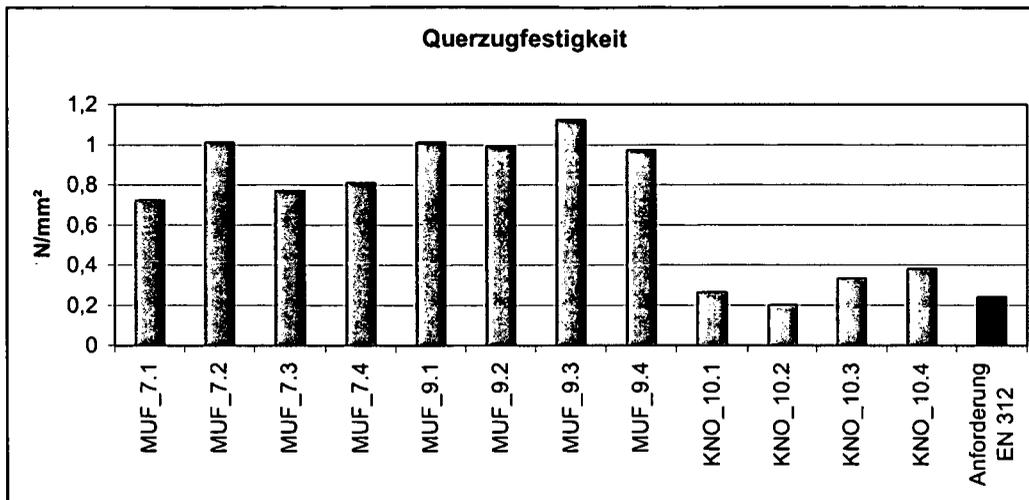


Abbildung 12: Querzugfestigkeit (Dichte = 700-800kg/m³, Leimanteil = 20%)

Die Platten 7,9 und 10 weisen eine Dicke von mehr als 13mm auf (siehe Tabelle 7) und die Anforderung an der Querzugfestigkeit liegt daher laut EN 312 bei $\sigma=0,24$ N/mm². Diese wird, wie Abbildung 12 zeigt, von der Referenzprobe 9 teilweise um den 4-fachen Wert (σ von MUF_9.3 = 1,12 N/mm²) überschritten und auch alle anderen Referenzproben übersteigen die Anforderung um ein Vielfaches, wobei zu erkennen ist, dass die Platte 9 mit einer Dichte von $\rho=804$ kg/m³ eine bessere Querzugfestigkeit aufweist als die Platte 7 ($\rho=741$ kg/m³). Die Platte 8 wurde nicht auf Querzugfestigkeit geprüft, da sie eine zu geringe Festigkeit aufwies. Die Proben der knochenleimgebundenen Spanplatte 10 ($\rho=703$ kg/m³) konnten die Anforderungen an die Norm nur teilweise erfüllen, wobei aber der Mittelwert der 4 Proben die Normanforderung ($\sigma=0,24$ N/mm²) mit einem Wert von $\sigma=0,29$ N/mm² übersteigt.

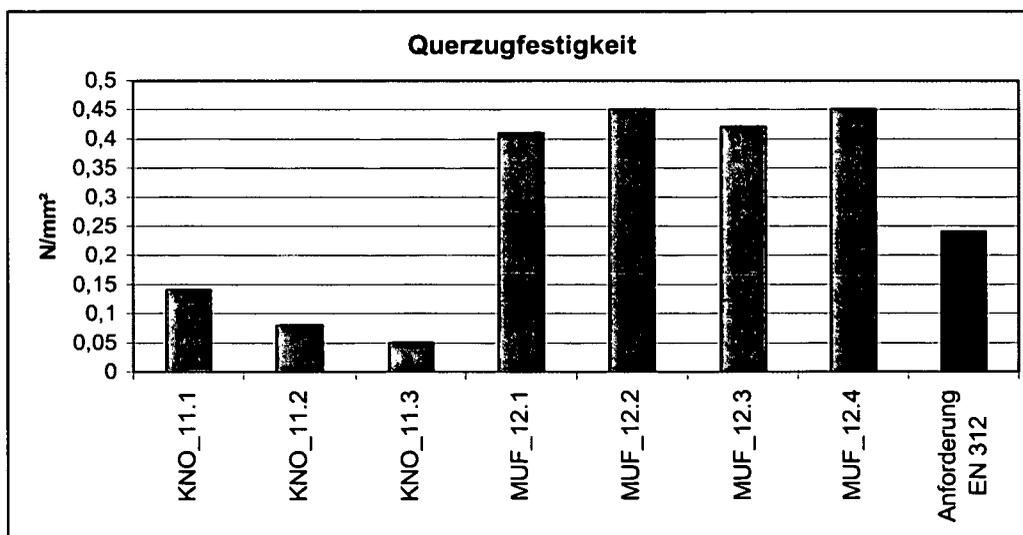


Abbildung 13: Querzugfestigkeit (Dichte ca. 800kg/m³, 10% Leimanteil)

Die Platten 11 und 12, mit einem Leimanteil von 10%, weisen wie erwartet deutlich geringere Querszugfestigkeiten auf wie in Abbildung 13 ersichtlich ist. Die Referenzplatte 11 konnte mit der halben Leimmenge auch etwa nur die halbe Festigkeit, verglichen mit Platte 9, die etwa dieselbe Dichte von 800kg/m^3 aufweist, erzielen. Die Anforderung der Norm wird auf alle Fälle weit überschritten. Die Querszugfestigkeiten der Knochenleimgebundenen Spanplatte sind sehr niedrig und liegen weit unter der Anforderung der Norm. Die Werte sind dermaßen niedrig, was darauf schließen lässt, dass hier Fehler bei der Herstellung passiert sein müssen. Auch ergeben sich schlechte Werte in Quellverhalten und Biegefestigkeit, die diese Annahme untermauern.

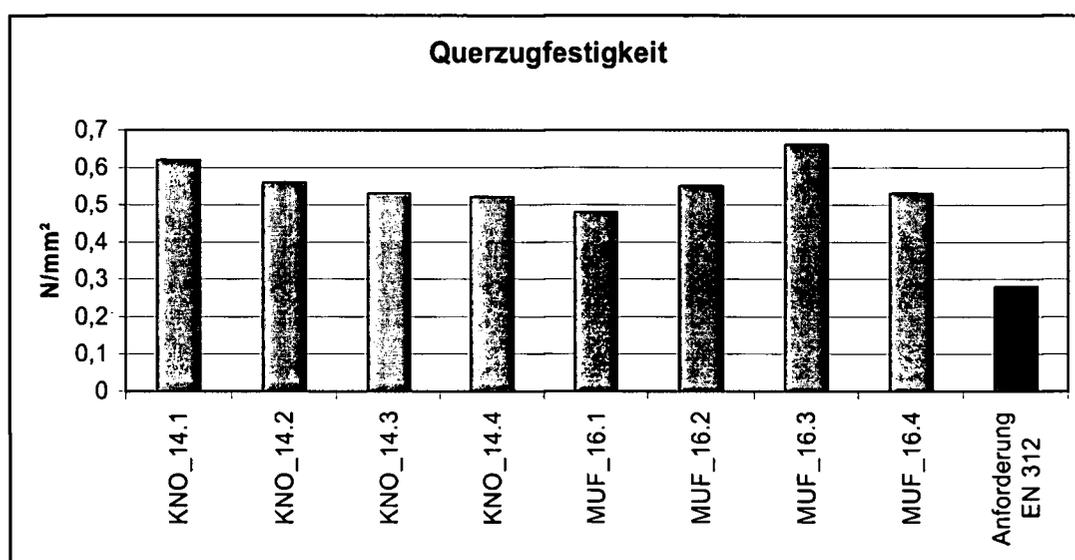


Abbildung 14: Querszugfestigkeit (Dichte ca. 600kg/m^3 , Leimanteil 20%)

Die Anforderung an die Querszugfestigkeit laut EN 312 sind bei den Platten 14 bis 17 mit $\sigma=0,28\text{ N/mm}^2$ etwas höher als bei den anderen, da diese eine Dicke unter 13mm aufweisen. Die Querszugfestigkeit der Knochenleimgebundenen Spanplatte 14, überschreitet mit einem Mittelwert von $\sigma=0,56\text{ N/mm}^2$ die angegebene Anforderung genau um das Doppelte. Dies konnte aufgrund der geringeren Dichte (600 kg/m^3) gegenüber den Platten 8 und 10 (800 kg/m^3) nicht erwartet werden und stellt einen sehr zufrieden stellenden Wert dar, wie in Abbildung 14 ersichtlich ist. Die Späne der Platten 14 und 17 wurden nach der Beileimung nicht vollständig, sondern nur bis zu einer Feuchtigkeit von ca. $\omega=11\%$ getrocknet und anschließend verleimt. Diese Methode scheint ein gutes Verfahren zur Herstellung Knochenleimgebundener Spanplatten zu sein, da die beiden nach diesem Verfahren erzeugten Platten auch bei den anderen Parametern gute Werte aufweisen. Diese Aussage wird auch dadurch bestätigt, dass die biologische Platte exakt denselben Mittelwert für die Querszugfestigkeit erreicht wie die Referenzprobe.

Die knochenleimgebundenen Spanplatte 17 erzielt mit einem Mittelwert von $\sigma=0,57 \text{ N/mm}^2$ den bisher besten Wert für die Querkzugfestigkeit und das mit einem Leimanteil von 10%, wie aus Abbildung 15 zu erkennen ist. Damit wird die Anforderung der Norm EN 312 ($\sigma=0,28 \text{ N/mm}^2$) wieder um das Doppelte überschritten. Die vier gemessenen Werte weichen nur minimal vom Mittelwert ab, was von einer hohen Festigkeit über die gesamte Fläche der Spanplatte zeugt. Unabhängig davon, an welcher Stelle der Platte die Proben entnommen wurden, scheinen sie annähernd dieselben Werte zu liefern.

Die MUF-gebundene Platte 15 konnte mit einem Mittelwert von $\sigma=0,32 \text{ N/mm}^2$ der Anforderung der Norm gerade noch gerecht werden, die Werte für die Querkzugfestigkeit liegen allerdings deutlich unter jenen der knochenleimgebundenen Platte. Die Proben MUF_15.3 und MUF_15.4 erzielen etwa nur die Hälfte an Querkzugfestigkeit der Proben MUF_15.1 und MUF_15.2, was auf einen inhomogenen Aufbau über die Plattenfläche bezüglich der Festigkeit schließen lässt.

Die maximale Querkzugfestigkeit der biologischen Spanplatte 18 konnte nicht ermittelt werden, da der Probekörper eine zu hohe Festigkeit aufwies und daher bei der Prüfung ein Bruch der Sperrholzjoche bei einer gemessenen Querkzugfestigkeit von $1,23 \text{ N/mm}^2$ eintrat. Die maximale Querkzugfestigkeit liegt demnach sicher über dem oben genannten Wert.

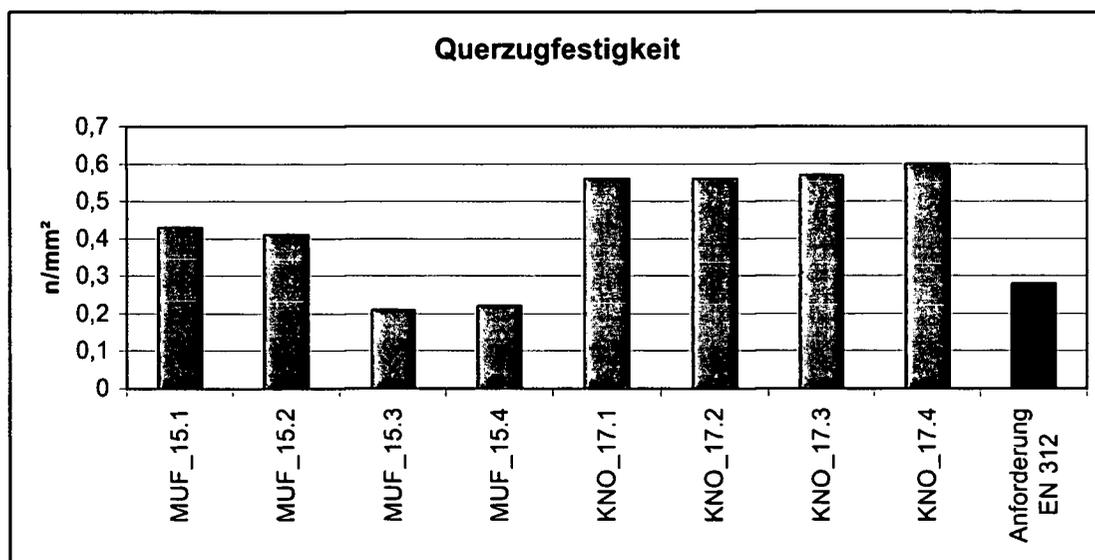


Abbildung 15: Querkzugfestigkeit (Dichte ca. 600 kg/m^3 , Leimanteil 10%)

6.3 Biegeprüfung

Aus jeder Platte wurden 2 Proben auf Biegung geprüft und der Biege-Elastizitätsmodul und die Biegefestigkeit berechnet (siehe 5.6.2). Die Werte der Biegefestigkeiten werden in den nachfolgenden Diagrammen dargestellt.

Um die Festigkeitswerte der Prüfkörper mit der Anforderung der Norm EN 312 (siehe Tabelle 9) vergleichen zu können, sind diese Werte - wie schon bei der Querszugprüfung - in den Diagrammen in roten Balken ausgewiesen.

Tabelle 9: Biegefestigkeitsanforderung an Platten für allgemeine Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich (TYP P 1) in Anlehnung an EN 312

Eigenschaft	Prüfverfahren	Einheit	Anforderung		
			Dickenbereich (mm)		
			>6 bis 13	>13 bis 20	>20 bis 25
Biegefestigkeit	EN 310	N/mm ²	12,5	11,5	10

Die Proben der Referenzplatte 7 mit einer Dichte von $\rho=741 \text{ kg/m}^3$ konnten mit einem Mittelwert von $\sigma=11 \text{ N/mm}^2$ die geforderte Anforderung knapp nicht erreichen, wohingegen die MUF-gebundenen Proben 9 mit einer Dichte von $\rho=804 \text{ kg/m}^3$ die Anforderung mit einem Mittelwert von $\sigma=19,4 \text{ N/mm}^2$ deutlich übertrafen (Abbildung 16).

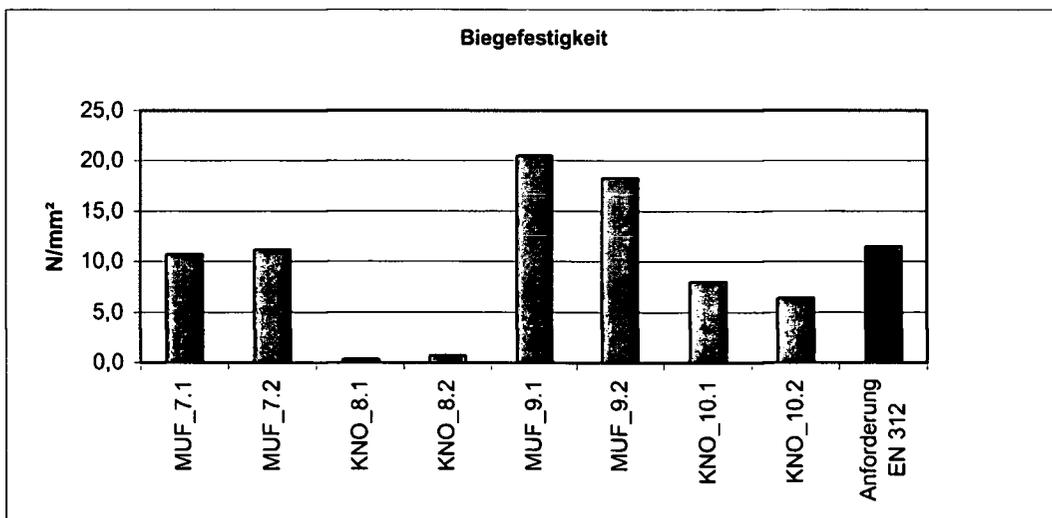


Abbildung 16: Biegefestigkeit (Dichte 700 bis 800kg/m³, Leimanteil 20%)

Ob sich dafür die höhere Dichte maßgeblich verantwortlich zeigt, ist statistisch nicht bewiesen, liegt jedoch nahe, da auch die Werte für Querszugfestigkeit und Quellverhalten gute Ergebnisse liefern. Dennoch zeugt der relativ große

Unterschied zwischen den MUF-gebundenen Proben davon, dass es noch Verbesserungen in der Herstellung vorzunehmen gilt, um ein gleichmäßigeres Ergebnis zu erhalten

Wie schon in Kapitel 6.2 erwähnt, dürfte der schlechte Wert für die Biegefestigkeit mit einem Mittelwert von $\sigma=0,5 \text{ N/mm}^2$ bei Platte 8 auf Fehler in der Herstellung zurückzuführen sein und stellt daher keinen repräsentativen Wert dar. Die knochenleimgebundene Platte 10 ($\rho=703 \text{ kg/m}^3$) mit einem Mittelwert von $\sigma=7,2 \text{ N/mm}^2$ konnte die geforderte Festigkeit auch nicht erreichen. Dennoch liegen die Werte nicht weit von der Anforderung entfernt und auch verglichen mit der Referenzplatte 7, die eine etwas höhere Dichte aufweist, erscheinen die Ergebnisse der Biegeprüfung der biologischen Spanplatte nicht schlecht.

Die biologische Spanplatte 11 weist mit einem Mittelwert von $\sigma=2,8 \text{ N/mm}^2$ etwa ein Viertel der von der Norm EN 312 geforderten Biegefestigkeit und im Vergleich zur Referenzprobe 12 ($\sigma=8 \text{ N/mm}^2$) ca. ein Drittel der Biegefestigkeit auf, wie aus Abbildung 17 hervorgeht. Die MUF-gebunden Platte 12 mit ca. derselben Dichte wie Platte 9 erreicht mit dem halben Leimanteil auch in etwa die halbe Biegefestigkeit, kann aber den von der Norm geforderten Wert ebenfalls nicht erfüllen.

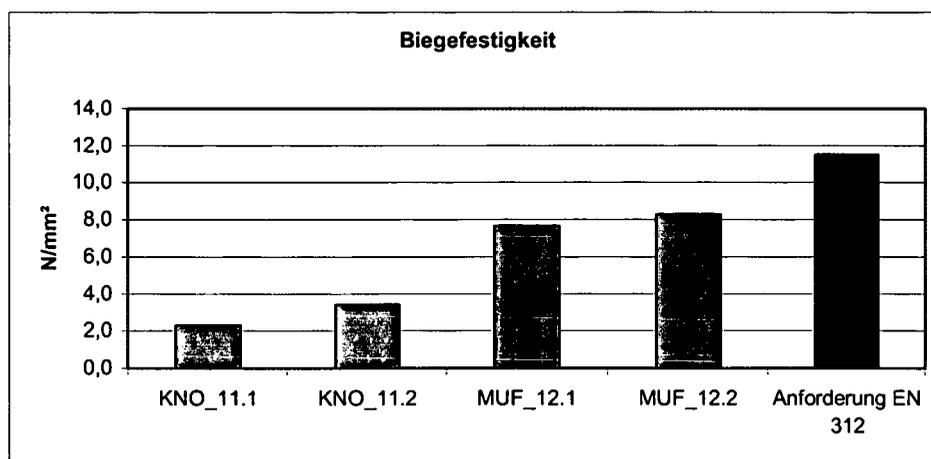


Abbildung 17: Biegefestigkeit (Dichte ca. 800 kg/m^3 , Leimanteil 10%)

Die knochenleimgebunden Spanplatte 14 erzielt mit einer mittleren Biegefestigkeit von $\sigma=10,1 \text{ N/mm}^2$ nahezu das gleiche Ergebnis wie die Referenzplatte 16, die eine mittlere Biegefestigkeit von $\sigma=10,2 \text{ N/mm}^2$ erreicht. Aus Abbildung 18 erkennt man, dass beide Proben auch ob ihrer guten Ergebnisse die Anforderungen der Norm, wenn auch nur knapp, nicht erreichen können. Da die beiden Proben mit Dicken von 12,4 und 12,2mm gerade schon in den Dickenbereich 6 bis 13mm der Norm EN 312 fallen, steigt die Anforderung von $\sigma=11,5 \text{ N/mm}^2$ auf $\sigma=12,5 \text{ N/mm}^2$. Trotz der geringeren

Dichte von ca. 600 kg/m³ weist die Biegefestigkeit der Platte 14 gegenüber den oben gezeigten Proben hohe Werte auf, was wahrscheinlich damit begründet wird, dass die Späne mit einer Holzfeuchtigkeit von ca. 11% verpresst wurden und nicht im darrtrockenen Zustand, wie die anderen Platten. Diese Erkenntnis wurde schon in Kapitel 6.2 erklärt.

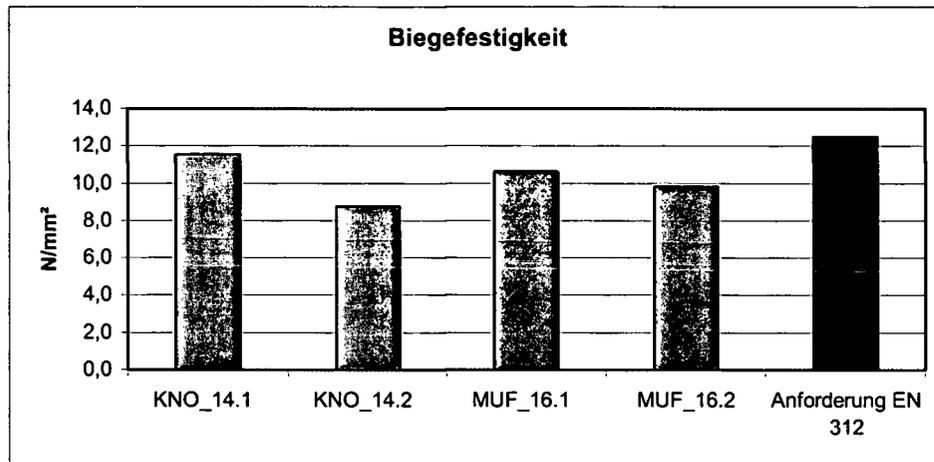


Abbildung 18: Biegefestigkeit (Dichte 600 kg/m³, Leimanteil 20%)

Mit einer mittleren Biegefestigkeit von 5,8 N/mm² erzielt die Knochenleimgebundene Spanplatte 17 einen höheren Wert als die vergleichbare Referenzplatte 15 mit einer gemittelten Biegefestigkeit von 4,9 N/mm² (Abbildung 19). Mit dem halben Leimanteil konnten die beiden Platten auch nur etwa die Hälfte der Biegefestigkeit gegenüber den Proben 14 und 16 erlangen und somit die Anforderung der Norm nicht erfüllen.

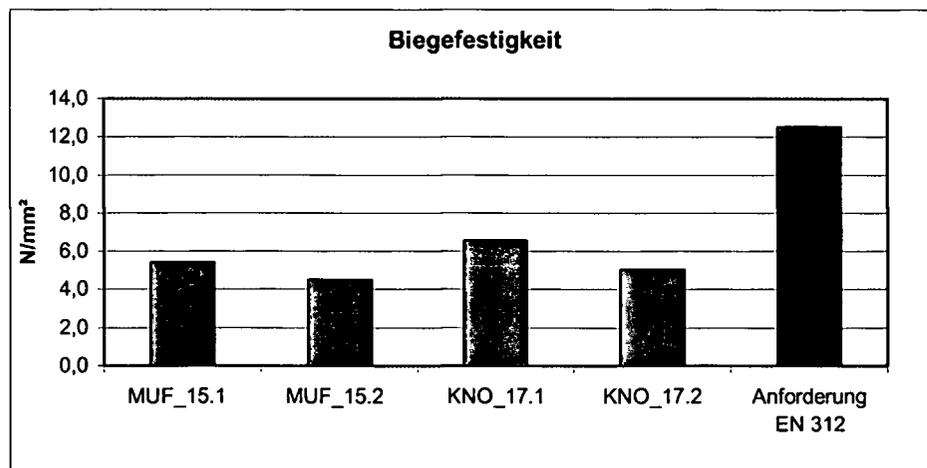


Abbildung 19: Biegefestigkeit (Dichte 600 kg/m³, Leimanteil 10%)

Die biologische Spanplatte 18 erreicht eine sehr hohe Biegefestigkeit mit einem maximalen Wert von 40,3 N/mm² und einem Mittelwert von 34,7 N/mm² und übertrifft somit als einzige die von der Norm geforderte Festigkeit (siehe Abbildung 20). Diese extrem guten Festigkeitswerte, die mehr als doppelt so hoch wie von der Norm gefordert sind, finden ihre Begründung natürlich in der hohen Dichte und im hohen Leimanteil. Somit konnte gezeigt werden, dass mit Knochenleim, in diesem Fall mit für die Festigkeit günstigen Voraussetzungen, eine Spanplatte mit sehr hohen Festigkeitswerten erzeugt werden kann.

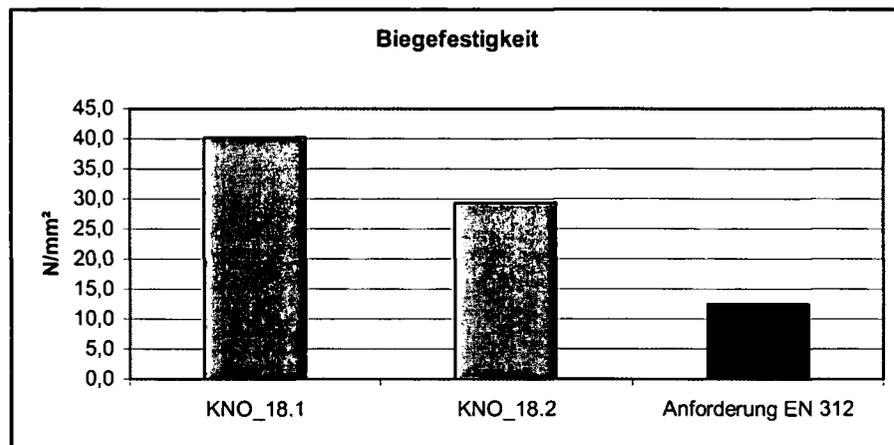


Abbildung 20: Biegefestigkeit (Dichte 1100 kg/m³, Leimanteil >20%)

6.4 Quellverhalten

Die graphische Auswertung des Quellverhaltens der Platten ist in Abbildung 21 zu sehen, wobei hier die Ergebnisse aller Proben in einem einzigen Diagramm dargestellt werden. Aufgetragen wurde der Mittelwert der beiden Proben pro Platte. Aufgrund der Unbeständigkeit des Glutinleimes gegenüber Wasser (Zeppenfeld, Grunwald 2005) würde man eine starke Dickenquellung der knochenleimgebundenen Spanplatte erwarten, die jedoch nicht durchwegs bestätigt werden kann. Die durchschnittliche Dickenquellung der biologischen Platten 14, 17 und 18 liegt mit ca. 15% nicht wesentlich höher als jene der Referenzplatten mit ca. 10% und das, obwohl für die Herstellung der Referenzspanplatte ein MUF-Klebstoff mit einem Melamingehalt von 23% für wasserbeständige Verleimung verwendet wurde.

Deutlich zu erkennen ist allerdings die enorme Dickenquellung von 70% bis knapp über 80% der knochenleimgebundenen Spanplatten 6, 8 und 11, wohingegen sich die übrigen biologischen Platten durch eine weitaus geringere Dickenquellung - bis auf die Platte 10 - mit 30%, auszeichnen. Grundsätzlich

zeigt sich, dass sich gerade bei jenen Platten, die auch eine geringe Querkzug- und Biegefestigkeit erreichen, schlechte Werte für das Quellverhalten ergeben.

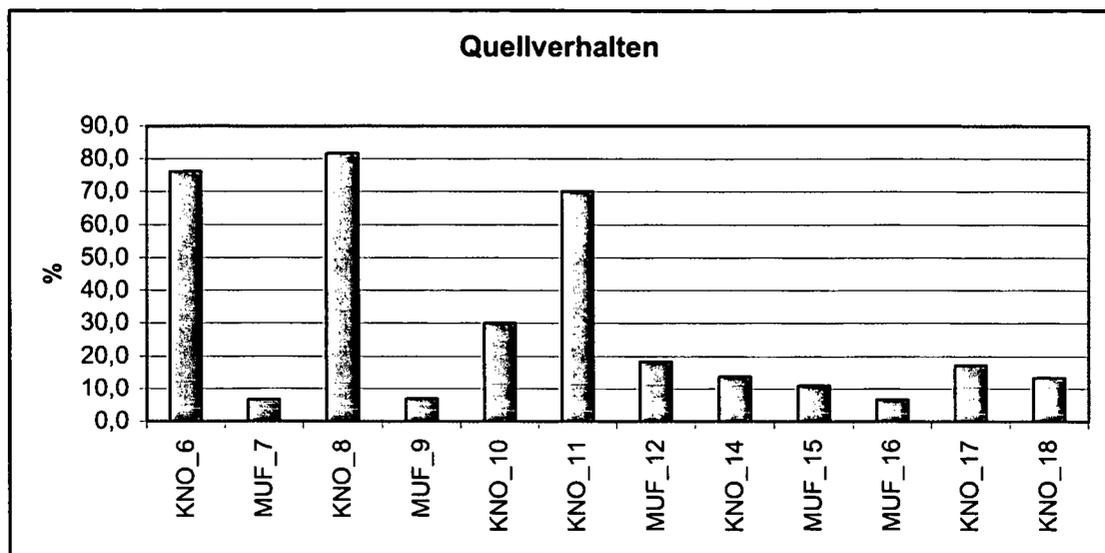


Abbildung 21: Quellverhalten der Platten

Die Ergebnisse der verschiedenen Prüfungen werden nochmals tabellarisch zusammengefasst (siehe Tabelle 10), wobei hier nur mehr die Mittelwerte der einzelnen Prüfkörper pro Platte angegeben sind. Als Vergleich ist auch die Anforderung der ÖNORM EN 312 (2003) angeführt.

Tabelle 10: Probenaufstellung und Ergebnisse der Prüfungen

Nr	Leimart	Leimanteil	Querkzugfestigkeit	EN 312	Biegefestigkeit	EN 312	Quellverhalten	Dichte
		%	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%	kg/m ³
6	KNO	20					76,2	718
7	MUF	20	0,83	0,24	11,0	11,5	6,7	741
8	KNO	20		0,24	0,5	11,5	81,6	700
9	MUF	20	1,02	0,24	19,4	11,5	6,8	804
10	KNO	20	0,29	0,24	7,2	11,5	30,0	703
11	KNO	10	0,09	0,24	2,8	11,5	70,0	781
12	MUF	10	0,43	0,24	8,0	11,5	18,3	764
13	KNO	20						546
14	KNO	20	0,56	0,28	10,1	12,5	13,6	617
16	MUF	20	0,56	0,28	10,2	12,5	6,7	599
15	MUF	10	0,43	0,28	4,9	12,5	11,0	573
17	KNO	10	0,57	0,28	5,8	12,5	17,2	607
18	KNO	>20	>1,23	0,28	34,7	12,5	13,3	1095

7 Konklusion

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde ein Verfahren zur Herstellung von Spanplatten mit Knochenleim als Bindemittel entwickelt. Die ersten Versuche eine biologische Platte aus Glutinklebstoff nach der herkömmlichen Methode, das heißt, die Späne werden unmittelbar nach der Beleimung verpresst, zu erzeugen, scheiterten an der zu hohen Feuchtigkeit der beleimten Späne. Im Gegensatz zu dem synthetischen Klebstoff war es notwendig eine Leimflotte mit niedriger Viskosität zu erhalten, um eine gleichmäßige und vollständige Benetzung der Späne mit dem Bindemittel sicherzustellen, wodurch infolge der Beleimung viel Wasser in den Spänekuchen gelangte. Das Wasser konnte bei der Verpressung nicht genügend entweichen und somit der physikalische abbindende Glutinklebstoff nicht ausreichend aushärten. Glutinklebstoff härtet durch Diffusion des Wassers in das Holz oder die Umgebung, wodurch es zum Übergang vom Sol- in den Gelzustand kommt, aus. Dieser Sol-Gel-Übergang ist auch temperaturabhängig, weshalb sich Knochenleim auch durch thermoplastische Eigenschaften auszeichnet. Dies bewirkt, dass bereits ausgehärtete Klebefugen bei Anhebung der Temperatur über die Sol-Gel-Übergangstemperatur, aufgrund der Plastifizierung des Klebstoffes, wieder gelöst werden können. Wird die Temperatur wieder unter die Übergangstemperatur abgesenkt, kommt es zur Aushärtung des Klebstoffes. Diese Eigenschaft wurde bei der Entwicklung des Verfahrens genutzt.

Die beleimten Späne wurden getrocknet, wodurch der Klebstoff aushärtete und in fester Form auf den Spänen haftete, sich die Späne allerdings nicht verklebten. Anschließend wurden die Späne bei einer Temperatur von ca. 150°C heißverpresst, wobei es aufgrund der hohen Temperatur zur Plastifizierung des Klebstoffes kam und durch den Pressdruck ein inniger Kontakt des dünnen Bindemittelfilms mit der Holzoberfläche entstand. Nach Abkühlung des gepressten Spankuchens unter die Sol-Gel-Übergangstemperatur härtete der Glutinklebstoff vollständig aus. Die Auskühlphase dauerte mehrere Stunden, weshalb die Spanplatten meist über Nacht oder für wenigstens fünf Stunden verpresst wurden. Wäre die Presse mit einer Kühlung ausgestattet, könnte eine Presszeit von wenigen Minuten erreicht werden, abhängig davon, wie schnell die Durchwärmung des Spankuchens und die anschließende Kühlung erfolgt.

Die Prüfung der Querkzug- und Biegefestigkeit und des Quellverhaltens ergaben unterschiedlich zufrieden stellende Ergebnisse. Verglichen wurden die Ergebnisse einerseits mit denen der erzeugten Referenzplatten und andererseits mit den Anforderungen der entsprechenden Normen. Vier der fünf auf Querkzugfestigkeit geprüften Knochenleimgebundenen Platten erfüllten die

Anforderung der Norm EN 312, zwei davon (Nummer 14 und 17) überschritten den geforderten Wert sogar um das Doppelte, wobei Platte 14 die gleiche und Platte 17 sogar eine höhere Querkzugfestigkeit als die vergleichbaren Referenzplatten erreichten. Bei der hochverdichteten Platte 18 ($\rho=1095 \text{ kg/m}^3$) mit einem Leimanteil von über 20% konnte die Querkzugfestigkeit nicht exakt ermittelt werden, weil die Sperrholzjoche der Prüfung nicht standhielten. Sie lag aber jedenfalls über $\sigma= 1,23 \text{ N/mm}^2$.

Die Anforderungen der Norm EN 312 hinsichtlich der Biegefestigkeit konnten von keiner der Knochenleimgebundenen Spanplatten erfüllt werden, wenngleich die Platte 14 mit einer Biegefestigkeit von $\sigma= 10,1 \text{ N/mm}^2$ die Anforderung ($\sigma=12,5 \text{ N/mm}^2$) beinahe erreichte und auch annähernd die gleiche Festigkeit wie die Referenzplatte ($\sigma= 10,2 \text{ N/mm}^2$) erzielte. Die hochdichte Platte 18 übertraf, wie erwartet, die Anforderung mit einer Biegefestigkeit von $\sigma= 34,7 \text{ N/mm}^2$ bei weitem. Somit wurde bewiesen, dass unter für die Festigkeit günstigen Voraussetzungen eine Spanplatte mit Knochenleim als Bindemittel mit sehr guten Festigkeitswerten erzeugt werden kann. Von den Referenzproben konnte auch nur eine Platte den Anforderungen der Norm gerecht werden, was darauf schließen lässt, dass es mit den im Labor zur Verfügung stehenden Mitteln nur schwer möglich war Spanplatten herzustellen, die den industriellen Ansprüchen entsprechen.

Obwohl für die Verleimung der Referenzplatten ein MUF-Klebstoff mit einem relativ hohen Melamingehalt von 23% für wasserbeständige Verleimung verwendet wurde, lag die Dickenquellung der biologischen Spanplatten 14,17 und 18 mit durchschnittlich 15% nicht weit über der der Referenzproben mit einem gemittelten Wert von 10%. Deutlich zeigte sich allerdings, dass gerade bei jenen Platten ein sehr schlechtes Quellverhalten zu erkennen war, die auch niedrige Festigkeitswerte bei der Querkzug- und Biegeprüfung erreichten.

Ein entscheidender Faktor zur Erzielung hoher Festigkeitswerte für die nach diesem Verfahren hergestellten Knochenleimgebundenen Spanplatten, ist die Restfeuchtigkeit, die nach der Trocknung der beleimten Späne noch im Spankuchen enthalten ist. Es hat sich herausgestellt, dass eine vollständige Trocknung der beleimten Späne nicht zielführend ist. Bessere Festigkeitswerte konnten erzielt werden, indem die beleimten Späne mit einer Feuchtigkeit von ca. $\omega= 11\%$ verpresst wurden. Weitere wichtige Einflussfaktoren für eine Spanplatte mit hohen Festigkeitswerten, wie die richtige Wahl der Presstemperatur und die gleichmäßige und vollständige Benetzung der Späne mit dem Klebstoff, stellten weitere Schwierigkeiten dar. Diese Probleme konnten aber im Laufe der Diplomarbeit weitgehend gelöst werden.

8 Literaturverzeichnis

Deppe H.-J., Ernst K. (2000) Taschenbuch der Spanplattentechnik. 4. überarbeitete und erweiterte Auflage, DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co. KG, Leinfelden-Echterding

Dunky M., Niemz P. (2002) Holzwerkstoffe und Leime. Springer Verlag Berlin Heidelberg

Greber J. M. (2003) Die tierischen Leime. Reprint nach der Auflage von 1950, Verlag Th. Schäfer, Hannover

Habenicht G. (1997) Kleben - Grundlagen, Technologie, Anwendungen. Springer Verlag Berlin Heidelberg

Löffler G. (2002) Basiswissen Biochemie mit Pathobiochemie. 5. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York

Kisters D. (2001) Charakterisierung thermoreversibler Gele im Zentrifugalfeld. Dissertation, Gerhard-Mercator-Universität-Gesamthochschule Duisburg

Knoblauch-Mayer W.G. (1991) Experimentelle Untersuchungen zur Verwendung von schwefelfreier Lignin-AQ-Ablauge als Bindemittelsubstitut bei der Spanplattenherstellung. Dissertation, Universität Hamburg

Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (2008)
<http://www.kremer-pigmente.com/63000.htm>.

ÖNORM EN 310 (2005) Holzwerkstoffe – Bestimmung des Biege-Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit

ÖNORM EN 312 (2003) Spanplatten – Anforderungen

ÖNORM EN 317 (2005) Spanplatten und Faserplatten – Bestimmung der Dickenquellung nach Wasserlagerung

ÖNORM EN 319 (2005) Spanplatten und Faserplatten – Bestimmung der Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene

- Schmidt H. (2001) Zur Herstellung von emissionsarmen tanningebundenen Spanplatten: Stand der Kenntnisse und eigene Untersuchungen. Dissertation Universität Göttingen. Shaker Verlag, Aachen
- Schrieber R., Gareis H. (2007) Gelatine Handbook. WILEY-VCH Verlag GmbH & CO.KGaA, Weinheim
- Schwarzbauer P. (2007) Vorlesung: Holzmarktlehre, Skriptum, Universität für Bodenkultur, Wien
- Spannagel F. (1983) Der Möbelbau Reprint nach der 10. Auflage von 1954 mit freundlicher Genehmigung des Otto Maier Verlages, Ravensburg
- Zeppenfeld G., Grunwald D. (2005) Klebstoffe in der Holz- und Möbelindustrie. 2. Auflage, DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co. KG, Leinfelden-Echterding

9 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Fertigungsablauf der Spanplattenherstellung (Quelle: Dunky, Niemz 2003; Schmidt 2001).....	16
Abbildung 2: Schematische Darstellung der verschiedenen Strukturmerkmale des Kollagens (Quelle: Kisters 2001).....	20
Abbildung 3: Methylierung von Harnstoff (Quelle: Habenicht 1997).....	27
Abbildung 4: Polykondensation über Bildung einer Etherbrücke.....	27
Abbildung 5: Polykondensation über Bildung einer Methylenbrücke.....	27
Abbildung 6: Methylierung von Melamin (Quelle: Habenicht 1997).....	28
Abbildung 7: Beleimen der Späne.....	33
Abbildung 8: Presse.....	37
Abbildung 9: Querzugprobe.....	40
Abbildung 10: Querzugprüfung.....	42
Abbildung 11: Biegeprüfung.....	43
Abbildung 12: Querzugfestigkeit (Dichte = 700-800kg/m ³ , Leimanteil = 20%)	47
Abbildung 13: Querzugfestigkeit (Dichte ca. 800kg/m ³ , 10% Leimanteil).....	47
Abbildung 14: Querzugfestigkeit (Dichte ca. 600kg/m ³ , Leimanteil 20%).....	48
Abbildung 15: Querzugfestigkeit (Dichte ca. 600kg/m ³ , Leimanteil 10%).....	49
Abbildung 16: Biegefestigkeit (Dichte 700 bis 800kg/m ³ , Leimanteil 20%).....	50
Abbildung 17: Biegefestigkeit (Dichte ca. 800kg/m ³ , Leimanteil 10%).....	51
Abbildung 18: Biegefestigkeit (Dichte 600kg/m ³ , Leimanteil 20%).....	52
Abbildung 19: Biegefestigkeit (Dichte 600kg/m ³ , Leimanteil 10%).....	52
Abbildung 20: Biegefestigkeit (Dichte 1100kg/m ³ , Leimanteil >20%).....	53
Abbildung 21: Quellverhalten der Platten.....	54

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einsatz von synthetischen, organischen Bindemitteln bei Spanplatten (nach Schmidt 2000).....	18
Tabelle 2: Einzelkomponenten der Platte ($\rho = 500 \text{ kg/m}^3$, Leimanteil = 20%)..	36
Tabelle 3: Einzelkomponenten der Platte ($\rho = 500 \text{ kg/m}^3$, Leimanteil = 10%)...	36
Tabelle 4: Einzelkomponenten der Platte ($\rho = 700 \text{ kg/m}^3$, Leimanteil = 20%)...	36
Tabelle 5: Einzelkomponenten der Platte ($\rho = 700 \text{ kg/m}^3$, Leimanteil = 10%)...	36
Tabelle 6: Pressparameter der Platten.....	38
Tabelle 7: Probenübersicht	45
Tabelle 8: Querkzugfestigkeitsanforderung an Platten für allgemeine Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich (TYP P 1) in Anlehnung an EN 312.....	46
Tabelle 9: Biegefestigkeitsanforderung an Platten für allgemeine Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich (TYP P 1) in Anlehnung an EN 312.....	50
Tabelle 10: Probenaufstellung und Ergebnisse der Prüfungen	54