

Neue Wege/Möglichkeiten (Recycling) der MDF-Produktion

Marco Mäbert
Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH
Dresden, Deutschland



Prof. Dr. Detlef Krug
Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH
Dresden, Deutschland



Neue Wege/Möglichkeiten (Recycling) der MDF-Produktion

1. Einleitung

Das wirtschaftliche Umfeld der Holzwerkstoffindustrie erfordert kontinuierliche Bestrebungen zur Kostenoptimierung im Sinne der Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit. Die Hauptansatzpunkte sieht die Industrie, neben der Senkung der Fixkosten durch Presszeitverkürzung, in der Verringerung der Holzkosten durch das Reduzieren der Rohdichte der Holzwerkstoffe, der Optimierung der Leimkosten durch den Einsatz effizienter Klebstoffe und der Reduzierung der Energiekosten (Weinkötz 2017).

Allerdings sind den Bemühungen zur Kostensenkung zum Teil technologische, wettbewerbliche oder gesetzliche Grenzen gesetzt.

Ein Potential zur Kostenreduzierung bzw. vor dem Hintergrund in absehbarer Zeit eintretender geringerer Holzverfügbarkeit (Steckel 2021) zur Kostenstabilisierung besteht jedoch in der Verringerung des Frischholzeinsatzes. Neben der Rohdichtereduzierung, die von den Herstellern nur im Rahmen anwendungsbedingt geforderter Produkteigenschaften durchgeführt werden kann, wird in den letzten Jahren verstärkt stofflich verwertbares Altholz als Alternativrohstoff eingesetzt. Allerdings ist die Verwendung von Altholz derzeit hauptsächlich bei der Herstellung von Spanplatten, mit einem Anteil von 30 – 40 % an der eingesetzten Holzmenge, bekannt (Mantau et al. 2018; Meinschmidt et al. 2016; Strohmeyer 2018).

Trotz des erheblichen Potentials zur Kostenreduzierung und der bestehenden Verfügbarkeit ist nahezu kein Altholzeinsatz bei der Herstellung von MDF zu verzeichnen (Strohmeyer 2018). Neben der Störstoffproblematik, die bereits forschungsseitig bearbeitet wird, ist ein weiterer Hinderungsgrund für den Einsatz von Altholz bei der MDF-Herstellung der geringe Holzfeuchtegehalt des Altholzes von 6 – 15 % (FEHR Umwelt Ost GmbH, Fiedler, Mario 2018). Die Faserqualität wird unter anderem entscheidend durch Hackschnitzelfeuchte (native Feuchte, Auffeuchtung im Kocher) und Aufschlusstemperatur bzw. -druck beeinflusst. Hackschnitzel mit geringem Feuchtegehalt weisen eine erhöhte Sprödigkeit und Steifigkeit auf und führen zur Erzeugung von Faserstoff mit hohem Splitter- und Kurzfaserteil (Roll 2010). Eine rasche Auffeuchtung von Hackschnitzeln mit geringem Feuchtegehalt (Altholzhackschnitzel) innerhalb weniger Minuten, die einen industriüblichen Durchsatz von ≥ 30 t/h gewährleistet, ist mit der konventionellen Anlagentechnik (Kocher der Zerkleinerungsanlage) selbst unter Einsatz einer Hackschnitzelwäsche nur bedingt möglich.

Eine weitere Rohstoffquelle besteht zukünftig in der Verwendung von Recyclingfasern, hergestellt aus Alt-Faserplatten (Material, das den Prozess zur Herstellung von Faserplatten bereits einmal durchlaufen hat). Aufgrund der Novellierung des Kreislaufwirtschaft-Gesetzes wird die Rücknahme und Verwertung der Produkte nach der Nutzung verpflichtend (Bundesministeriums der Justiz 24.02.2012, Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 23.10.2020 I 2232). Die bisherige Strategie, Holzwerkstoffe und damit auch Faserplatten nach dem Ende der Nutzung komplett thermisch zu verwerten, wird sich demnach verändern. Herausforderungen bei der Gewinnung von Recyclingfasern aus Faserplatten sind die Abtrennung der Beschichtung vom Trägerwerkstoff und ein ressourcenschonendes, mechanisches bzw. thermo-mechanisches Auflösen der Faserplatten-Hackschnitzel. Letzteres bedarf, vergleichbar zu Altholz, einer Auffeuchtung der trockenen Faserplatten-Hackschnitzel mit dem Ziel einer Hydrolyse der im Wesentlichen auf Harnstoff-Formaldehyd-Harzen beruhenden Faserbindung. Zudem ist eine weitere Kürzung der im Faserplattensubstrat vorliegenden Fasern zu vermeiden.

2. Stand der Technik

2.1. Thermomechanischer Aufschluss von Lignocellulosen

Die industrielle Herstellung von lignocellulosen Faserstoffen ist ein kontinuierlicher Prozess. Dieser beginnt nach der ggf. installierten Hackschnitzelwäsche (temperiertes Waschwasser) mit der hydrothermischen Vorbehandlung der Hackschnitzel (Frischholz) mit einem saisonal schwankendem Feuchtegehalt von 80 – 140 % im Vordämpfer, wobei diese auf 70 bis 80 °C erhitzt werden. Vom Vordämpfer gelangen die Schnitzel über eine Transport- und Entwässerungsschnecke in den Vorwärmer (auch Kocher genannt), in dem sie mit Dampf (8 – 10 bar Überdruck) eine gewisse Zeit (2 – 5 min) plastifiziert werden. Transportschnecken fördern die Hackschnitzel anschließend zur Zerfaserung zwischen zwei Mahlscheiben in den Refiner. Danach gelangen die Fasern über die Blowline (in der die Fasern mit Leim beaufschlagt werden können) zum Stromtrockner, indem die Trocknung der Fasern auf einen Feuchtegehalt von 8 – 10 % bei Eingangstemperaturen von 130 – 200 °C in wenigen Sekunden erfolgt (Krug et al. 2011).

Die Faserqualität wird neben der Dimension des Mahlspaltes (Abstand der Mahlscheiben) und der Profilierung der Mahlscheiben von der Plastifizierung des Rohmaterials bestimmt, die von der Partikelgröße, -temperatur sowie -feuchte der Hackschnitzel und vom Druck/ Temperatur sowie der Verweilzeit im Kocher abhängt. Zur Faserherstellung werden Hackschnitzel mit einer Länge von mindestens 30 mm hergestellt, um vor der Zerfaserung eine Verringerung der nativen Holzfaserlänge bei der Hackschnitzelherstellung zu vermeiden. Eine unvollständige Plastifizierung, aufgrund geringer Hackschnitzelfeuchte bzw. Erweichung der Zellstruktur des Holzes führt zur Materialzerschneidung zwischen den Mahlscheiben im Refiner und damit zur Erzeugung eines hohen Splitter-, Staub- und Kurzfaserteils (Roll 2010). Die konventionelle Anlagentechnik mit den entsprechenden technischen Grenzwerten und den von der Geschwindigkeit des Gesamtprozesses (kontinuierlicher Prozess) abhängigen Aufschlussparametern lässt nur einen bedingten Ausgleich von Temperatur- und Feuchteschwankungen der Hackschnitzel zu, was zu Unterschieden in der Plastifizierung führen kann. Mit den vorhandenen Anlagen zur Hackschnitzelplastifizierung ist nahezu keine Anhebung des geringen Feuchtegehaltes von sehr trockenem Altholz und Alt-MDF bzw. daraus hergestellten Hackschnitzeln möglich und aus der Zerfaserung mit industrieüblichen Refinern resultiert eine deutliche Verringerung der Faserqualität.

Erbreich (2004) konnte durch eine Wasserlagerung über eine Dauer von 24 Stunden den Feuchtegehalt anheben und den Langfaseranteil unter niedrigen Aufschlussbedingungen (3,9 bar Überdruck, 3 min Verweilzeit) bei Kiefernaltholz um 35 % und bei Kiefernfrischholz um 49 % gegenüber nicht in Wasser gelagerten Sortimenten steigern. Ähnliches zeigte sich bei der Lagerung der Hackschnitzel in mit 5 % Natriumsulfit versetztem Wasser über 24 Stunden. Allerdings ist eine 24-stündige Wasserlagerung nach der Hackschnitzelherstellung aus Rundholz und vor der Zerfaserung im kontinuierlichen industriellen Prozess bei einem Faserstoffdurchsatz von ≥ 30 t/h mit der Zwischenlagerung von einigen 100 Tonnen Hackschnitzeln verbunden. Erwartungsgemäß konnte Erbreich (2004) zeigen, dass der Langfaseranteil bei der Zerfaserung unter intensiveren Aufschlussbedingungen (intensivere Plastifizierung) gegenüber der Variante mit niedrigem Aufschlussdruck anstieg. Allerdings zeigte Kiefernaltholz gegenüber der Kiefernfrischholzvariante einen geringeren Langfaser- und höheren Feinanteil.

Andere Technologien zur Erleichterung der Auflösung des Faserverbundes im Refiner wie enzymatische Behandlung (Kharazipour et al. 1997) oder Bestrahlung (Bäurich et al. 2012) der Hackschnitzel wurden ebenfalls aufgrund der langen Inkubationszeiten bisher nicht industriell umgesetzt.

Ein weiteres für den Aufschluss von Lignocellulosematerial wie Holz prädestiniertes Verfahren ist der Steam-Explosion-Prozess (SE-Prozess) (Kasal et al. 2019; Lesar et al. 2016; Schutyser et al. 2018). Dies ist eines der am häufigsten eingesetzten Verfahren zum Aufschluss von Lignocellulose haltigem Material im Rahmen von Bioraffinerie-Prozessen (Moreno und Olsson 2017). Genutzt werden dabei sowohl physikalische als auch chemische Aufschlussprinzipien. Der Prozessablauf beinhaltet folgende Hauptschritte und Wirkprinzipien:

Zunächst wird das zerkleinerte Material unter hohem Druck und hoher Temperatur (160 °C bis 360 °C) über einen Zeitraum von wenigen Sekunden bis Minuten von Dampf durchdrungen und aufgrund Kondensation befeuchtet. Durch eine schlagartige Entspannung wird das in den Material-Strukturen kondensierte Wasser verdampft. Dadurch wirken starke Scherkräfte auf die umgebenden Strukturen, was zum mechanischen Aufbruch des lignocellulosischen Stoffverbundes führt (Kasal et al. 2019; Wertz et al. 2017). Der SE-Aufschluss von Holz, basierend auf Entwicklungen von Mason (1926a, 1926b) und Babcock (1932), mit Zusatz von Katalysatoren bzw. Hilfsstoffen als Vorbehandlung vor der enzymatischen Hydrolyse wurde bereits vielfach in der Literatur beschrieben (Review in (Wertz et al. 2017)). Am intensivsten wurde der Einfluss von Säurezusätzen untersucht (Galbe und Zacchi 2002). Weitere Studien erfolgten mit SO₂ und H₂SO₄ (Stenberg et al. 1998; Tengborg et al. 1998; Wang et al. 2015), alkalischen Stoffen (Ammoniak – AFEX-Verfahren) und ionischen Flüssigkeiten (Swatloski et al. 2002; Wang et al. 2015; Wertz et al. 2017), Wasserstoffperoxid und superkritischem CO₂ (Wertz et al. 2017). Nach Galbe und Zacchi (2002) ist die Säure-katalysierte SE für den Aufschluss von Nadelholz am effektivsten. Beim Aufschluss von Laubholz hingegen ist aufgrund geringerer Ligningehalte und weniger kompakter Materialstrukturen keine bzw. eine reduzierte Katalysatorzugabe erforderlich.

Aktuelle Entwicklungen von Unilin Panels nutzen den SE-Prozess im Pilotmaßstab zum Recycling von Faserplatten und bringen die Recyclingfasern, derzeit noch in geringem Anteil, wieder in den MDF-Herstellprozess ein (Steckel 2022).

2.2. Rohstoffgewinnung zur MDF-Herstellung durch Recycling von Holzwerkstoffen

Ein weiterer Weg der Rohstoffbereitstellung für die Holzpartikelwerkstoffherstellung, der in verschiedenen Forschungsvorhaben bereits untersucht wurde, besteht im Recycling von gebrauchten Holzpartikelwerkstoffplatten. Sandberg (1963) entwickelte 1963 ein Verfahren zur Gewinnung von Spanmaterial aus Spanplattenabschnitten der Fixmaßherstellung unter Einwirkung von überspanntem Dampf (4 bar Überdruck, 2,5 – 3 Stunden Verweilzeit). Diesbezüglich schränkte Schlipphak (1965) die Wiederverwendbarkeit des Materials bei der Spanplattenherstellung auf bis zu 30 % ohne einen Eigenschaftsverlust der Platten ein. Dieses Verfahren wurde von Michanickl und Boehme (1996) für die Aufarbeitung von Altmöbeln und Produktionsreststücken aufgegriffen und durch die Zugabe einer Imprägnierlösung unter Unterdruck zur Aufquellung des Holzgefüges vor der Dampfbehandlung (110 °, 20 min Verweilzeit) optimiert (Michanickl und Boehme 1995). Die Firma Pfeleiderer verzichtete bei der Weiterentwicklung auf die Zugabe der Imprägnierlösung und konnte die Verweilzeit, durch die Erhöhung der Temperatur (180 °C), auf 2 min verringern (Kirchner 2002; N.N. 1992).

Roffael (1995) entwickelte ein Verfahren zur Aufbereitung von Altspanplatten, bei dem die Platten zu Hackschnitzeln verarbeitet, anschließend mit Weiß-, Braun- oder Moderfäulepilzen beimpft und vier Wochen gelagert wurden. Danach erfolgte der Aufschluss der Hackschnitzel mit einer Natriumhydroxidlösung bei 180 °C und einer im Vergleich mit der Industrie sehr hohen Verweilzeit von 30 min.

Ein weiteres von Roffael et al. (2016) entwickeltes Verfahren beinhaltet den Aufschluss von zu Hackschnitzeln zerkleinerten MDF unter Anwendung der konventionellen Zerfaserungstechnologie bei industrieüblichen Aufschlussbedingungen (9 bar Überdruck, 4 min Verweilzeit). Mit dem gewonnenen Faserstoff wurde 33 % und 67 % an Faserstoff aus Holzhackschnitzel substituiert und sogar Platten aus 100 % Recyclingfaserstoff hergestellt. Die hergestellten MDF wiesen gegenüber den MDF aus Frischholzfasern eine verringerte Dickenquellung, Wasseraufnahme und Formaldehydabgabe auf. Die Querzugfestigkeit sank hingegen mit zunehmendem Recyclingfaseranteil.

Das Reholz-Verfahren, das von Möller und Herrlich (1994) entwickelt wurde, beruht auf der Zerteilung von Altplatten zu sogenannten Plättchen und der anschließenden Verklebung derselben mit Phenolharz zu Platten. Aufgrund des verwendeten Schneidprinzips werden Metallteile bis zu einem Durchmesser von 10 mm mit zerkleinert. Derartige Platten wurden im Verpackungs- und Verschalungsbereich verwendet (Erbreich 2004).

Bartlett (2012) berichtet über eine von New (2009) entwickelte Technologie zum kontinuierlichen Auflösen von beschichteten und unbeschichteten MDF in einem Wasserbad bei einer Temperatur zwischen 80 – 99 °C. Zunächst werden aus MDF Hackschnitzel hergestellt. Nach der Entfernung von Eisen- und Nichteisenmetallen sowie der Abtrennung von Staub gelangen die Hackschnitzel in ein Wasserbad. Das Wasser wird über die Ohm'sche Erwärmung erhitzt und mit bis zu 20 bar Überdruck beaufschlagt, der anschließend schlagartig abgebaut wird. Danach erfolgen die Reinigung und Trocknung des Faserbreis. Diese Rohstoffgewinnung ist für die Verarbeitung von Produktionsabfällen im MDF-Werk vorgesehen und wurde bisher im Pilotmaßstab umgesetzt (N.N. 2018, 2021)

3. Neue Möglichkeiten der Fasergewinnung zur MDF-Produktion

3.1. Modifizierter TMP-Prozess

Neben der Erarbeitung einer Altholzaufbereitungstechnologie, insbesondere der Kategorie A I, zur Eliminierung von Störstoffen (Metallteilen, Kunststofffolienresten) und damit zur prinzipiellen Ermöglichung des Einsatzes von Altholz bei der Herstellung von MDF sowie der Entwicklung einer Technologie zur Herstellung von Hackschnitzeln, in einer für die MDF-Herstellung üblichen Größe, aus vorgebrochenem Altholz der Kategorie A I und Alt-MDF wurde die IHD-Zerfaserungsanlage zur Herstellung von Thermo Mechanical Pulp (TMP) an verschiedenen Stellen modifiziert. Ziel dieser Modifizierungen war die Herstellung von Faserstoff hoher Qualität aus Altholz- und Alt-MDF-Hackschnitzeln mit einem Feuchtegehalt unterhalb des Fasersättigungsbereiches bei industrieüblichen Durchsatzzeiten.

Dazu wurde der Bereich der Kocherbeschickung konstruktiv verändert, um die Permeabilität der Hackschnitzel für den Dampf im Kocher zu erhöhen. Weiterhin erfolgte der Umbau des Kochers zur Gewährleistung einer maximalen Dampfdurchdringung der Hackschnitzelmenge mit dem Ziel einer hohen Dampfdiffusion in die Hackschnitzel und der Kondensation des Dampfes im Hackschnitzel. Zudem war die Konstruktion einer Faserabführung zum direkten rückstaufreien Faseraustrag aus dem Refinergehäuse und zur Vermeidung von nachträglicher Faserkürzung im Ringraum des Refinergehäuses unerlässlich. Zur Entwicklung kam ein im IHD entwickeltes modular aufgebautes Refinergehäuse zum Einsatz (Abbildung 1).

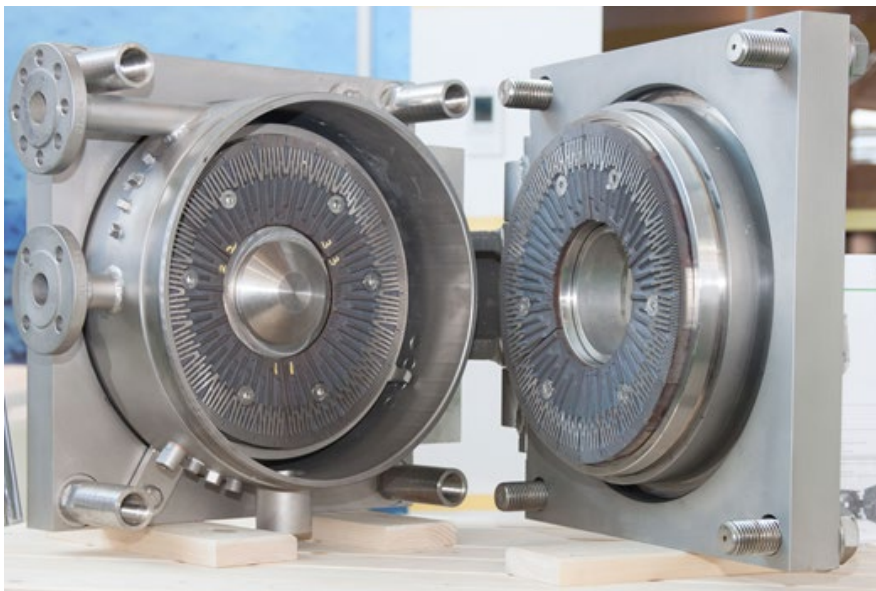


Abbildung 1: Modular aufgebautes Refinergehäuse des IHD mit Mahlscheiben.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Refinergehäusen, kann bei dem modularen Gehäuse das Mahlraumelement mit dem Faserauslass (vgl. Abbildung 1, Mahlraumelement mit radial und tangential angeordnetem Auslass) vergleichsweise einfach demontiert und modifiziert werden. Demzufolge ist eine Veränderung des Auslasses im Vergleich zu einer herkömmlichen Anlage mit geringerem Aufwand verbunden.

Mit dem modifizierten TMP-Prozess des IHD konnte Faserstoff aus Altholz und Alt-MDF hergestellt werden (Abbildung 2).



Abbildung 2: Faserstoff hergestellt im modifizierten TMP-Prozess des IHD, Links aus Altholz; Rechts aus Alt-MDF.

3.2. Steam-Explosion-Prozess

Im IHD wurde ein Steam-Explosion-Reaktor (SE-Reaktor) aufgebaut, der eine optimierte Vorbehandlung der Lignocellulose-Hackschnitzel (u.a. Alt-MDF) vor der Dampfbeaufschlagung für eine intensivere Dampfpenetration ermöglicht. Zudem erfolgte die Konstruktion des Reaktors in der Weise, dass eine gleichmäßige Dampfdurchdringung der Materialschüttung im Reaktor erzielt und ein einheitliches Temperaturniveau erzeugt werden kann. Beide Neuerungen haben die Aufschlussintensivierung durch eine intensivere Dampfpenetration in das Material zum Ziel und bewirken ggf. die Reduzierung des Aufwandes für die energieintensive mechanische Vorzerkleinerung bei vergleichbarem Aufschlussgrad bzw. die Erhöhung des Aufschlussgrades bei vergleichbarer Partikelvorzerkleinerung. Der Reaktor wurde auf einen Maximaldruck von 32 bar Überdruck bzw. eine maximale Temperatur von 240 °C ausgelegt und so konstruiert, dass nach der Steam Explosion nahezu kein Material im Behälter verbleibt.

Für die verlustfreie Erfassung aller Stoffströme (feste, flüssige und gasförmige Komponenten des Endproduktes) wurde ein kugelförmiger Auffangbehälter konzipiert und mit dem SE-Reaktor verbunden. Das Volumen der beiden Behälter wurde aufeinander abgestimmt, dass über einen bestimmten Zeitraum eine kontinuierliche Steam Explosion durchgeführt werden und im Auffangbehälter kein Überdruck entstehen kann (Abbildung 3).

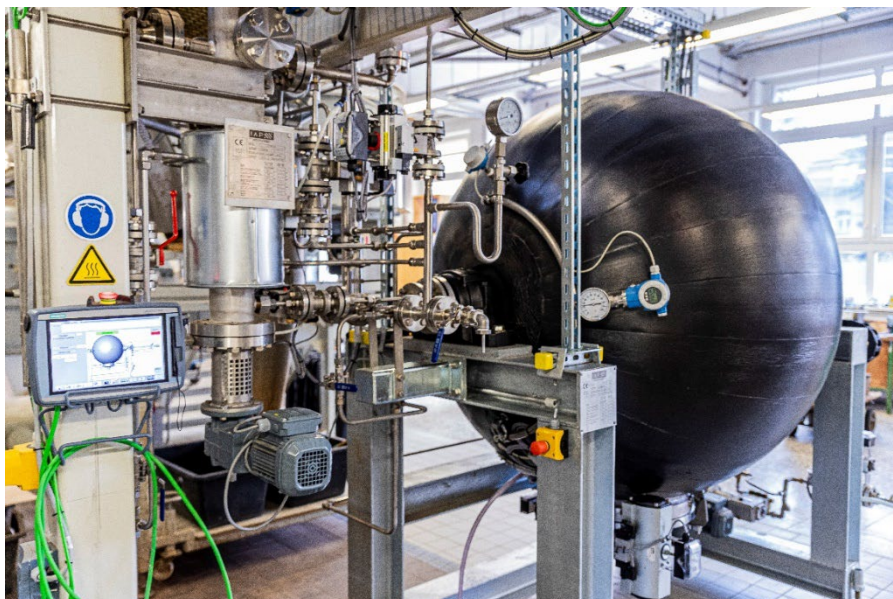


Abbildung 3: Steam-Explosion-Anlage des IHD.

Die gesamte SE-Anlage wird über ein Prozessleitsystem gesteuert, das eine hohe Reproduzierbarkeit des Prozesses gewährleistet sowie eine Erfassung und automatische Ablage der Anlagendaten ermöglicht.

Die Steam-Explosion-Anlage des IHD ermöglichte die Faserstoffherstellung aus Alt-MDF (Abbildung 4).



Abbildung 4: Faserstoff hergestellt aus Alt-MDF in der Steam-Explosion-Anlage des IHD TMP-Prozess.

3.3. Pulping-Prozess (Valmet)

Vorsortierte, gebrochene Faserplatten (HDF/MDF, Größe ca. 40 mm x 40 mm), die auch noch andere Fremdbestandteile z.B. Beschichtungen, Kunststoffe etc. beinhalten können, werden in einem speziellen Aggregat mit Dampf hydrolysiert (Abbildung 5).



Abbildung 5: Links, vorgebrochenes HDF/MDF (beschichtet); Rechts, Hydrolysationseinheit (Mohr und Krug 2022).

Zur kompletten Auflösung des Faserverbundes erfolgt eine Weiterverarbeitung in einem, in der Papierindustrie weit verbreiteten Aggregat, dem sogenannten Pulper. Bei niedriger Stoffdichte werden die Faserbündel mit einem Rotor desintegriert. Nach einer gewissen Verweilzeit wird die Fasersuspension durch eine, unter dem Rotor montierten Siebplatte abgepumpt (Abbildung 6).



Abbildung 6: Links, Pulper-Einheit; Mitte, Pulper-Einheit mit Material; Rechts: Screening-Einheit (Mohr und Krug 2022).

Die nicht aufgelösten Bestandteile werden in eine Siebtrommel gepumpt, in der noch anhaftende Fasern abgespült und zurück in den Pulper gebracht werden. Die Fremdbestandteile fallen am Trommelausgang in einen Auffangbehälter bzw. auf ein Förderband und können entweder stofflich in der Spanplatte oder thermisch verwertet werden.

Die «Gutfasern» werden von einem Zwischenbehälter aus in einen, für die Holzfasern adaptierten, Drucksortierer transportiert. Über speziell für Holzwerkstoff-Fasern gefertigte Siebkörbe werden dann die «Gutfasern» von Laminatpartikeln und Grobfaserbündeln im Niedrigkonsistenzbereich getrennt. Die dann vorliegende Fasersuspension wird auf möglichst hohe Konsistenz entwässert. Aufgrund eines sehr niedrigen Mahlgrades nach Schopper-Riegler ($^{\circ}\text{SR}$, Kenngröße für das Entwässerungsverhalten) lassen sich die Fasern vergleichsweise leicht entwässern.

Nach der Entwässerung liegen die Fasern als lose Faserbündel vor. Dieses Material entspricht gebleichten Zellstoff-Fasern, bevor diese in einem Flockentrockner getrocknet werden. Um die Fasern zu vereinzeln, setzt Valmet in vielen Anlagen weltweit Fluffer ein, die bei geringem Krafteintrag wirkungsvoll sind. So sind die Fasern für Druckluftanlagen blasfähig (Abbildung 7).

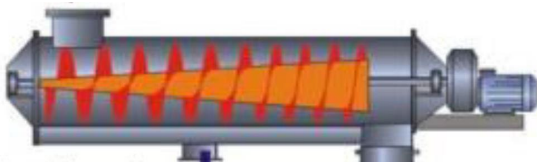


Abbildung 7: Links, Dewatering-Einheit; Rechts, Fluffing-Einheit (Mohr und Krug 2022).

Dieses Konzept wird auch für die aufbereiteten Holzwerkstoff-Fasern genutzt, wobei die Fasern mit einem zweiten Blasrohr in den vorhandenen Faserstofftrockner der MDF-Anlage geblasen werden. Viele MDF-Anlagen weltweit nutzen zwei Refiner mit einer dann guten Faserdurchmischung in einen Stromtrockner. Der anteilige Einsatz aufbereiteter Recyclingfasern für HDF oder MDF wären mit diesem Verfahren gut steuerbar.

Um die wesentlichen Prozessschritte industriemäßig zu testen, erfolgten bei Valmet 2020 und 2021 Pilottests. Dabei wurden pro Versuchstag mehrere Tonnen Recyclingmaterial (beschichtete HDF und MDF) aufbereitet. Faserstoffe aus verschiedenen Tests wurden dem IHD zur weiteren Aufbereitung und Herstellung von Faserplatten zur Verfügung gestellt.

Bei dem Versuchsmaterial handelte es sich um feuchten Recycling-Faserstoff aus Nadelholz, der über einen Bypass in den 85 m langen Stromtrockner der Refiner-Pilotanlage des IHD eingebracht und bei Temperaturen von 70 bis 80°C getrocknet wurde.

Am feuchten und getrockneten Faserstoff erfolgte die Charakterisierung wesentlicher morphologischer Eigenschaften. Die Nassanalysen mittels Camsizer (nach IHD-Arbeitsanweisung AA-30-01) lieferten u.a. Aussagen zur mittleren Faserlänge und Faserbreite. Mit Faserlängen bis 1,5 mm sowie Faserbreiten von 0,11 mm wurden für feuchte und trockene Fasern nahezu übereinstimmende Kennwerte ermittelt, so dass eine Nachzerkleinerung durch den Trocknungsprozess (Fasern durchqueren Förderventilator) ausgeschlossen werden kann (Abbildung 8).



Abbildung 8: Faserstoff, Links aufbereitet nach Trocknung; Rechts im Anlieferungszustand, feucht (Mohr und Krug 2022).

Aus den aufbereiteten Faserstoffen wurden dann im IHD u. a. labortechnisch Faserplatten mittlerer Dichte (MDF) mit Rohdichten von 750 kg/m³ und Nenndicken von 16 mm hergestellt. Variiert wurde insbesondere der Anteil an Recyclingfaserstoff in den Stufen 0, 15, 30 und 100 %. Das Rohplattenformat lag bei 460 mm x 440 mm. Die Beileimung erfolgte grundsätzlich im Blender mit einem industrieüblichen UF-Harzsystem (10 % Anteil). Die Vliese wurden manuell gestreut. Im Anschluss folgten das Vorpressen bei Raumtemperatur und ein konventionelles Heißpressen bei 200°C mit einem Presszeitfaktor von 10 s/mm. Nach ausreichender Konditionierung wurden die Platten geschliffen und teilweise kurztaktbeschichtet. Abschließend erfolgte die Prüfung wesentlicher physikalischer und fallweise auch chemischer Platteneigenschaften.

Die Ergebnisse der physikalischen Eigenschaftsprüfungen der MDF ergaben für die Querkzugfestigkeit (Abbildung 9) und die Dickenquellung nach 24 h Wasserlagerung (Abbildung 10) jeweils den normativen Vorgaben an MDF (Querkzugfestigkeit min. 0,55 N/mm², Dickenquellung max. 12 %) entsprechende Werte.

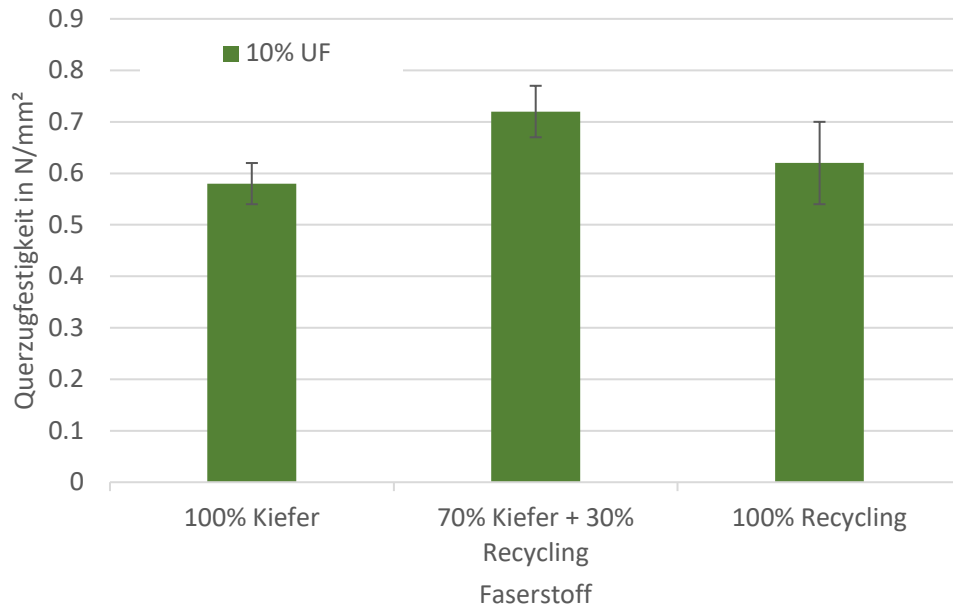


Abbildung 9: Querzugfestigkeit (nach EN 319) von MDF in Abhängigkeit von Recyclingfaser-Anteil (Mohr und Krug 2022).

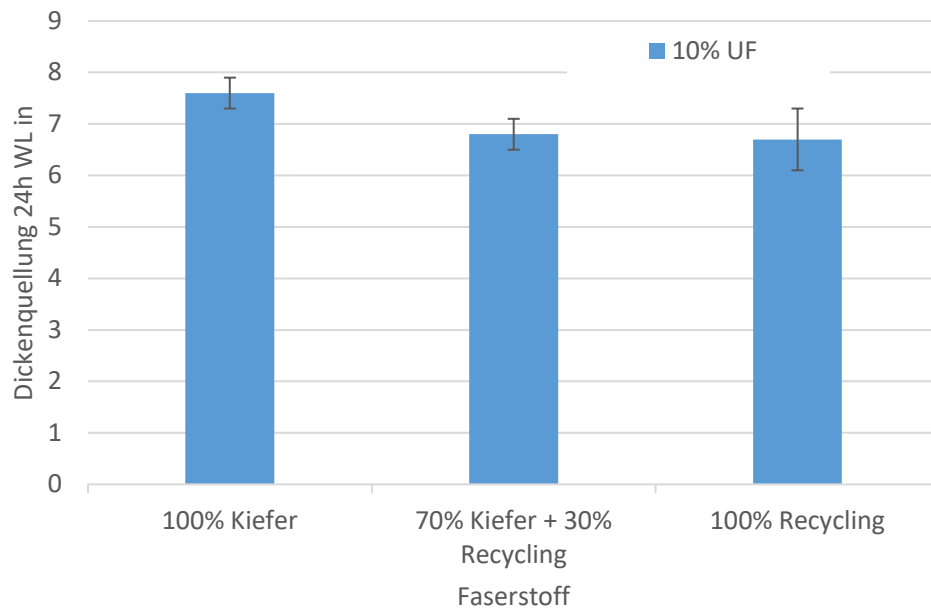


Abbildung 10: Dickenquellung nach 24 h Wasserlagerung (nach EN 317) von MDF in Abhängigkeit von Recyclingfaser-Anteil (Mohr und Krug 2022).

Die günstigsten Platteneigenschaften weisen dabei MDF mit einem Recyclingfaseranteil von 30 % auf.

4. Literaturverzeichnis

- [1] Babcock, Leon W. (1932): Method of producing fermentable sugars and alcohol from wood. Veröffentlichungsnr: US1855464.
- [2] Bartlett, C. (2012): MDF Recovery Limited. Recovery of High Value Wood Fibres From Waste MDF. In: Verein zur Förderung holzbiologischer & holztechnologischer Forschung e.V. (Hg.): Fachtagung Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Göttingen, 13. – 14.12.
- [3] Bäurich, C.; Handke, T.; Schumann, W.; Weber, P.-G. (2012): Elektronenbestrahlung von Holzhackschnitzeln zur energieeffizienten Herstellung von Holzstoff in der Papierproduktion. Hg. v. TU Dresden und Synergy Health Radeberg GmbH. Dresden, Radeberg.
- [4] Bundesministeriums der Justiz (24.02.2012, Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 23.10.2020 I 2232): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz). KrWG, zuletzt geprüft am 18.03.2022.
- [5] Erbreich, Markus (2004): Die Aufbereitung und Wiederverwendung von Altholz zur Herstellung von Mitteldichten Faserplatten (MDF). Dissertation. Universität Hamburg, Hamburg. Biologie.
- [6] FEHR Umwelt Ost GmbH, Fiedler, Mario (2018): Holzfeuchte von Altholz. Dresden, 13.12.2018. Beratung an Marco Mäbert und Detlef Krug.
- [7] Galbe, Mats; Zacchi, Guido (2002): A review of the production of ethanol from softwood. In: Applied microbiology and biotechnology 59 (6), S. 618–628.
- [8] Kasal, Bohumil; Leschinsky, Moritz; Oehr, Christian; Unkelbach, Gerd; Wolperdinger, Markus (2019): Das Wertstoff-Prinzip. In: Reimund Neugebauer (Hg.): Biologische Transformation. Berlin, Heidelberg: Springer; Springer Berlin Heidelberg, S. 265–315.
- [9] Kharazipour, A.; Huettermann, A.; Luedemann, H. D. (1997): Enzymatic activation of wood fibres as a means for the production of wood composites. In: Journal of Adhesion Science and Technology 11 (3), S. 419–427.
- [10] Kirchner, R. (2002): Recycling von Holzwerkstoffen durch das Verfahren der thermohydrolytischen Spaltung. In: 2. Fachtagung Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie, S. 72–81.
- [11] Krug, Detlef; Mäbert, M.; Tobisch, S. (2011): Optimierung von Pressparametern und Holzwerkstoffeigenschaften durch die Anwendung der IVHF-Technologie. Abschlussbericht. Hg. v. IHD. Dresden.
- [12] Lesar, Boštjan; Humar, Miha; Hora, Guido; Hachmeister, Philipp; Schmiedl, Detlef; Pindel, Elvira et al. (2016): Utilization of recycled wood in biorefineries. Preliminary results of steam explosion and ethanol/water organosolv pulping without a catalyst. In: European Journal of Wood and Wood Products 74 (5), S. 711–723.
- [13] Mantau, Udo; Döring, Przemko; Weimar, Holger; Glasenapp, Sebastian (Hg.) (2018): Rohstoffmonitoring Holz. Mengenmäßige Erfassung und Bilanzierung der Holzverwendung in Deutschland: Verbundvorhaben Rohstoffmonitoring Holz: gefördert durch: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe, 38). Online verfügbar unter <https://edocs.tib.eu/files/e01fn18/1029673020.pdf>.
- [14] Mason, William H. (1926a): Low-temperature explosion process of disintegrating wood and the like. Veröffentlichungsnr: US1586159.
- [15] Mason, William H. (1926b): Process and apparatus for disintegration of wood and the like. Veröffentlichungsnr: US1578609.
- [16] Meinschmidt, Peter; Mauruschat, Dirk; Briesemeister, Robert (2016): Altholzsituation in Europa und Deutschland. In: Chemie Ingenieur Technik 88 (4), S. 475–482. DOI: 10.1002/cite.201500023.
- [17] Michanickl, Andreas; Boehme, Christian (1995): Verfahren zur Wiedergewinnung von Spänen und Fasern aus Holzwerkstoffreststücken, Altmöbeln, Produktionsrückständen, Abfällen und anderen holzwerkstoffhaltigen Materialien. Angemeldet durch Fraunhofer-Gesellschaft, München am 14.03.1995. Veröffentlichungsnr: DE19509152A1.

- [18] Michanickl, Andreas; Boehme, Christian (1996): Wiedergewinnung von Spänen und Fasern aus Holzwerkstoffen. Spanplatten und MDF können gleiche oder sogar bessere Eigenschaften haben als Platten, die ausschließlich aus Frischspänen und -fasern hergestellt werden. In: HK, Holz Kunstst.verarb. (4), S. 50–55.
- [19] Mohr, Robert; Krug, Detlef (2022): Recycling von Fasern aus gebrauchten (post consumer) HDF/MDF. 14. Holzwerkstoffkolloquium. IHD Institut für Holztechnologie Dresden GmbH. Dresden, 07.04.2022.
- [20] Möller, Achim; Herrlich, Steffen (1994): Kreislauf geschlossen. Platten aus Altmöbeln. In: dds (12), S. 120–125.
- [21] Moreno, Antonio D.; Olsson, Lisbeth (2017): Pretreatment of lignocellulosic feedstocks. In: Rajesh K. Sani und R. Navanietha Krishnaraj (Hg.): Extremophilic Enzymatic Pro-cessing of Lignocellulosic Feedstocks to Bioenergy. Cham: Springer; Springer International Publishing, S. 31–52.
- [22] N.N. (1992): Verfahren zum Recycling von Holzwerkstoffen. Angemeldet durch Pfeleiderer Unternehmensverwaltung GmbH & Co KG am 25.07.1992. Veröffentlichungsnr: DE4224629A1.
- [23] N.N. (2018): MDF Recovery: Erste Anlage zum Recycling von MDF bis 2020. In: Euwid 92 (36), S. 26.
- [24] N.N. (2021): MDF Recovery targets 2022 for first operational plant using waste MDF. In: Wood Based Panels International (4/5), S. 8.
- [25] New, A. J. (2009): RECYCLING TECHNOLOGY. Angemeldet durch MDRF Natural Fibres Limited am 22.12.2009. Veröffentlichungsnr: EP 2 516 730 B1.
- [26] Roffael, E.; Behn, C.; Schneider, T.; Krug, Detlef (2016): Bonding of recycled fibres with urea-formaldehyde resins. In: International Wood Products Journal 7 (1), S. 36–45. DOI: 10.1080/20426445.2015.1131918.
- [27] Roffael, Edmone (1995): Verfahren zum Recyceln von Span- und Faserplatten. Angemeldet durch Roffael, Edmone am 21.07.1995. Veröffentlichungsnr: DE19526667A.
- [28] Roll, H. (2010): Optimierung des Faseraufschlusses im Refiner – Teil 1. Energierrelevante Aspekte der Refinerscheibentechnologie bei der MDF-Herstellung unter Berücksichtigung der Faserqualität. In: Holzzentralblatt (16), S. 423–424.
- [29] Schlipphak, G. (1965): Das Sandberg-Verfahren zur Rückgewinnung von Spänen aus Spanplattenabfällen. In: Holz als Roh- und Werkstoff (4), S. 154–155.
- [30] Schutyser, W.; Renders, T.; van den Bosch, S.; Koelewijn, S-F; Beckham, G. T.; Sels, Bert F. (2018): Chemicals from lignin. An interplay of lignocellulose fractionation, depolymerisation, and upgrading. In: Chemical Society Reviews 47, S. 852–908.
- [31] Steckel, Vera (2021): Holzmärkte – wohin geht künftig die Reise. In: Holz-Zentralblatt (42), S. 754–755.
- [32] Steckel, Vera (2022): Unilin Panels will 25 % Recyclingfasern einsetzen. Dampfexplosionsverfahren des belgischen Holzwerkstoffherstellers macht Recycling von MDF und HDF möglich. In: Holz-Zentralblatt 148 (44), S. 762.
- [33] Stenberg, Kerstin; Tengborg, Charlotte; Galbe, Mats; Zacchi, Guido (1998): Optimisation of steam pretreatment of SO₂-impregnated mixed softwoods for ethanol production. In: J. Chem. Technol. Biotechnol. 71 (4), S. 299–308.
- [34] Strohmeyer, Anemon (2018): Der Schein trägt. Blick auf die Zahlen der Holzwerkstoffindustrie greift zu kurz. In: Holz-Zentralblatt 144 (51/52), S. 1175.
- [35] Swatloski, Richard P.; Spear, Scott K.; Holbrey, John D.; Rogers, Robin D. (2002): Dissolution of cellulose with ionic liquids. In: Journal of the American Chemical Society 124 (18), S. 4974–4975.
- [36] Tengborg, Charlotte; Stenberg, Kerstin; Galbe, Mats; Zacchi, Guido; Larsson, Simona; Palmqvist, Eva; Hahn-Hägerdal, Bärbel (1998): Comparison of SO₂ and H₂SO₄ impregnation of softwood prior to steam pretreatment on ethanol production. In: ABAB 70 (1), S. 3.

- [37] Wang, Kun; Chen, Jinghuan; Sun, Shao-Ni; Sun, Run-Cang (2015): Steam Explosion. In: Ashok Pandey, Sangeeta Negi, Parmeswaran Binod und Christian Larroche (Hg.): Pretreatment of Biomass // Pretreatment of biomass. Processes and technologies. Amsterdam: Elsevier, S. 75–104.
- [38] Weinkötz, S. (2017): Holzklebstoffe und -bindemittel – Trends und Herausforderungen aus Sicht der Grundlagen- und Industrieforschung. In: Bayern Innovativ (Hg.): Kleben von Holz und Holzwerkstoffen. Kleben von Holz und. Würzburg, 21.-22.06.2017. Bayern Innovativ. 3. Aufl. Würzburg: Selbstverlag.
- [39] Wertz, Jean-Luc; Deleu, Magali; Coppée, Séverine; Richel, Aurore (2017): Hemicelluloses and Lignin in Biorefineries: CRC Press.