

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 20166 BR

Thema

Nutzung montanwachshaltiger Additive zur Herstellung von Holzwerkstoffen auf Basis von alternativen Rohstoffen

Berichtszeitraum

01.07.2018 bis 31.12.2020

Forschungsvereinigung

Deutsche Braunkohlen-Industrie e.V. – FDBI

Forschungseinrichtung(en)

Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH (IHD)

Gefördert durch:

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	4
2.	Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung.....	6
3.	Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Zielstellung	8
4.	Darstellung der Ergebnisse	10
4.1	Materialien und Verfahren	10
4.1.1	Montanwachse	10
4.1.1.1	Anforderungen an Montanwachsdispersionen.....	11
4.1.1.2	Modifikation von Montanwachsdispersionen.....	12
4.1.2	Holzwerkstoffe	13
4.1.3	Zerfaserung und Beileimung	15
4.1.4	Herstellung der Platten (MDF/HDF).....	16
4.1.5	Materialprüfungen.....	16
4.1.6	Faserstoffanalyse mittels Camsizer.....	17
4.2	Versuchsdurchführung.....	18
4.2.1	Untersuchung der hydrophobierenden Wirkung verschiedener Hydrophobierungsmittel bei der Herstellung von MDF	18
4.2.2	Herstellung von MDF unter Einsatz von Montanwachsen bei verschiedenen Holzarten	22
4.2.2.1	Angleichung der Faserzusammensetzung.....	22
4.2.2.2	Optimierung der Einsatzmenge an Montanwachsdispersionen in MDF.....	25
4.2.2.3	Herstellung von MDF/HDF unter Anwendung der angeglichenen Faserstoffe	27
4.2.2.4	Variation der Holzarten - Blenderbeileimung	27
4.2.2.5	Variation der Holzarten - Blowlinebeileimung	29
4.2.3	Untersuchungen zur Dämmstoffherstellung - Einsatz von Montanwachsdispersionen bei verschiedenen Holzarten	33
4.2.3.1	Industrieäquivalenter Faserstoff.....	33
4.2.3.1.1	Angleichung der Faserstoffzusammensetzung.....	33
4.2.3.1.2	Plattenherstellung zur Beurteilung der Materialeigenschaften.....	34
4.2.3.2	Anteil an Montanwachsdispersionen in Dämmstoffen	35
4.2.3.3	Angleichung der Faserzusammensetzung bei unterschiedlichen Holzarten.....	37
4.2.3.4	Herstellung von Dämmplatten.....	38
4.2.4	Montanwachsdispersionen und alternative Klebstoffe.....	40

4.2.4.1	MDF	40
4.2.4.1.1	Weizenprotein-Bindemittel	40
4.2.4.1.2	pMDI-Klebstoff	41
4.2.4.1.3	Emissionen von MDF	43
4.2.4.2	Untersuchungen zum Einsatz von Montanwachsen zur Hydrophobierung von Dämmstoffmatten	43
4.2.4.2.1	Dämmstoffmatten mit BIKO-Faserbindung	43
4.2.5	Energiebedarf der Faserherstellung	44
5.	Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich der Zielstellung	46
6.	Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises und Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	50
7.	Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Ergebnisse für KMU	51
8.	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	52
8.1	Realisierte Transfermaßnahmen während der Projektlaufzeit	52
8.2	Geplante und realisierte Transfermaßnahmen nach Abschluss der Projektlaufzeit	53
8.2.1	Einschätzung der Realisierbarkeit der geplanten Transfermaßnahmen	54
9.	Literaturverzeichnis	55

1. Zusammenfassung

Untersuchungsgegenstand des Forschungsprojektes war der Einsatz von montanwachshaltigen Hydrophobierungsmitteln bei der Herstellung von lignocellulosen Faserwerkstoffen (MDF, Faserdämmstoffe). Montanwachse sind lokal verfügbare Rohstoffe [1]. Sie ermöglichen den örtlichen Holzwerkstoffherstellern die Unabhängigkeit vom globalen Markt für Wachse und Paraffine. Mit dem Vorhaben wurde an das Vorhaben IGF 17040 BR [2] angeknüpft, in dem eine gute hydrophobierende sowie eine klebunterstützende Wirkung von montanwachshaltigen Dispersionen für lignocellulose Faserwerkstoffe auf Basis von Nadelholz nachgewiesen wurde. Der Schwerpunkt dieses Vorhabens lag darauf aufbauend in der Untersuchung der Wechselwirkung von Montanwachsen mit alternativen lignocellulosen Rohstoffen (Laubholz) und Bindemitteln (pMDI, BIKO-Fasern, Proteinen). Angestrebt wurde eine nahezu vollständige Substitution herkömmlicher Rohstoffe, Bindemittel und Paraffine. Im Fokus standen die lokal verfügbaren Holzarten Buche und Pappel. An plattenförmigen lignocellulosen Faserwerkstoffen (MDF, Dämmstoffe) wurden die Wechselwirkungen zwischen Faserstoff/Klebstoff und Montanwachsdispersionen untersucht und die funktionalen Zusammenhänge definierter hygrischer und mechanischer Eigenschaften ermittelt. Weiterhin sollte ermittelt werden, ob die Montanwachse eine signifikante Verringerung des Klebstoffeinsatzes bei der Faserplattenherstellung ermöglichen.

Dazu wurden zunächst neue Montanwachsformulierungen entwickelt und optimiert sowie vorteilhafte Prozessparameter zur Herstellung von Faserstoffwerkstoffen abgeleitet. Durch den Einsatz von 0,5 wt-% Montanwachs der entwickelten Formulierung RO-03 konnten im Vergleich zur industrieäquivalenten Referenz ein verbessertes Verhalten bei Druckbelastung und eine verbesserte Querkzugfestigkeit und Wasseraufnahme bei Dämmstoffen über alle untersuchten Holzsorten hinweg beobachtet werden. Beispielsweise ergab sich für Dämmplatten aus Buchenholzfasern durch Substitution konventioneller Paraffinwachse durch Montanwachse eine Steigerung der Druckspannung bei 10 % Stauchung um 12 % und eine Verringerung der Wasseraufnahme um 6 %.

Im Forschungsvorhaben konnte gezeigt werden, dass Laubhölzer für den Einsatz in MDF und HDF grundsätzlich eine Alternative darstellen. Bei mittels Blowlinebeimung hergestellten MDF und HDF konnten bei Zugabe von RO-03 auf Buchenfasern sogar geringere Quellungen und höhere Festigkeiten als bei Kiefernholz erzielt werden, wenn mit 180°C gepresst wurde.

Darüber hinaus wurde der Einfluss der bevorzugten Formulierung RO-03 auf mit Weizenprotein gebundene MDF untersucht. Bei 12 % Weizenprotein und 0,5 % Hydrophobierungsmittel wurden die Normanforderungen an die Querkzugfestigkeit nach DIN EN 622 beim Einsatz herkömmlicher Paraffinwachse noch verfehlt, während bei Einsatz des Montanwachsäquivalentes diesen Vorgaben im entsprochen werden konnte.

Die im Vorgängerprojekt IGF 17040 BR beobachtete klebunterstützende Wirkung der Montanwachse bei MDF mit Kiefernfasern konnte nur bei hohen Presstemperaturen von 220°C bestätigt werden. Bei geringeren Presstemperaturen (180°C) war der Effekt entgegen der Annahmen nicht feststellbar. Hinsichtlich des prozesssicheren Einsatzes von Montanwachsen besteht diesbezüglich weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Die Wechselwirkungen von Montanwachsen und unterschiedlichen Presstemperaturen sollte Bestandteil nachfolgender Untersuchungen sein.

Durch die Substitution herkömmlicher Wachse mit Montanwachsen ergibt sich bei MDF mit Presstemperaturen ≥ 200 °C und bei Dämmstoffen ein Potential für Einsparungen, sowohl bei konventionellen Klebstoffen als auch beim

biobasierten Bindemittel Weizenprotein. Mit den Ergebnissen des Vorhabens entstehen neue Märkte für die mittelständisch geprägten Branchen der Montanwachshersteller, der Bindemittel- und Additivhersteller, der Sägeindustrie in der Zuliefererkette der Holzwerkstoffindustrie, für Dämmstoffhersteller (vorwiegend KMU) sowie für Anwender (Möbelbau, Hochbau) von Holzwerkstoffen mit neuen spezifischen Eigenschaften.

2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Im Jahr 2019 wurden in Europa ca. 56,2 Mio. m³ Holzpartikelwerkstoffe hergestellt [3]. Neben Holz und Bindemittel finden zur Herstellung dieser Werkstoffe verschiedene Additive zur Funktionalisierung Anwendung [4]. Die mengenmäßig bedeutsamsten Additive sind Hydrophobierungsmittel. Bei einem durchschnittlichen Einsatz von 0,5% Hydrophobierungsmittel (bezogen auf atro Holzeinsatz) ¹ergibt sich für Europa ein jährlicher Verbrauch von ca. 196 Mio. Litern Hydrophobierungsmittel.

Eine alternative, regionale Quelle für Hydrophobierungsmittel könnte zu einem Wettbewerbsvorteil für die regionalen Holzwerkstoffhersteller führen. In früheren Vorhaben wurden bereits alternative Hydrophobierungsmittel, wie Tallharz, Bitumendispersion und Kugeldistelöl als Hydrophobierungsmittel untersucht [5], allerdings konnte mit keinem der genannten Additive eine mit Paraffin-Dispersion vergleichbare Hydrophobierung erzielt werden. Wie die Ergebnisse aus dem Vorgängerprojekt IGF 17040 BR gezeigt haben, ist Montanwachs hingegen sehr gut zur Hydrophobierung von UF-Harz gebundenen MDF aus Kiefernholz geeignet.

In diesem Projekt wurden darauf aufbauend die folgenden wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Problemstellungen untersucht:

Einsatz von Laubholz und Verträglichkeit mit montanwachshaltigen Dispersionen

Traditionell wird für die Holzwerkstoffherstellung in Europa vor allem Nadelholz, bei MDF speziell Kiefer und Fichte eingesetzt. Aufgrund des ökologischen Waldumbaus hin zu Mischwäldern ist in Zukunft mit einem höheren Laubholzaufkommen zu rechnen [6]. Das führt dazu, dass bei der Holzwerkstoffherstellung Nadelholz teilweise oder komplett durch Laubholz ersetzt werden muss. Es ist bekannt, dass die Holzart die Werkstoffeigenschaften sehr stark beeinflusst. So wirkt sich Buchenholz nachteilig auf die Quell- und Schwindeigenschaften von MDF aus [7], während die Querszugfestigkeit positiv beeinflusst wird. Gründe dafür liegen in den Unterschieden zwischen dem anatomischen und chemischen Aufbau der verschiedenen Holzarten. Ein verminderter pH-Wert beschleunigt die Aushärtung der meisten Kondensationsharzklebstoffe. Das kann zu Voraushärtung und somit zu Klebwirkungsverlust führen. Der hohe pH-Wert der Montanwachs-Dispersionen kann dem entgegen wirken [2].

Reduktion des Klebstoffeinsatzes

Ein verringerter Klebstoffeinsatz wirkt sich sowohl auf die Emissionen aus dem Material als auch auf die Produktionskosten bei der Holzwerkstoffherstellung aus. Aufbauend auf den Erkenntnissen zur klebunterstützenden Wirkung von Montanwachs bei Nadelholz wurde untersucht, ob der Klebstoffanteil reduziert werden kann, ohne signifikante Änderungen der Eigenschaften der erzeugten Holzwerkstoffe hervorzurufen. Die Produktionskosten können verringert werden, wenn die Verringerung der benötigten Klebstoffmenge die Kosten für das neue Hydrophobierungsmittel übersteigen.

¹ Bei 56,2 Mio. m³ Holzwerkstoffen mit einer durchschnittlichen Dichte von 700 kg/m³ und einem Hydrophobierungsmittelanteil von 0,5 wt-%

Klebstoffemissionen

Formaldehydbasierte Klebstoff, wie UF-Harz-Klebstoffe stehen immer stärker in der Kritik. Das als Vernetzer fungierende Formaldehyd ist als krebserregend eingestuft; Formaldehydemissionen aus dem Werkstoff und während der Herstellung unterliegen niedrigen Grenzwerten. Um diese Grenzwerte dauerhaft einhalten zu können, werden zunehmend alternative Klebstoffsysteme eingesetzt [8]. Deren Zusammenwirken mit den montanwachshaltigen Dispersionen ist nicht bekannt. Neben pMDI eignen sich auch natürliche Rohstoffe auf Proteinbasis prinzipiell als Bindemittel für Holzwerkstoffe [9]. Proteinbindemittel weisen jedoch noch unzureichende Eigenschaften bei Feuchteeinwirkung auf. Durch die Kombination mit Montanwachs könnten diese Defizite behoben werden.

Energieverbrauch bei der Holzwerkstoffherstellung

Nach dem Faserstoffausschluss und der Klebstoff/Additivbeaufschlagung in der Blowline muss dem Faserstoff Feuchtigkeit durch Trocknung entzogen werden. Durch die Reduktion der eingesetzten Klebstoffmenge aufgrund der klebunterstützenden Wirkung des Montanwachses könnte auch der Wassereintrag vermindert werden. Dadurch kann potenziell Energie bei der Trocknung gespart werden. Die Erweichungstemperatur von Laubholz ist niedriger als die von Nadelholz [10]. Wird also Laubholz für die Herstellung von Faserplatten verwendet, könnte thermische Energie gespart werden, wenn die Temperatur im Kocher der Zerfaserungseinheit verringert wird. Wird die Temperatur im Vergleich zur Zerfaserung von Nadelholz nicht verringert, kann elektrische Energie aufgrund der weiter fortgeschrittenen Erweichung der Holzstruktur, und der daraus resultierend geringeren benötigten Mahlenergie während des Defibrilierungsprozesses, gespart werden.

3. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Zielstellung

Das Vorhaben baut auf den Ergebnissen des IGF-Projekts „Wachshaltige Additive“ (IGF 17040 BR) [2] auf, in dem nachgewiesen wurde, dass:

- bei vollständiger Substituierung klassischer Paraffinwachsdispersionen durch Montanwachse entsprechend additivierte lignocellulose Faserwerkstoffe (MDF, Holzfaserdämmstoffe) aus Nadelholz mit vergleichbaren mechanischen und hygrischen Eigenschaften hergestellt werden können.
- über ein breites Spektrum von Klebstoff- sowie Additivdosierungen montanwachshaltige Dispersionen gegenüber Paraffinemulsionen die Dicken- und Kantenquellung nach Wasserlagerung bei der Verwendung von Kiefernholz als Faserrohstoff herabsetzen.
- im Vergleich zur Verwendung klassischer Paraffinemulsionen die Feststoffanteile sowohl des Bindemittels als auch des Hydrophobierungsmittels reduziert werden können. Damit wird der Einsatz von Montanwachsen als Additiv zur Hydrophobierung wirtschaftlich attraktiv.
- die Eigenschaften Querkzugfestigkeit (Güte der Verklebungsqualität), Ausgleichsfeuchte sowie Rohdichte der mit Montanwachsen additivierten Holzfaserverwerkstoffe mit denen klassischer Holzfaserverwerkstoffe vergleichbar sind.
- die Zugabe von montanwachshaltigen Additiven während der Blowline-Beleimung erhöht die Querkzugfestigkeit gegenüber MDF mit Standard-Hydrophobierungsmittel (und gleichem Feststoffanteil) .

Dies spricht für eine Verstärkung der Verklebungsqualität durch die Montanwachse.

Ziel des Vorhabens waren (a) die Weiterentwicklung von montanwachs-basierten Hydrophobierungsmitteln und (b) die Entwicklung von lignocellulosen Faserwerkstoffen (MDF; Dämmstoffe) aus bis zu 100 % alternativen Rohstoffen unter Einsatz von Montanwachsen. Unter alternativen Rohstoffen werden Laubhölzer und im Vergleich zur industriellen Praxis emissionsarme Bindemittel (natürliche Bindemittel, emissionsarme UF-Harze) sowie etablierte formaldehydfreie Klebstoffe (BIKO-Fasern, pMDI) verstanden.

Die wissenschaftlich-technischen Ziele des Forschungsvorhabens waren:

- Herstellung von montanwachs-basierten Hydrophobierungsmitteln mit hoher Stabilität und Lagerungsfähigkeit
- Bewertung der Effektivität bevorzugter Montanwachsdispersionen zur Hydrophobierung und des Einflusses auf die mechanischen Eigenschaften von Laubholz-MDF und Dämmstoffen
- Maximierung des Laubholzanteils bei MDF und Dämmstoffen bei gleichbleibenden mechanischen und hygrischen Eigenschaften im Vergleich zu Kiefernholz
- Identifikation von Wechselwirkungen zwischen Montanwachsdispersionen und Faserbeschaffenheit (Partikelanalyse)
- Identifikation von Wechselwirkungen zwischen Montanwachsdispersionen und den industriellen Bindemitteln
- Identifikation von Wechselwirkungen zwischen Montanwachsdispersionen und Bindemitteln mit verminderten Formaldehydemissionen (UF-Harz mit geringem Formaldehydanteil, pMDI, Biko Fasern, Weizenproteine)
- Untersuchung des Einflusses von Montanwachsdispersionen auf das Emissionsverhalten von MDF
- Ableitung von Verfahrensrichtlinien für den Einsatz von Montanwachsdispersionen

Die wirtschaftlichen Ziele des Forschungsvorhabens waren:

- Bereitstellung eines effizienten Hydrophobierungsmittels aus lokalen Rohstoffquellen
- Senkung der Einsatzmenge von Bindemittel und Additiven als Beitrag zur Kostensenkung von faserbasierten Holzwerkstoffen
- Senkung des Energieaufwandes bei der Zerfaserung und Trocknung

4. Darstellung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse des Forschungsvorhabens vorgestellt. Eine Gegenüberstellung mit den Zielen und Bewertung der erzielten Ergebnisse wird in Kapitel 5 vorgenommen. Die Darstellung der Ergebnisse folgt dabei nicht der Reihenfolge der im Antrag definierten Arbeitspakete.

4.1 Materialien und Verfahren

4.1.1 Montanwachse

Montanwachs ist ein fossiles Hartwachs, dessen Entstehung auf die subtropische Pflanzenwelt des geologischen Erdgeschichtszeitalters des Tertiär zurückgeht [1]. Es wird extraktiv aus Braunkohle gewonnen (Abbildung 1). Bei Montanwachs handelt es sich um ein kompliziert zusammengesetztes Vielstoffgemisch. Unter den Bedingungen der Inkohlung haben diese Pflanzenwachse eine, wenn auch geringe, stoffliche Veränderung erfahren. Kondensationsreaktionen zwischen ein- und mehrfach funktionellen Verbindungen führten zu höhermolekularen Substanzen. Diese Komponenten liegen hauptsächlich verestert vor, daher wird Montanwachs im chemischen Sinne auch als Esterwachs bezeichnet. Weitere Bestandteile sind das Montanharz, Ketone und Kohlenwasserstoffe sowie Dunkelstoffe.

Pro Jahr werden in Deutschland ca. 15.000 ... 20.000 Tonnen produziert. Der Großteil der produzierten Menge dient der wachsbleichenden Industrie als Ausgangsstoff. Ein weiteres Haupteinsatzgebiet besteht in der Verwendung zur Hydrophobierung von Gipskartonplatten für Feuchträume [1]. Im Anschluss an die Extraktion der Montanwachse aus der Braunkohle kann diese weiterhin zur Energiegewinnung genutzt werden.



Abbildung 1: Aus Braunkohle extrahiertes Montanwachs [Quelle: ROMONTA Holding GmbH]

4.1.1.1 Anforderungen an Montanwachsdispersionen

In der Holzwerkstoffindustrie werden Partikelwerkstoffen zwischen 0,2 und 2 % Hydrophobierungsmittel (bezogen auf atro Holzeinsatz) zugegeben [11]. Um bei diesen geringen Anteilen eine homogene Verteilung und gute Verarbeitbarkeit zu erreichen, werden Montanwaxse nach dem in Abbildung 2 schematisch dargestellten Ablauf in wässrige Montanwachsdispersionen überführt.

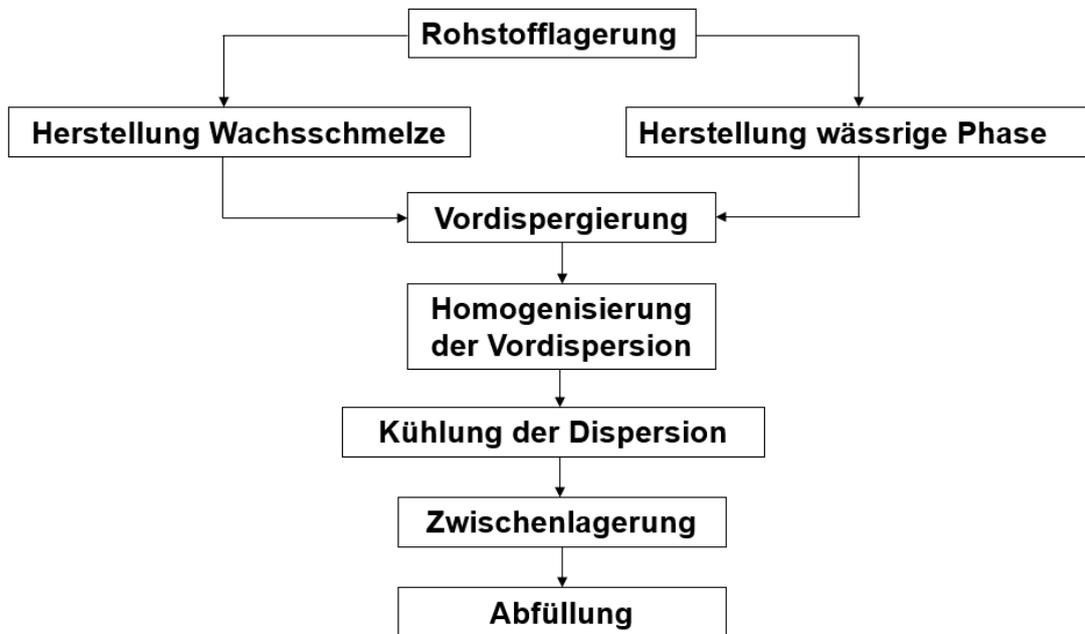


Abbildung 2: Herstellungsverfahren von Montanwachsdispersionen

Neuartige Montanwachssysteme sind nur dann erfolgversprechend, wenn sie den Anforderungen an den industriellen Prozess der Holzwerkstoffherstellung genügen. Abgeleitet aus den Industrieanforderungen und den Ergebnissen des Vorgängerprojektes IGF 17040 BR wurden in Absprache mit den im projektbegleitenden Ausschuss beteiligten Projektpartnern folgende Anforderungen an Montanwachsdispersionen formuliert, um eine stabile Verarbeitung bei guten Hydrophobierungseigenschaften sicherzustellen:

Tabelle 1: Anforderungsliste für neuartige Montanwachsdispersionen

Anforderung	Kategorie
Feststoffgehalt mindestens 50-wt%	M
Hydrophobierungswirkung bei HWS besser als Paraffinreferenz	F
Möglichst geringe Viskosität ohne große Änderungen im zeitlichen Verlauf; 100 - 1500 mPas	M
Möglichst geringe Teilchengröße $d_{10}/d_{50}/d_{90}$ [μm] = max. 1,5 / 2,5 / 4,5	M
Möglichst hohe Langzeitstabilität bei Lagerung, mindestens 1 Jahr	M
pH-Wert 10 -14	F

M...Mindestforderung, F...Festforderung

4.1.1.2 Modifikation von Montanwachsdispersionen

Abbildung 3 zeigt die Modifikationsmöglichkeiten an Montanwachsdispersionen. Zum einen kann die Zusammensetzung der dispersen Phase modifiziert werden. Im Projekt wurde ein hoher Montanwachsanteil angestrebt. Zum anderen kann die äußere Phase angepasst werden. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Stabilität der Dispersion wurden Stabilisatoren (Methylcellulose, Carboxymethylcellulose), pH-Regulatoren (variierender Anteil basischer Komponenten KOH/NaOH) und Viskositätsregler (Celluloseester, Xanthan) zugesetzt.

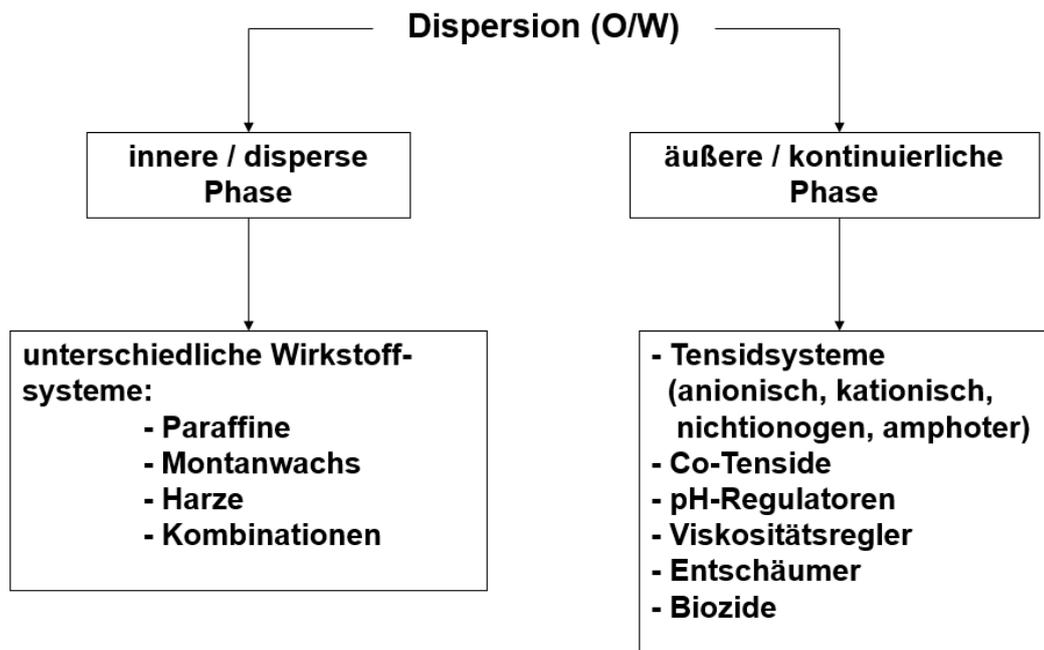


Abbildung 3: Aufbau/Modifizierungsmöglichkeiten von Montanwachsdispersionen

Darüber hinaus wurden auch die folgenden Parameter bei der Dispergierung variiert:

- Dispersionsaggregat Ultra-Turrax (UT) oder Hochdruckhomogenisator (HD)
- Reihenfolge der Zugabe
- Zerkleinerungsverfahren
- Temperaturverlauf
- Druckverhältnisse im HD-Homogenisator bzw. Drehzahl im Ultra-Turrax.

Aus den hergestellten Montanwachsdispersionen wurden drei Varianten ausgewählt und zur Hydrophobierung von Holzwerkstoffen eingesetzt. Die Eigenschaften der bevorzugten Dispersionen sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 2: Aufbau und Kenndaten der bevorzugten Dispersionen

	Dispersion RO-01	Dispersion RO-02	Dispersion RO-03
Aufbau	MW+Paraffin 1	MW+Paraffin 2 (andere Provenienz)	MW+Paraffin 1+ Naturharz
Feststoffgehalt [Ma.-%]	55,9	55,9	55,5
pH-Wert	10,2	10,1	10,3
dyn. Viskosität [mPas]	462	252	246
TG-Verteilung ($d_{10}/d_{50}/d_{90}$)	[μm] 0,3 / 0,4 / 0,6	0,3 / 0,4 / 0,5	0,3 / 0,4 / 0,6
spezif. Oberfläche [m^2/cm^3]	15,7	15,7	15,7

4.1.2 Holzwerkstoffe

Unter Verwendung der beschriebenen Montanwachsdispersionen erfolgte im Ressort Werkstoffe des Instituts für Holztechnologie Dresden (IHD) zunächst die labortechnische Herstellung von MDF. In Absprache mit den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses wurden im Verlauf des Projektes neben MDF mittlerer Dichte auch MDF hoher Dichte in die Untersuchungen aufgenommen. MDF hoher Dichte (im Folgenden als HDF bezeichnet) werden u.a. als Trägermaterial für Laminatfußböden eingesetzt. Für die Herstellung von Laborplatten wurden die in den folgenden Tabellen dargestellten Parameter festgelegt:

Tabelle 3: Parameter von Laborplatten - MDF mittlerer Dichte

Rohdichte	700 kg/m ³
Plattenaufbau	einschichtig
Rohplattendicke	10,5 mm
Plattenformat	440 x 460 mm
Schleifen	Körnung 80/150; Schleifen auf 10 mm
Besäumen auf	380 x 400 mm
Klebstoffe	Abhängig vom AP

Tabelle 4: Parameter von Laborplatten - MDF hoher Dichte

Rohdichte	850 kg/m ³
Plattenaufbau	einschichtig
Rohplattendicke	8,5 mm
Plattenformat	440 x 460 mm
Schleifen	Körnung 80/150; Schleifen auf 10 mm
Besäumen auf	380 x 400 mm
Klebstoffe	Abhängig vom AP

Ein zweiter Schwerpunkt des Projekts neben MDF lag beim Einsatz von wachshaltigen Additiven auch für Faserdämmstoffe. Hierbei wurden Dämmplatten und Dämmmatten labortechnisch erzeugt. Dämmplatten weisen eine höhere Druckfestigkeit auf und können z.B. im Bodenbereich eingesetzt werden. Dämmmatten, z.B. für die Isolierung im Wandbereich, haben eine geringere Druckfestigkeit, aber deutlich geringere Dichten und bessere Isolationswerte. Als Bindemittel für Dämmmatten wurden im Forschungsprojekt BIKO-Fasern (thermoplastische Fasern, die den Holzfasern beigemischt und während des Pressens aufschmelzen) eingesetzt. Für die Herstellung von Dämmplatten kam der handelsübliche MDI-Klebstoff I-BOND® WFI 4370 der Firma Huntsman zum Einsatz.

Tabelle 5: Parameter von Laborplatten - Dämmplatten

Rohdichte	180 kg/m ³
Plattenaufbau	einschichtig
Plattendicke	60 mm
Plattenformat	560 x 560 mm
Besäumen auf	500 x 500 mm
Klebstoffe	Huntsman I-BOND® WFI 4370

Tabelle 6: Parameter von Laborplatten - Dämmmatten

Rohdichte	60 kg/m ³
Plattenaufbau	einschichtig
Plattendicke	60 mm
Plattenformat	560 x 560 mm
Besäumen auf	500 x 500 mm
Klebstoffe	BIKO-Faser: PA/PP 90°C/160°C, 6 mm

Holzarten

Neben den in der Holzwerkstoffindustrie etablierten Nadelholzarten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes die Laubholzarten Buche und Pappel zur Herstellung von Faserstoff verwendet. Entsprechend Tabelle 7 kamen Hackschnitzel aus industrieller Produktion sowie am IHD hergestellte Hackschnitzel zum Einsatz. Das Buchenholz stammt

aus einem Privatforst bei Pirna, die Pappel war Industriefaserholz eines großen Möbelherstellers und das Fichtenholz stammt aus dem Dresdner Umland, die Kiefern hackschnitzel sind Industriehackschnitzel aus Brandenburg.

Tabelle 7: Übersicht über die verwendeten Holzarten

Rohstoff	Bemerkung	im Projekt eingesetzter Rohstoff
Kiefer	Standard-Rohstoff in der Faserplattenherstellung	industrielle Hackschnitzel
Fichte	Standard Rohstoff in der Dämmstoffherstellung	IHD-Hackschnitzel
Buche	Steigender Bestand in deutschen Wäldern; bereits in MDF eingesetzt; noch kein Einsatz bei Dämmstoffen	IHD-Hackschnitzel
Pappel	In Plantagen (KUP) erzeugbar; liefert mit Kiefer vergleichbare Platteneigenschaften [12]; in kleinen Mengen in MDF eingesetzt; nicht eingesetzt in Dämmstoffen	industrielle Hackschnitzel

Klebstoffe

In Tabelle 8 sind die eingesetzten Klebstofftypen aufgeführt. Wie bereits weiter oben beschrieben, kamen bei Dämmstoffen BIKO-Fasern und pMDI-Klebstoffe zum Einsatz. Für die Verklebung der MDF/HDF wurden UF-Klebstoffe, Weizenprotein und pMDI verwendet. Bei den UF-Klebstoffen wurden zunächst der BASF Kaurit K340S mit niedrigerem Formaldehyd-Molmassenanteil (Emissionsklasse E0,5) eingesetzt. Aufgrund unzureichender Performance (hohe Dickenquellungswerte) wurde für die weiteren Untersuchungen zur HDF-Herstellung der Klebstoff BASF Kaurit K350S (garantiert Emissionsklasse E1) eingesetzt.

Tabelle 8: Übersicht über eingesetzte Klebstofftypen

UF-Klebstoff	Kaurit 340S, Kaurit 350S	MDF, HDF
pMDI	Dämmstoff: Huntsman I-BOND® WFI 4370; FSG: 100 % MDF: Huntsman I-BOND® MDF EM 4330; FSG 100 %	MDF; Dämmstoff
BIKO Fasern	2-Komponenten Fasern; thermoplastisches Bindemittel für Dämmstoffe: PA/PP 90°C/160°C, 6 mm	Dämmstoff
Weizenprotein	Gluvital 21000	MDF

4.1.3 **Zerfaserung und Beleimung**

Die Zerfaserung wurde im Projektzeitraum mittels der Laborzerfaserungsanlage (Kocher und 12“-Refiner) am IHD durchgeführt. Der Faserstoff wurde industrieanalog direkt in der Blowline mit Klebstoff beaufschlagt oder nachträglich im Blender mit Klebstoff vermischt. Das Hydrophobierungsmittel wurde bei Direktbeleimung (vor der Klebstoffzugabe) in die Zuführschnecke des Refiners gegeben oder bei Blenderbeleimung im Blender vor der Klebstoffzugabe dosiert.



Abbildung 4: Laborerfaserungsanlage am IHD



Abbildung 5: Labortechnische Blowlinebleimung am IHD

4.1.4 Herstellung der Platten (MDF/HDF)

Die mit Klebstoff beaufschlagten Faserstoffe wurden entsprechend der Plattenmaße und Rohdichte eingewogen und manuell in einen Formkasten gestreut. Nach dem Vorpressen konnten die Platten hergestellt werden. Zum Verpressen der MDF/HDF Platten kam die Heißpresse HLOP 350 (Höfer Oberkolbenpresse) zur Anwendung. Die Dämmstoffe wurden in der Hochfrequenzpresse HLP170HF (Höfer) (Abbildung 6) hergestellt.

Die Platten konditionierten vor dem Prüfkörperzuschnitt minimal 5 Tage im Technikum, dann erfolgte das Besäumen, das Beschichten der entsprechenden Platten (mittels Höfer-KT-Presse) und der Zuschnitt der Prüfkörper.



Abbildung 6: Hochfrequenzpresse am IHD; HLP170HF (Höfer)

4.1.5 Materialprüfungen

An den im Normalklima 20 °C und 65 % rH. konditionierten Prüfkörpern der Laborplatten wurden relevante mechanisch-physikalische Materialeigenschaften entsprechend Tabelle 9 und Tabelle 10 geprüft. Auf Basis der hygri-schen

und mechanischen Eigenschaften konnte die Hydrophobierungswirkung der verschiedenen Rezepturen beurteilt werden.

Tabelle 9: Geprüfte MDF/HDF-Eigenschaften

Physikalische Eigenschaften	Methode
Rohdichte	EN 323
Feuchtegehalt	EN 322
Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene (Querzugfestigkeit)	EN 319
Dickenquellung nach 24 h / 48 h Wasserlagerung	EN 317
Wasseraufnahme nach 24 h / 48 h Wasserlagerung	i.A. EN 317
Kantenquellung ²	EN 13329
Chemische Eigenschaften	
Formaldehyd- und VOC-Abgabe	Gasanalyse-Apparatur i.A. an DIN EN ISO 12460-3 sowie DIN EN 16516

Tabelle 10: Geprüfte Faserdämmstoff-Eigenschaften

Physikalische Eigenschaften	Methode
Rohdichte	EN 323
Feuchtegehalt	EN 322
Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene (Querzugfestigkeit)	EN 319
Wasseraufnahme	i.A. EN 317
Bestimmung des Verhaltens bei Druckbeanspruchung	EN 826

4.1.6 Faserstoffanalyse mittels Camsizer

Faserstoffe sind ein heterogenes Holzfasergemisch aus Staubanteilen, Bruchfasern, Einzelfasern und Faserbündeln. Für die Analyse der Faserstoffzusammensetzung wurde im Forschungsprojekt ein modifizierter CAMSIZER (Abbildung 7, links) eingesetzt.

Der CAMSIZER ist ein kommerzielles, opto-elektronisches Instrument, welches Partikelgrößen und -formen in einem Messbereich von 15 µm bis zu 30 mm in hoher Auflösung berührungslos analysiert. Der CAMSIZER arbeitet mit zwei CCD-Kameras. Eine Basic-Kamera dient der Charakterisierung von Partikeln der Größe 300 µm bis 30 mm. Die Zoom-Kamera nimmt Partikel mit Abmessungen von 15 µm bis 30 mm auf. Den Kameras gegenüberliegend befindet sich eine Flächenbeleuchtungseinheit. Um Faserstoffe auszumessen, werden diese in einen mit Wasser gefüllten Flüssigkeitstank gegeben und dort mittels eines Rührwerkes vereinzelt. Die vereinzelt Fasern werden anschließend durch eine „Flowcell“ geleitet. Diese sorgt dafür, dass die Faser möglichst gerichtet von den Kameras aufgenommen werden. Durch das rückseitige Anstrahlen werden die Partikel als Kontrast aufgenommen. Die Bilder wurden anschließend mittels der Software „ParticleAnalysis PA 1.2.3.4“ ausgewertet (Abbildung 7, rechts).

² Im Gegensatz zu den anderen in der Tabelle aufgeführten Eigenschaftsprüfungen erfolgt die Prüfung der Kantenquellung an melaminfilmbeschichteten Proben. Die Kurztaktbeschichtung mit einem 100 g/m² Melaminfilm erfolgte bei einer Temperatur von 185 °C, mit einem Pressdruck von p_{spez} 45 bar und über eine Haltezeit von 20 s.

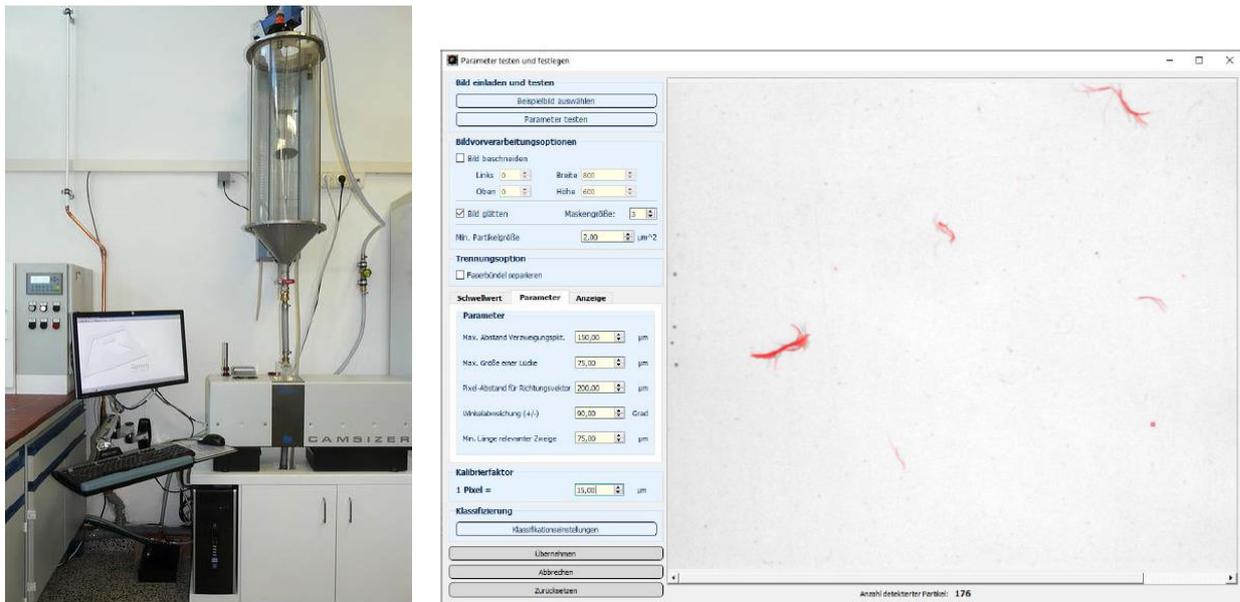


Abbildung 7: Camsizer - Aufbau (links), Parameterdialog (rechts)

Aus der Camsizer-Analyse können Häufigkeitsverteilungen der Partikelgeometrie (Faserlänge, Faserbreite) abgeleitet werden und die geometrische Faserstoffzusammensetzung verschiedener Faserstoffe verglichen werden.

4.2 Versuchsdurchführung

4.2.1 Untersuchung der hydrophobierenden Wirkung verschiedener Hydrophobierungsmittel bei der Herstellung von MDF

Die bei einem Mitglied des projektbegleitenden Ausschusses entwickelten, bevorzugten Montanwachsdispersionen (Kapitel 4.1.1.2) wurden hinsichtlich ihrer Hydrophobierungswirkung bei Holzwerkstoffen analysiert. Dafür erfolgte die Herstellung von MDF aus Standardfaserstoff (Kiefer) mit industrieähnlichen Prozessparametern. Die Presstemperatur lag bei 220°C und der Presszeitfaktor bei 10 - 12 s/mm. Einheitlich kam eine Bindemittelmenge von 10 wt-% UF-Harz auf atro Faserstoff im Blender zur Anwendung. In Abbildung 8 sind die Querkzugfestigkeiten bei Einsatz von Montanwachsdispersionen im Vergleich zu mit handelsüblichen Paraffinwachsdispersionen hydrophobierten Faserstoffen beim Einsatz von 0,5 wt-% Hydrophobierungsmittel, bezogen auf atro Faserstoff, dargestellt. Alle Laborplatten erreichen den Anforderungswert von 0,65 N/mm² der DIN EN 622-5. Die unter Anwendung von Montanwachsdispersionen hergestellten Platten weisen höhere Querkzugfestigkeiten (> 1 N/mm²) auf als die Platten mit konventionellen Hydrophobierungsmitteln. Die im Vorgängerprojekt IGF 17040 BR nachgewiesene klebunterstützende Wirkung der Montanwachse konnte damit bestätigt werden. Bei den mit Montanwachsen hydrophobierten Fasern weisen die Platten mit RO-03 die höchsten Festigkeiten auf.

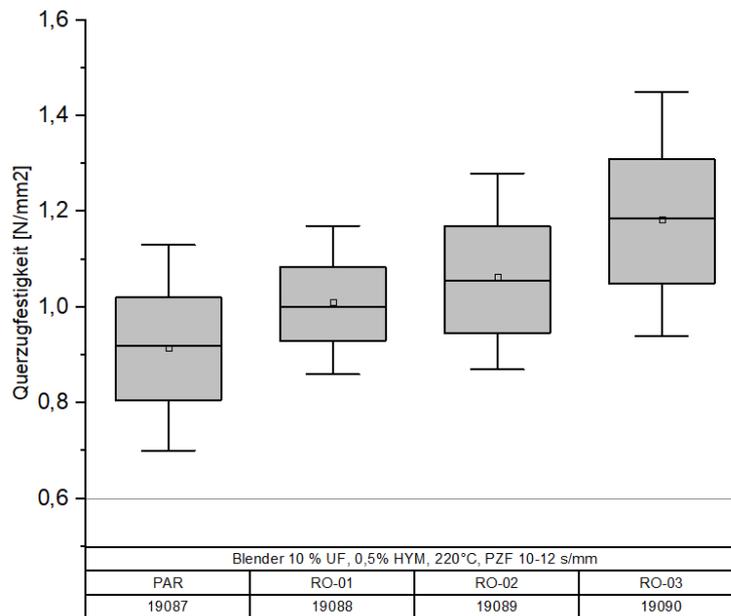


Abbildung 8: Querzugfestigkeiten von 12 mm MDF unter Einsatz von verschiedenen Montanwachsdispersionen (Anteil 0,5 %, bez. auf atro FS)³

Zur Bewertung der hygri-schen Eigenschaften von MDF erfolgte die Bestimmung der Dickenquellung nach EN 317. Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse für die Quellung nach 24 h Wasserlagerung. Alle Laborplatten halten die Normanforderungen nach EN 622-5 ein. Die unter Anwendung von Montanwachsen produzierten Platten weisen geringere Quellungswerte als mit herkömmlich hydrophobierten Faserstoffen hergestellte Platten auf. Im Vergleich der verschiedenen Montanwachse zeigten die Laborplatten mit der Rezeptur RO-03 die geringste Quellneigung.

³ Zur besseren Identifikation und zum Abgleich mit Rohdaten sind in diesem und folgenden Diagrammen die Plattennummern (19087,19088) aufgeführt.

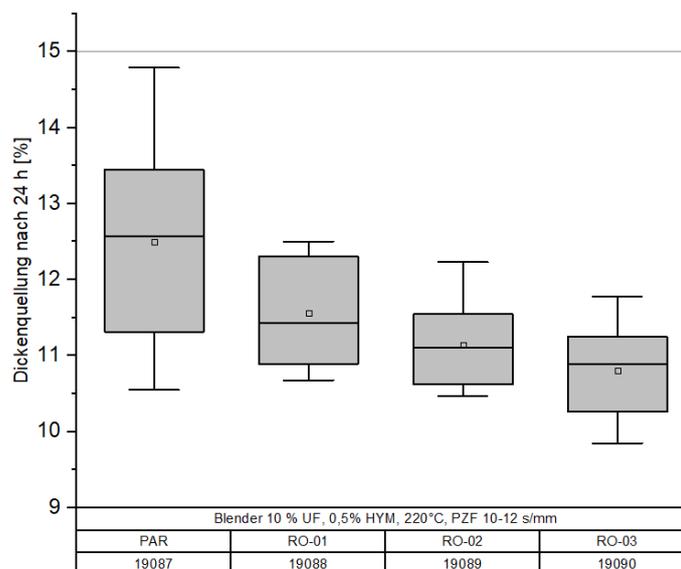


Abbildung 9: Dickenquellung von MDF bei variierenden Montanwachsdispersionen

Abbildung 10 zeigt die Dickenquellungswerte nach 24 h und 48 h (aufgrund der geringen Prüfkörperanzahl als Mittelwert) und die entsprechenden Normanforderungen nach EN 622-5 (95 %-Quantilwerte). Durch den Einsatz der entwickelten Montanwachsdispersionen konnten die Dickenquellungen, wie bereits festgestellt, gesenkt werden. Praxisrelevantes Ziel war nun, die Quellungen soweit zu senken, bis die Anforderungsgrenze für den Typ MDF.H (Verwendung im Feuchtbereich) erfüllt werden (Abbildung 10). Da auch mit der am besten wirkenden Montanwachsdispersion RO-03 Werte im Bereich von 10 % oder kleiner nicht ermittelt werden konnten, wurde die Dispersion erneut modifiziert und die Variante RO-04 entwickelt.

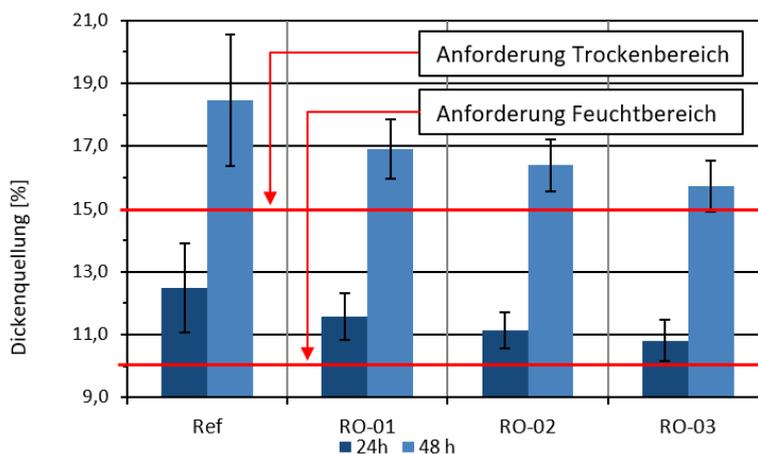


Abbildung 10: Messwerte und Anforderungen an die Dickenquellung nach EN 622-5 im Trocken- und Feuchtbereich

Abbildung 11 zeigt die Festigkeiten und Dickenquellungen von HDF mit RO-03 und RO-04. Vergleichend wurden im gleichen Arbeitspaket ebenfalls Referenzplatten ohne Hydrophobierungsmittel und mit einem etablierten Hydrophobierungsmittel als Referenz hergestellt. Die Einsatzmenge des Hydrophobierungsmittels betrug 0,5 und 1 wt-%. Bei den Dickenquellungswerten zeigte sich keine Verbesserung durch Anwendung der Formulierung RO-04 im Vergleich zu RO-03. Die Quellungen waren bei 1 wt-% RO-04 sogar etwas höher als bei der Referenzvariante. Auch bei den

Festigkeiten zeigte RO-04 keine Eigenschaftssteigerungen. Auch die klebunterstützende Wirkung konnte mit dieser Formulierung nicht nachgewiesen werden.

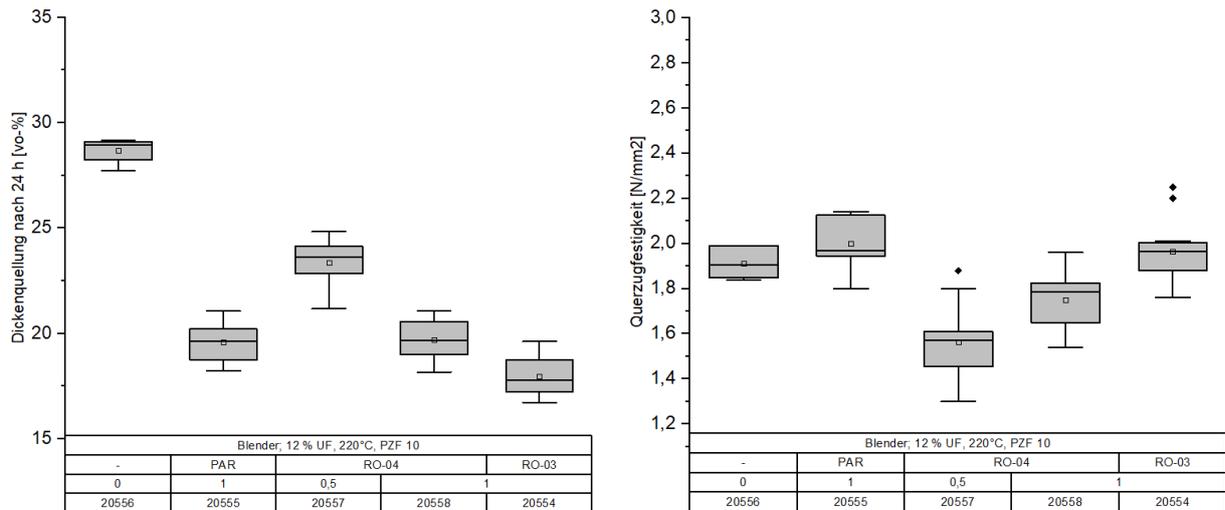


Abbildung 11: Dickenquellung (links) und Querzugfestigkeit (rechts) von HDF mit RO-04 in verschiedenen Anteilen im Vergleich zu Paraffin und RO-03

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde in den folgenden Untersuchungen weiterhin nur die Formulierung RO-03 verwendet.

Eine Anforderung an Hydrophobierungsmittel ist die Lagerungsstabilität. Daher wurde eine 12 Monate unter Raumtemperatur gelagerte RO-03-Dispersion analysiert. Optisch war die Dispersion nach der Lagerung stabil. Es konnte keine Auftrennung in disperse und flüssige Phase beobachtet werden. Mit der abgelagerten RO-03-Dispersion wurden HDF hergestellt und mit Ergebnissen bei Verwendung von frischem RO-03 verglichen. Abbildung 12 zeigt den Einfluss der Lagerungsdauer auf die Querzugfestigkeit (Lagerungsstabilität). Die Querzugfestigkeit der Platten sinkt durch die Lagerung nach einem Jahr auf 84 % der „Anfangsfestigkeit“. Die Anforderungswerte aus EN 622-5 (> 0,8 N/mm²) werden deutlich eingehalten.

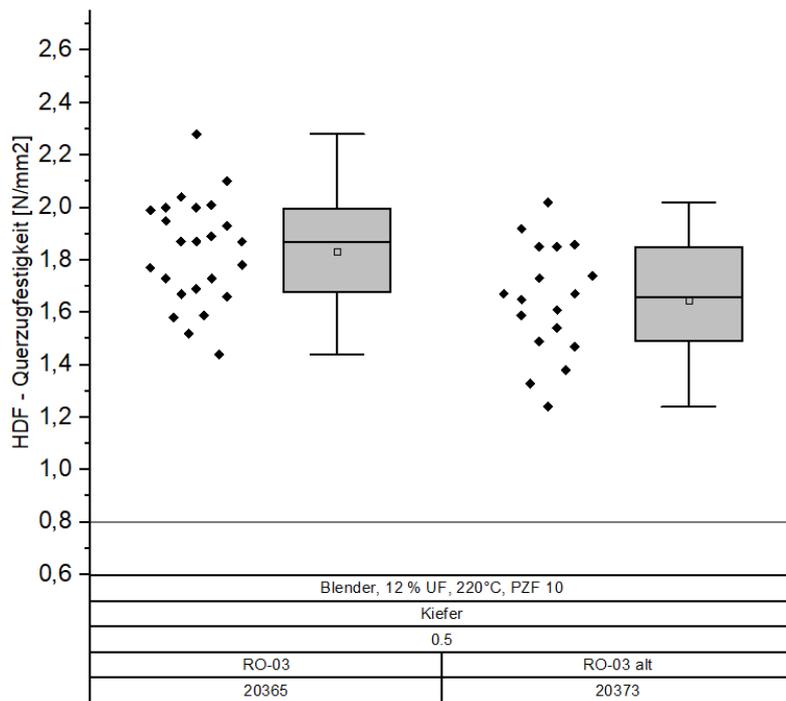


Abbildung 12: Untersuchung des Einflusses der Lagerdauer auf die Querzugfestigkeit (Lagerungsstabilität) von RO-03

4.2.2 Herstellung von MDF unter Einsatz von Montanwachsen bei verschiedenen Holzarten

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Herstellung von mit Montanwachsdispersionen hydrophobierten Holzfasern zur MDF-Produktion unter Einsatz von Laubhölzern. Daher wurden Montanwachsdispersionen auf ihre Wirksamkeit bei der Anwendung von Pappel- und Buchenfasern in MDF untersucht.

4.2.2.1 Angleichung der Faserzusammensetzung

Laubhölzer unterscheiden sich auf makroskopischer und mikroskopischer Ebene deutlich von Nadelhölzern [13]. So ergeben sich bei der Herstellung von Faserstoff bei gleichen Zerfaserungsparametern im Refiner unterschiedliche Faserstoffzusammensetzungen. Um die Hydrophobierungswirkung von Montanwachsdispersionen bei Pappel- und Buchenholz-MDF mit der von industrieäquivalenten Kiefern-MDF vergleichen zu können, muss der Faserstoff eine vergleichbare Zusammensetzung haben. Durch die Variation der Zerfaserungsparameter Mahlsplatt, Kocherdruck und Verweildauer konnte im Forschungsprojekt eine Angleichung der Faserstoffe realisiert werden.

Zunächst wurden die Faserstoffe auf visueller Basis an den Referenzfaserstoff aus Kiefernholz angeglichen, beurteilt wurden der Feinstoffanteil, die Einzelfaserlänge und die Bauschigkeit⁴. Abbildung 13 zeigt den Referenzfaserstoff (Kiefernfasernstoff) und die daran angeglichenen Faserstoffe aus Kiefer/Buche (50:50), Pappel und Buche.

⁴ Bauschigkeit charakterisiert die Voluminösität und das Deformationsverhalten eines Faserbündels

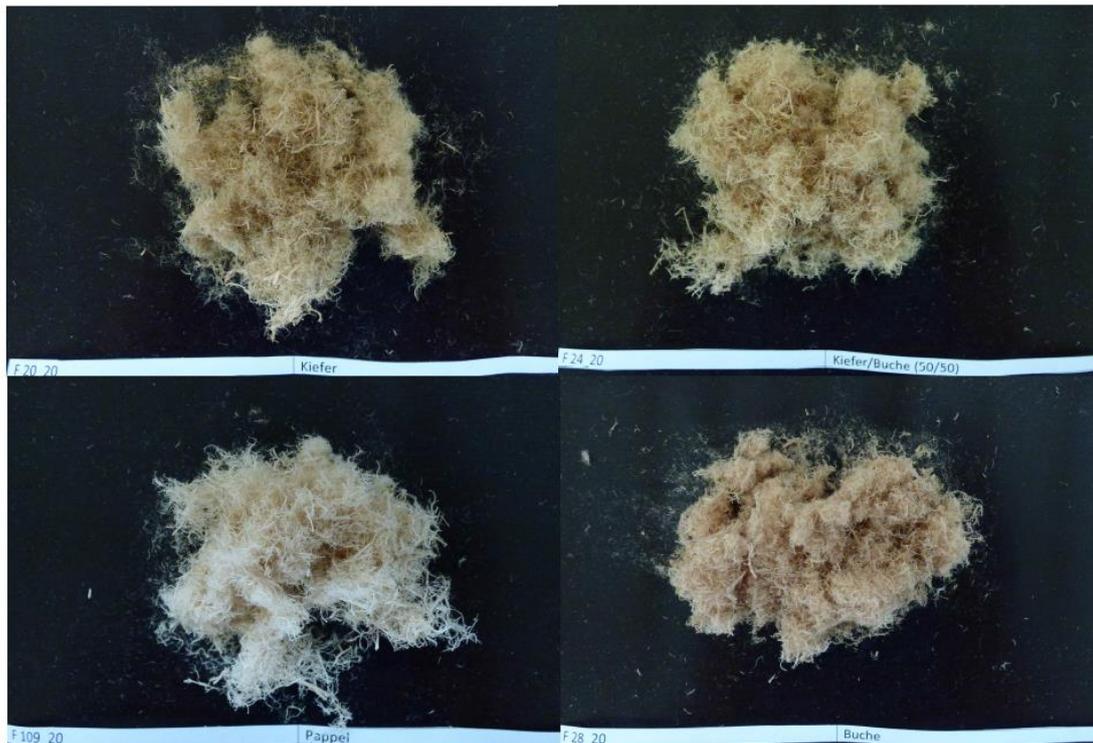


Abbildung 13: Anpassung der Laborfaserstoffe aus verschiedenen Holzarten für MDF/HDF – Visuelle Beurteilung

Zur Verifizierung der visuellen Angleichung erfolgte eine Analyse der hergestellten Faserstoffe mittels des in Kapitel 4.1.6 beschriebenen Camsizerverfahrens. Dabei wurden die Faserstoffe entsprechend ihres Anteils an Partikelklassen nach Tabelle 11 klassifiziert.

Tabelle 11: Partikelklassifizierungen nach [14]

Partikeltyp	Unterklasse	Kriterien	Beschreibung
Staub	1. Feinstaub	Max. Feret < 10 µm	Kleinstbestandteile aus Faserwandbruchstücken
	2. Staub	Max. Feret ≥ 10 µm & < 50 µm	
	3. Grobstaub	Max. Feret ≥ 50 & < 150 µm l/b < 3/1	
Einzelfaser	4. Bruchfaser	l/b min. 3/1 Länge > 100 µm Länge < 1800 µm Breite < 46 µm	Einzel aus dem Holzverbund gelöste Zellen, weiter unterteilt nach Bruchfaser und ganze Faser
	5. Ganze Faser	l/b min. 3/1 Länge > 1800 µm Länge < 3600 µm Breite < 46 µm	
Faserbündel	6. Kompakt	1/C ≥ 0,1	Faserbündel bestehen aus minimal zwei aneinanderhaftenden Zellen und werden nach dem Kehrwert der Kompaktheit wei- ter unterteilt.
	7. Aufgefaser	1/C < 0,1	

In Abbildung 14 ist die Summenhäufigkeitsverteilung der Partikellänge für die untersuchten Faserstoffe dargestellt. Alle Faserstoffe weisen Staub-, Einzelfaser- und Faserbündelanteile auf.

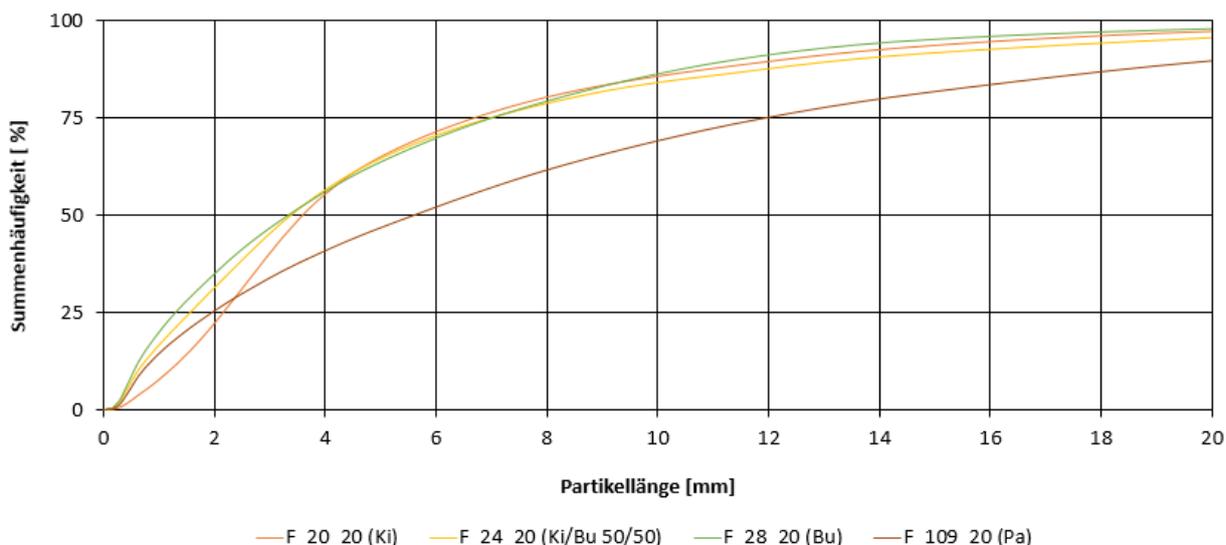


Abbildung 14: Summenhäufigkeit der Partikellängen unterschiedlicher Faserstoffe

Kiefer, Kiefer/Buche und Buchenfaserstoff weisen vergleichbare Faserstoffzusammensetzungen auf. Der Kiefernfaserstoff hat jedoch einen geringeren Staub- und Bruchfaseranteil und einen höheren Anteil an Einzelfasern. Die Pappel weist einen höheren Bruchfaseranteil als Kiefer auf. Die untersuchten Pappelfasern neigen zur Verbündelung und zum Auffasern (wenig Einzelfasern, hoher Faserbündelanteil). Daraus lassen sich die in den folgenden Untersuchungen sehr guten physikalischen Eigenschaften der Pappel ableiten. Tabelle 12 zeigt die Volumenanteile der Partikelklassen am Faserstoff im Detail.

Tabelle 12: Volumenanteile [%] der Partikelklassen bei untersuchten Faserstoffen

		Bündel Kompakt	Buendel Aufgefaser	Einzelfaser	Bruchfaser	Grobstaub	Staub
Kiefer F_20_20	x	56,38	18,47	16,82	5,96	2,22	0,16
	s	0,27	2,13	0,40	1,14	0,51	0,01
	V	0,48%	11,52%	2,39%	19,16%	22,92%	8,78%
Ki/BU 50:50 F_24_20	x	57,09	13,26	5,88	18,80	4,77	0,20
	s	2,73	1,85	0,78	2,43	0,67	0,01
	V	4,79%	13,92%	13,24%	12,93%	14,10%	3,38%
Buche F_28_20	x	62,86	7,51	0,62	23,27	5,41	0,32
	s	2,96	2,13	0,07	3,85	1,31	0,05
	V	4,71%	28,35%	10,85%	16,54%	24,27%	16,61%
Pappel F_109_20	x	54,73	26,27	1,25	15,36	2,11	0,28
	s	4,79	2,66	0,17	1,91	0,22	0,05
	V	8,76%	10,11%	13,40%	12,47%	10,40%	18,34%

Die Zerfaserungsparameter der angenäherten Faserstoffe sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Zerfaserungsparameter für angenäherte Faserstoffe

Holzart	Kiefer	Kiefer/Buche 50:50	Buche	Pappel
Faserstoff-Nr.	F20_20	F24_20	F28_20	F109_20
Druck [bar]	9	6	6	6
Verweilzeit [min]	4	4	4	4 - 5
Mahlspalt [mm]	0,14	0,2	0,35	0,25
n Einspeiseschnecke [U/min]	8,0	8,0	8,0	8,0

4.2.2.2 Optimierung der Einsatzmenge an Montanwachsdispersionen in MDF

Ziel des Forschungsprojektes war eine hohe Hydrophobierungswirkung bei möglichst geringen Einsatzmengen des Hydrophobierungsmittels. Daher erfolgten Untersuchungen zur Herstellung blowlinebelegter MDF mit unterschiedlichen Anteilen an Montanwachsdispersion RO-03 bei der Zerkleinerung von Laubholz (Buche) und Nadelholz (Kiefer). Üblicherweise werden in der Industrie 0,2 – 2 wt-% Hydrophobierungsmittel hinzugegeben [11], im Rahmen des Projektes sollte eine weite Spanne von 0; 0,2; 0,5; 1; 2 wt-% und darüber hinaus auch 5 wt-% Hydrophobierungsmittel hinsichtlich der hydrophobierenden Wirkung untersucht werden. Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse der Dickenquellungen und Abbildung 16 der Querzugfestigkeiten.

Erwartungsgemäß nehmen die Dickenquellungen mit zunehmendem Anteil der Montanwachsdispersionen ab. Durch den Einsatz von 0,5 statt 0,2 wt-% Montanwachsdispersion sinkt die Dickenquellung bei Kiefer um 6,2 % und bei Buche um 5,3 %. Eine weitere Steigerung des Montanwachsanteils von bspw. 0,5 wt-% zu 2 wt-% führt hingegen nur noch zu geringen Verbesserungen in der Dickenquellung (bei Kiefer um 2,2 % und bei Buche um 3,2 % geringere Werte). Weiterhin wurde die Hydrophobierungswirkung von herkömmlichem Paraffin und Montanwachs bei Einsatz von 0,5 wt-% Hydrophobierungsmittel durch die Herstellung von HDF aus Buchenholzfasern mit Referenzplatten aus Kiefernholzfasernstoff verglichen. Mit dem Einsatz von RO-03 konnten die Quellwerte im Vergleich zur Paraffinreferenz bei Buchenholz-HDF geringfügig um etwa 1 % gesenkt werden.

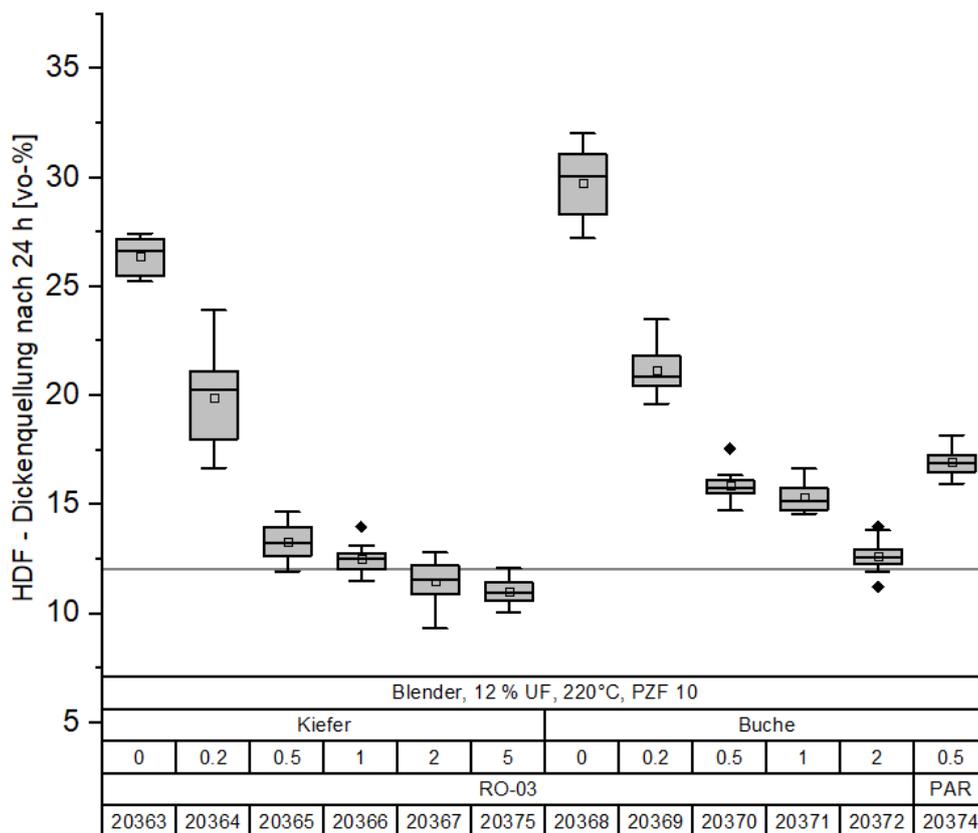


Abbildung 15: Dickenquellung nach 24 h WL von blenderbelegten HDF bei Variation der Anteile an Hydrophobierungsmittel und der Holzart

Entsprechend Abbildung 16 ist der Zusammenhang zwischen den Festigkeiten und den Anteilen der Montanwachsdispersion nicht stetig. Zudem zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Platten aus Kiefern- und Buchenholz.

Bei Kiefer-HDF ergab sich der im Vorgängerprojekt IGF 17040 BR bereits beschriebene klebunterstützende Effekt. Durch den Einsatz von Montanwachsdispersionen stieg die Querkzugfestigkeit und erreichte bei 0,5 wt-% ein Maximum (1,84 N/mm²). Die weitere Steigerung des Montanwachsanteils führte zu geringeren Querkzugfestigkeiten. Der negative Einfluss des Wachses auf die Adhäsion zwischen Bindemittel und Faserstoff übersteigt ab ca. 1 wt-% die Vorteile der klebunterstützenden Wirkung.

Im Gegensatz zu Kiefernholz konnte bei Buchenholz-HDF kein klebunterstützender Effekt beobachtet werden. Mit Zunahme des Anteils an RO-03 sinkt die Querkzugfestigkeit ab und beträgt bei 1 wt-% nur noch 57 % im Vergleich zur Variante ohne Hydrophobierungsmittelzugabe. Eine Verringerung des HYM-Anteils führte bei HDF aus Buchenholz zu höheren Festigkeiten. Ausnahme bildete die Var. mit 2 wt-% RO-03, bei der eine Festigkeitszunahme bei allerdings stark streuenden Einzelwerten festgestellt wurde.

Bei Einsatz von 0,5 wt-% Hydrophobierungsmittel konnte durch den Einsatz von RO-03 die Querkzugfestigkeit bei Buchenholzfaserstoffen im Vergleich zu handelsüblichen Hydrophobierungsmitteln um 38 % gesteigert werden.

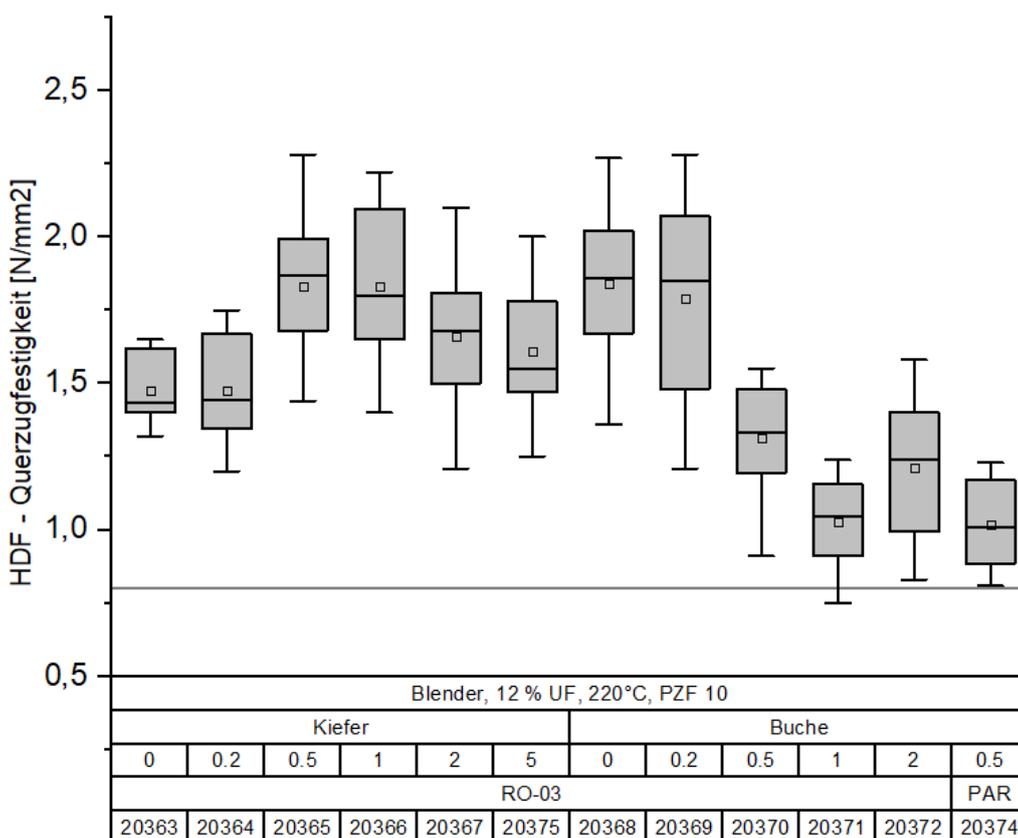


Abbildung 16: Querkzugfestigkeit von blenderbeimten HDF bei Variation der Anteile an Hydrophobierungsmittel und der Holzart

Kiefernholz-MDF weisen bei 0,5 % RO-03 die höchsten Querkzugfestigkeiten auf. Die Quellungswerte nehmen über diese Zugabemenge hinaus zudem kaum ab. Der Einsatz von 0,5 wt-% Hydrophobierungsmittel erweist sich bei Kiefernholz als bevorzugte Einstellung.

Bei Buchenholz kann durch den Einsatz des Hydrophobierungsmittels keine Festigkeitssteigerung erreicht werden. Die Quellungen nehmen analog zum Kiefernholz mit zunehmenden Montanwachsanteil ab. Der Anteil 0,5 wt-% Hydrophobierungsmittelanteil ergibt hohe Querszugfestigkeiten (1,31 N/mm²) und geringe Dickenquellungswerte (15,9 %) und stellt auch bei Buchenholz die vorteilhafteste Einstellung dar. Da sich sowohl für Buchenholz als auch Nadelholz der Hydrophobierungsmittelanteil von 0,5 wt-% hinsichtlich der Platteneigenschaften als vorteilhafteste Variante erwies, wurde in den weiteren Untersuchungen zur Herstellung von MDF/HDF aus unterschiedlichen Holzarten immer 0,5 wt-% Hydrophobierungsmittel eingesetzt.

4.2.2.3 Herstellung von MDF/HDF unter Anwendung der angeglichenen Faserstoffe

MDF/HDF werden üblicherweise bei Temperaturen von 200°C – 220°C gepresst. Insbesondere bei den Laubholzfasern besteht bei diesen hohen Temperaturen ein erhöhtes „Reißerrisiko“ durch den Dampfstoß beim Öffnen der Presse (plötzliche Expansion des im Holz gebundenen Wassers).

Zur Vermeidung von Plattenreißen wurde die Presstemperatur in einem Vorversuch bei Pappelholzfasern als Holzart mit dem erfahrungsgemäß höchsten Reißerrisiko unter den untersuchten Holzarten von 160°C in 10 Kelvin-Schritten erhöht, bis erste Plattenreißer beobachtet wurden. Bei 180 °C und einem Presszeitfaktor von 15 s/mm konnten noch stabil MDF und HDF aus Pappelholz entsprechend der Parameter aus Kapitel 4.1.2 hergestellt werden.

Um eine Vergleichbarkeit bezüglich Querszugfestigkeit und Quelleigenschaften zwischen den untersuchten Holzarten zu gewährleisten, wurden in den nachfolgenden Untersuchungen alle MDF/HDF mit einer Presstemperatur von 180°C hergestellt.

4.2.2.4 Variation der Holzarten - Blenderbeleimung

In diesem Arbeitsprogramm wurde die hydrophobierende Wirkung von RO-03 bei MDF/HDF aus den angeglichenen Faserstoffen der drei Holzarten Buche, Pappel und Kiefer sowie bei einer Holzartenmischung Kiefer/Buche = 50:50 untersucht. Als Hydrophobierungsmittel kamen 0,5 wt-% RO-03 sowie als Referenz ein in der Holzwerkstoffindustrie verbreitetes, paraffinbasiertes Produkt zum Einsatz.

Als Bindemittel wurde der ebenfalls industriell etablierte Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoff K 350S der BASF mit 12 wt-% (Blenderbeleimung) bzw. 15 % (Blowline-Beleimung) gewählt. In Abbildung 17 und Abbildung 18 ist eine Auswahl der hergestellten Platten dargestellt. Deutlich zu erkennen ist die holzartenvariablenbedingte Farbschattierung der MDF/HDF.



Abbildung 17: Labortechnisch hergestellte MDF mit 0,5 % Hydrophobierungsmittel und 12 % UF-Harz unter Variation der Holzarten

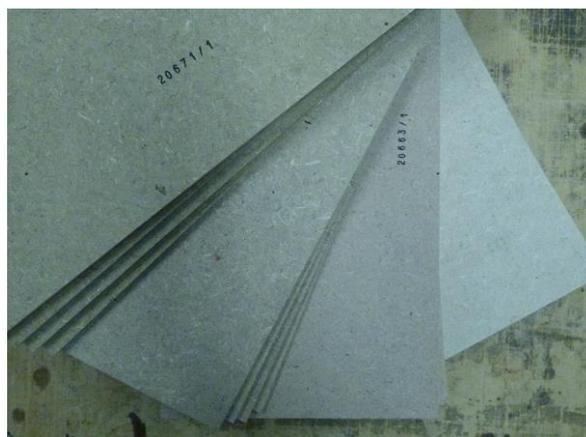


Abbildung 18: Labortechnisch hergestellte HDF unter Variation der Holzarten

Abbildung 19 zeigt die Querzugfestigkeiten der hergestellten MDF. Festigkeitssteigerungen durch den Einsatz von RO-03 konnten nur bei Pappel beobachtet werden. Entgegen der bisherigen Ergebnisse trat bei den anderen Holzarten keine klebunterstützende Wirkung des RO-03 auf (vgl. Abbildung 16). Im Gegensatz zu früheren Versuchen wurden die MDF in diesem Arbeitsprogramm bei 180 °C gepresst. Da die Presstemperatur einen wesentlichen Einfluss auf die Wechselwirkung von RO-03 mit den Holzfasern und dem Klebstoffsystem zu haben scheint, sollte der Einfluss der Presstemperatur auf das Werkstoffsystem daher Gegenstand weiterführender Untersuchungen sein.

In Abbildung 20 sind die Querzugfestigkeiten der HDF dargestellt. Auch bei HDF konnten unter den gegebenen Pressparametern analog zu MDF nur bei Pappelfaserstoff Festigkeitsverbesserungen mit RO-03 erzielt werden.

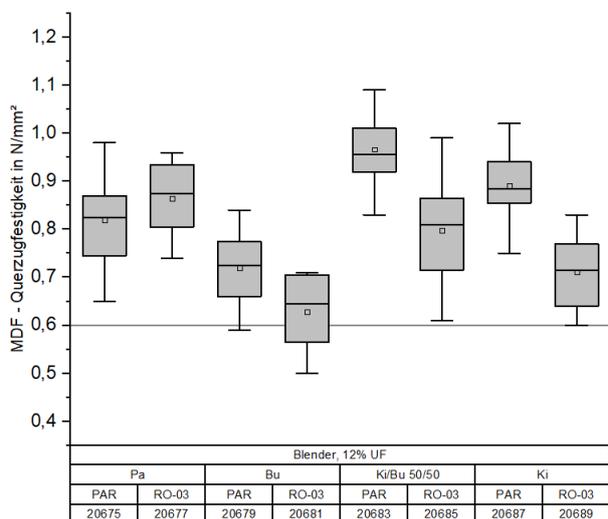


Abbildung 19: Variation der Holzarten – MDF - Blenderbeileimung Querzugfestigkeit

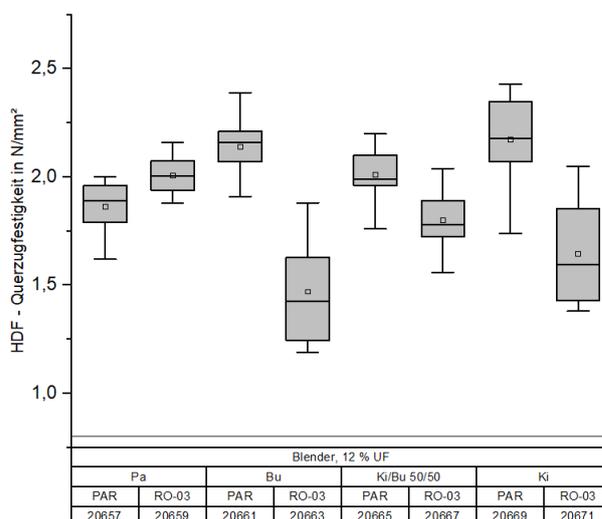


Abbildung 20: Variation der Holzarten – HDF - Blenderbeileimung Querzugfestigkeit

In Abbildung 21 ist die Dickenquellung nach 24 h Wasserlagerung der labortechnisch aus den verschiedenen Faserstoffen hergestellten MDF und in Abbildung 21 die Dickenquellung bei HDF dargestellt. Bei den reinen Laubholz-

MDF verringerte sich die Quellung durch den Einsatz von RO-03. Wird Kiefernfasernstoff oder das Holzartengemisch 50:50 verwendet, dagegen nicht.

Bei HDF ergaben sich bei dem Einsatz von RO-03 über alle Holzarten hinweg geringfügig höhere Dickenquellungswerte, besonders bei Kiefernfasernstoff war das auffällig.

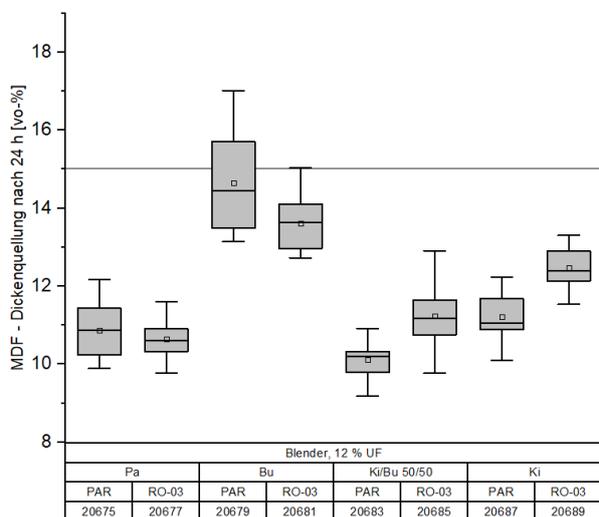


Abbildung 21: Dickenquellung nach 24 h WL von MDF bei Variation der Holzarten und -Blenderbeimung

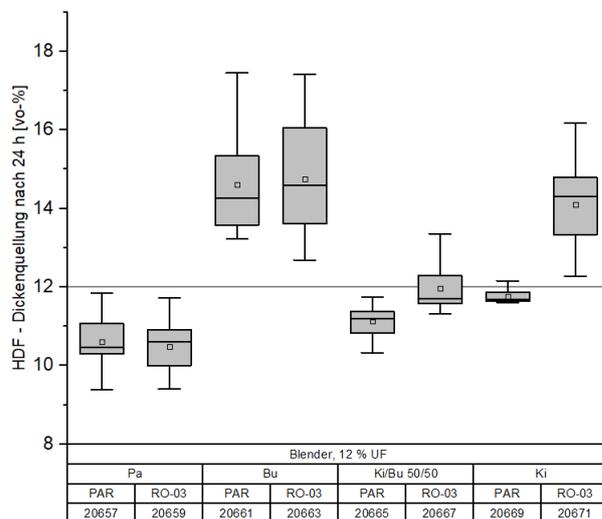


Abbildung 22: Dickenquellung nach 24 h WL von HDF bei Variation der Holzarten und Blenderbeimung

4.2.2.5 Variation der Holzarten - Blowlinebeimung

Bei der Blowlinebeimung ergeben sich durch den Einsatz von RO-03 höhere Quersugfestigkeiten bei Kiefernholz-MDF und HDF (MDF von 0,4 auf 0,57 N/mm², HDF von 1,49 auf 1,55 N/mm²), bei MDF bei der Mischvariante Kiefer/Buche 50:50 gibt es keinen Einfluss (0,65 N/mm²) (siehe Abbildung 21 und Abbildung 22). Bei Laubhölzern resultierte aus dem Einsatz von RO-03 keine Verbesserung bei MDF oder HDF. Die höchsten Quersugfestigkeiten konnten sowohl bei MDF als auch bei HDF durch den Einsatz von Buchenholz mit konventioneller Paraffinwachsdispersion erreicht werden. Die niedrigsten Quersugfestigkeiten bei MDF traten bei der konventionellen Variante Kiefer mit Paraffinhydrophobierung auf. Durch den Einsatz von RO-03 konnten die Festigkeiten bei Kiefernholz-MDF und HDF gesteigert werden. Bei HDF wurden die schlechtesten Ergebnisse bei der Mischvariante Kiefer/Buche mit RO-03 erzielt. Die Dickenquellung von blowlinebeimten MDF sind in Abbildung 25 dargestellt. Verbesserte Quelleigenschaften durch den Einsatz von RO-03 ergeben sich bei Buchen- und Kiefer-MDF. Die Ergebnisse von HDF verhalten sich analog zu denen von MDF, jedoch in geringerer Ausprägung. Verbesserungen durch den Einsatz von RO-03 zeigen sich bei HDF vor allem bei Buchenfaserstoff.

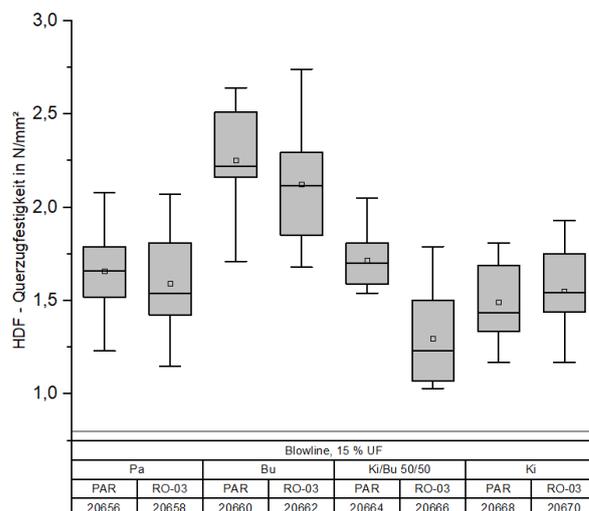
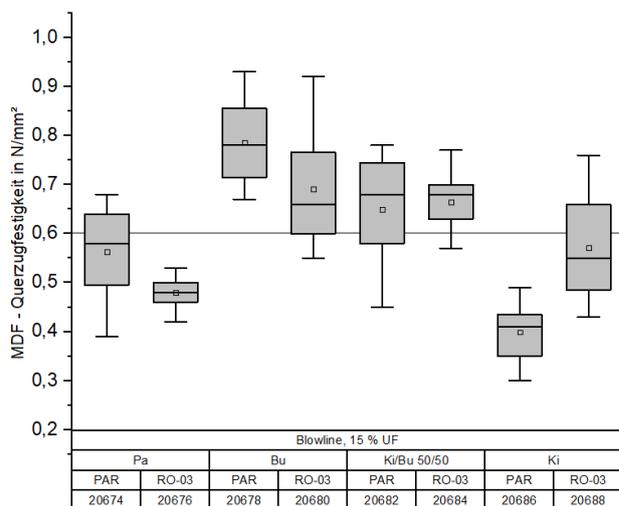


Abbildung 23: Variation der Holzarten – MDF - Blowlinebeileimung Querkzugfestigkeit

Abbildung 24: Variation der Holzarten – HDF - Blowlinebeileimung Querkzugfestigkeit

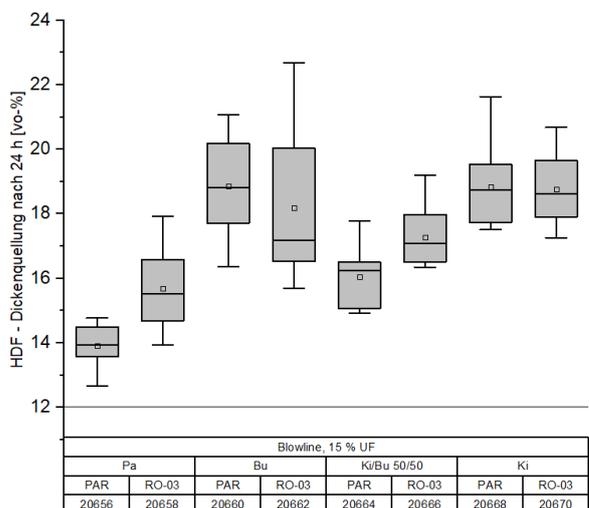
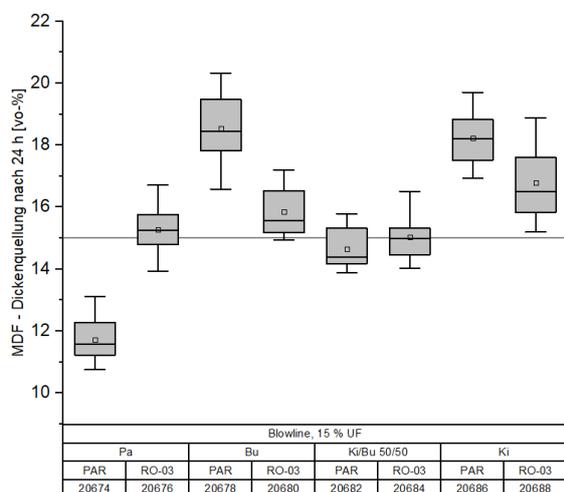


Abbildung 25: Variation der Holzarten – MDF - Blowlinebeileimung Dickenquellung

Abbildung 26: Variation der Holzarten – HDF - Blowlinebeileimung Dickenquellung

Bei Kiefernholzfasern lassen sich sowohl verbesserte Querkzugfestigkeiten als auch Dickenquellungswerte durch den Einsatz von RO-03 ableiten.

HDF werden bei Anwendungen mit hoher Belastung und häufig geringerer Materialdicke eingesetzt. In Deutschland sind Laminat-Fußböden der größte Markt für HDF [3]. Aufgrund der wasserabweisenden Oberflächenbeschichtung hat sich im Fußbodenbereich das Prüfverfahren der Kantenquellung nach ISO 24336 etabliert. Abbildung 27 gibt einen Überblick über Kantenquellungen von im Blowline- sowie Blenderverfahren hergestellten HDF aus den unterschiedlichen Holzarten. In Anlehnung an ISO 24336 wurden Probenkörper mit orthogonaler Orientierung (längs/quer) relativ zur Laborplattenausrichtung geprüft. Bei Blenderbeileimung wurden geringe Kantenquellungswerte erreicht als bei der Blowlinebeileimung. Bei der Blowlinebeileimung wird das Bindemittel prozessbedingt am Trocknereingang relativ hohen

Temperaturen (bis zu 200 °C) ausgesetzt, was zu einer Vorvernetzung (Voraushärtung) eines Teils des Bindemittels führt und nur bedingt durch höhere Einsatzmengen kompensiert werden kann.

Entgegen der Ergebnisse bei der Dickenquellung ergaben sich hinsichtlich der Kantenquellung bei Pappel sowohl bei Blender- als auch Blowlinebeileimung bessere Quellwerte durch RO-03, wobei die blowlinebeileimten Platten bei 160 °C statt bei 180 °C gepresst wurden. Für Buchenholzfasernstoffe konnten durch den Einsatz von RO-03 ebenfalls bessere Kantenquellwerte erreicht werden. Bei der Mischholzvariante mit Kieferanteil und bei Kiefernholz sind keine klaren Verbesserungen erkennbar.

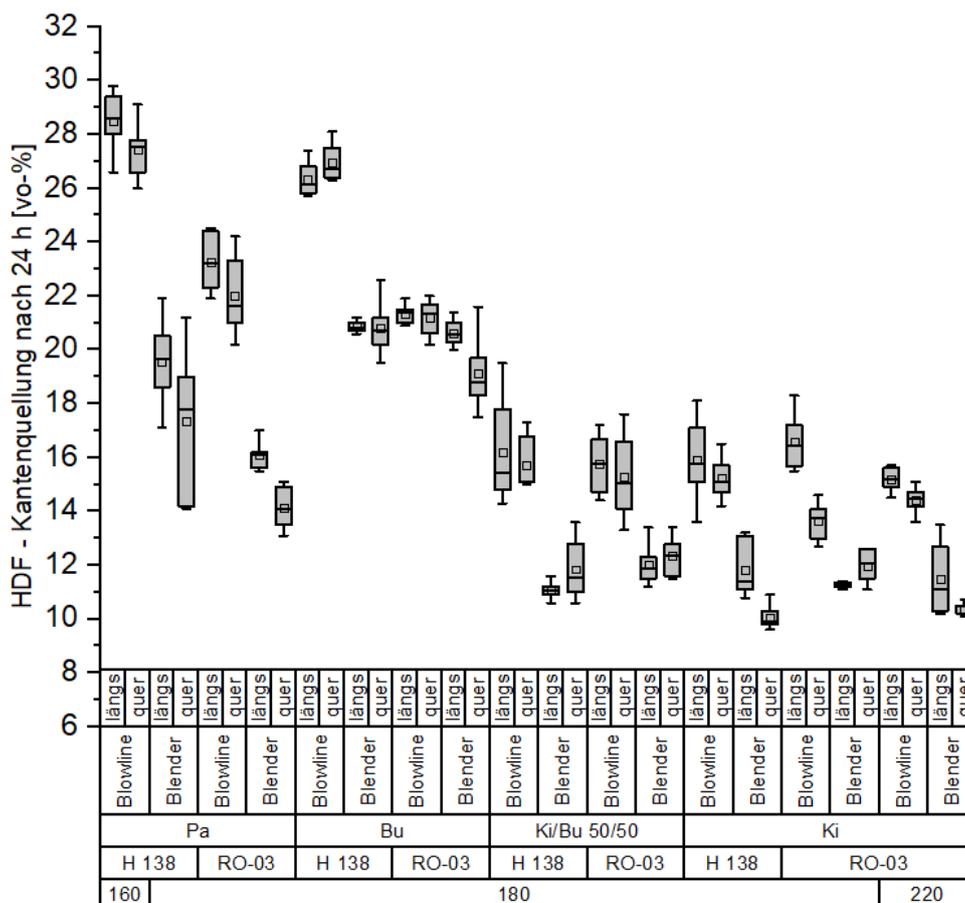


Abbildung 27: Kantenquellung von HDF bei Einsatz von RO-03 und Referenzhydrophobierungsmittel – Blowline und Blender

Wie schon bei den Querzugfestigkeiten und Dickenquellungswerten kann bei MDF/HDF aus Kiefernholzfasernstoffen beobachtet werden, dass die Presstemperatur einen erheblichen Einfluss auf die Kantenquellung hat. Bei 180°C gepresste Laborplatten wiesen eine höhere Kantenquellung als bei 220°C gepresste HDF auf.

Der Einfluss der Presstemperatur wurde daraufhin gesondert betrachtet. In Abbildung 28 und Abbildung 29 sind die Querzugfestigkeiten von MDF und HDF unter Einsatz von RO-03 bei Presstemperaturen von 180°C im Vergleich zur Herstellung bei 220°C dargestellt. Allein durch die Steigerung der Presstemperatur konnte die Festigkeit von MDF bei Blowlinebeileimung um 31 % und bei Blenderbeileimung um 37 % gesteigert werden. Bei HDF ist der Einfluss etwas geringer ausgeprägt.

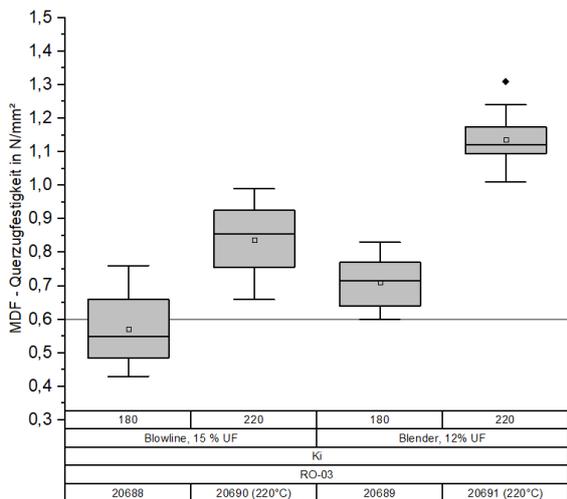


Abbildung 28: Einfluss der Presstemperatur auf die Querszugfestigkeit von MDF mit RO-03

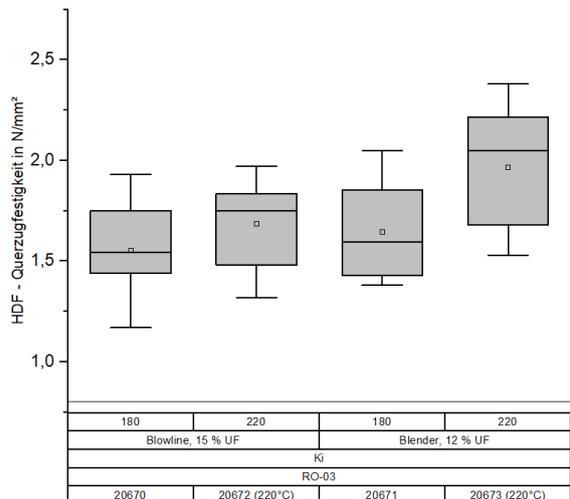


Abbildung 29: Einfluss der Presstemperatur auf die Querszugfestigkeit von HDF mit RO-03

Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen die Dickenquellungen bei MDF und HDF für 180°C und 220°C. Analog zu den Querszugfestigkeiten ist der Temperatureinfluss bei der Blenderbeleimung deutlicher ausgeprägt. Durch die Erhöhung der Presstemperatur lag die Dickenquellung von MDF bei Blowlinebeleimung um 11,7 % und bei Blenderbeleimung um 28,7 % niedriger. Bei HDF war der Einfluss nicht so deutlich.

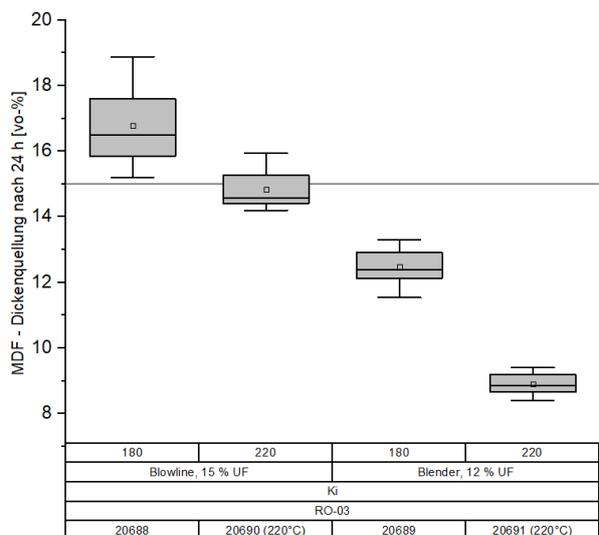


Abbildung 30: Einfluss der Presstemperatur auf die Dickenquellung von MDF mit RO-03

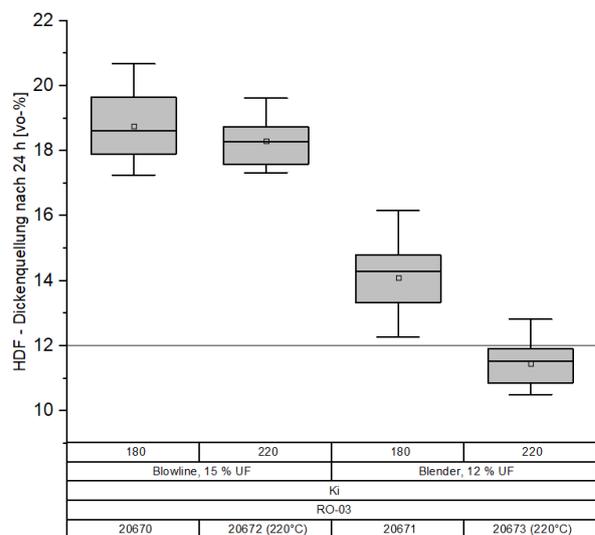


Abbildung 31: Einfluss der Presstemperatur auf die Dickenquellung von HDF mit RO-03

Aus den Ergebnissen ist nicht abzuleiten, inwiefern Wechselwirkungen zwischen der Montanwachsdispersion RO-03 und anderen Faserplattenkomponenten temperaturabhängig sind oder ob eine Temperatursteigerung ausschließlich zu einem höheren Vernetzungsgrad des Bindemittels führen. Es sind weitere Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen Pressbedingungen und Einfluss der Montanwachsdispersion notwendig.

4.2.3 Untersuchungen zur Dämmstoffherstellung - Einsatz von Montanwachsdispersionen bei verschiedenen Holzarten

4.2.3.1 Industrieäquivalenter Faserstoff

Um industrierelevante Ergebnisse zu erzielen, wurde am IHD zunächst ein Fichtenfaserstoff erzeugt, der quasi dem Referenzfaserstoff (Partner Bestwood-Schneider) entsprach. In Tabelle 14 sind die Herstellungsparameter des Industriefaserstoffes dargestellt:

Tabelle 14: Herstellungsparameter Industriefaserstoff

Parameter	Angabe Hersteller
Plattentyp (Dämmmatte/Dämmplatte, Zielrohddichte)	Best wood Schneider WALL 180
Holzart	Fichte / Tanne
Zerfaserungstemperatur/-druck	160°C / 6bar
Verweilzeit im Kocher	3-5 min
Refiner-Mahlspalteinstellung	0,2-1,5 mm
Hydrophobierungsmittel	Industrieübliches Paraffinwachs
Hydrophobierungsmittelanteil	2,8 %

4.2.3.1.1 Angleichung der Faserstoffzusammensetzung

Zur Realisierung einer dem industriellen Faserstoff entsprechenden Faserstoffmorphologie erfolgten Versuche zur Faserstoffherstellung bei verschiedenen Einstellungen des Mahlspalts am Refiner (Abbildung 32). Die erzeugten Faserstoffe wurden visuell begutachtet und mittels Camsizer charakterisiert.



Abbildung 32: Variation des Mahlspaltes (Angabe in mm) bei Dämmstofffaserstoffen

Abbildung 33 zeigt die Summenhäufigkeitsverteilung der Partikellängen für den IHD-Faserstoff und des industriellen Faserstoffes von Bestwood-Schneider. Der industrielle Faserstoff zeigt einen höheren Anteil an Faserbündeln (über 3

mm Faserlänge). Zu beachten war, dass der industrielle Faserstoff bereits mit 2,8 wt-% Hydrophobierungsmittel beaufschlagt ist. Der IHD-Faserstoff wurde mit 0,8 wt-% Hydrophobierungsmittelanteil hergestellt.

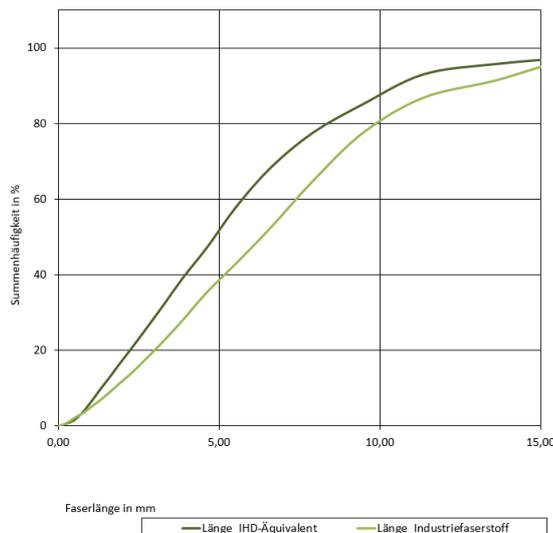


Abbildung 33: Summenhäufigkeit der Partikellängen bei industriellem Faserstoff und IHD-Faserstoff für Dämmstoffe

Tabelle 15 enthält die Herstellungsparameter des IHD-Faserstoffes.

Tabelle 15: Herstellungsparameter IHD-Faserstoff (Fasermorphologie vergleichbar zu Industrie-Faserstoff)

Parameter	Angabe IHD
Holzart	Fichte
Zerfaserungstemperatur/-druck	160 °C / 6 bar
Verweilzeit im Kocher	4 min
Refiner-Mahlspalteinstellung	0,25 mm
Hydrophobierungsmittel	Industrieübliches Paraffinwachs
Hydrophobierungsmittelanteil	0,8 %

4.2.3.1.2 Plattenherstellung zur Beurteilung der Materialeigenschaften

Mit den zuvor definierten Parametern wurde Faserstoff hergestellt. Analog zu den Untersuchungen zur Herstellung von MDF/HDF wurden die Montanwachsdispersionen RO-01, RO-02 und RO-03 im Blender zugegeben und im Anschluss erfolgte die Herstellung von Dämmplatten (Parameter siehe Tabelle 5). Im Vergleich zur Referenz aus mit herkömmlicher Paraffinwachsdispersion hydrophobierten IHD-Faserstoff sowie bereits hydrophobierend ausgerüsteten Industriefaserstoff ergaben sich für die Dämmplatten mit einer Zielrohichte von 180 kg/m³ die in Abbildung 34 dargestellten Druckspannungen und die in Abbildung 35 dargestellten Querzugfestigkeiten. Auffällig sind die deutlich besseren mechanischen Kennwerte der mittels des industriell hergestellten Faserstoffes erzeugten Dämmplatten. Zur Beurteilung der Hydrophobierungswirkung der Montanwachsdispersionen erfolgte der Vergleich zwischen Dämmplatten aus am IHD hergestellten Faserstoffen, die mit herkömmlichen Paraffinwachsdispersionen und den Montanwachsdispersionen hydrophobiert wurden. Bei den Druckfestigkeiten zeigte sich eine leichte Verschlechterung bei Einsatz

der Montanwachse. Bei den Querkzugfestigkeiten wurden geringfügig höhere Werte festgestellt. Da bezüglich den variierten Montanwachsdispersionen keine Unterscheide auftraten, kam analog zu den MDF/HDF-Versuchen nur noch die Montanwachsdispersion RO-03 in den nachfolgenden Untersuchungen zur Hydrophobierung von Dämmstoff-Faserstoffen zur Anwendung.

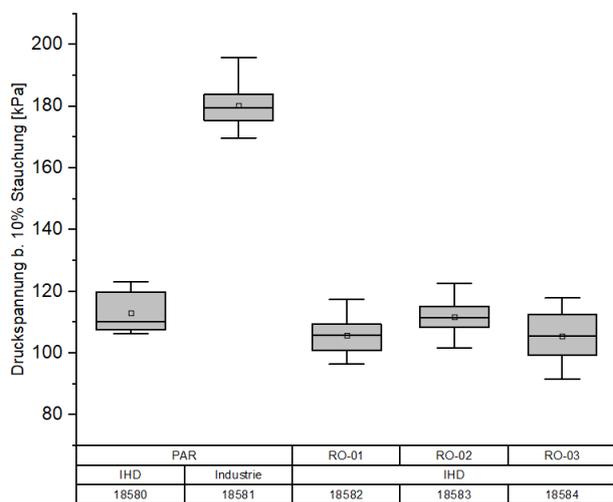


Abbildung 34: Druckspannung bei Dämmplatten mit konventionellen und verschiedenen montanwachshaltigen Hydrophobierungsmitteln

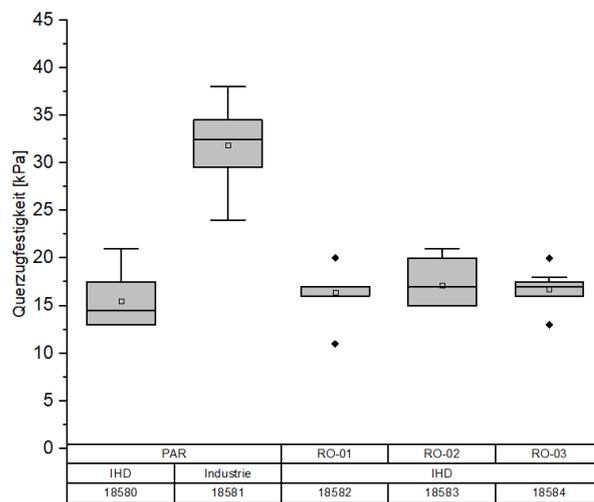


Abbildung 35: Querkzugfestigkeit bei Dämmplatten mit konventionellen und verschiedenen montanwachshaltigen Hydrophobierungsmitteln

4.2.3.2 Anteil an Montanwachsdispersionen in Dämmstoffen

Analog zu MDF/HDF wurde der Hydrophobierungsmittelanteil bei Dämmplatten untersucht. Ausgehend von 0,5 wt-% Hydrophobierungsmittelanteil, der sich bei MDF/HDF als günstigste Variante erwiesen hatte, wurde der Anteil auf 1 wt-% gesteigert. Diese Erhöhung führte sowohl beim Einsatz des Referenzwachses als auch bei RO-03 zu deutlich geringeren Zug- und Druckfestigkeiten (Abbildung 36 und Abbildung 37). Eine Ausnahme bilden die Ergebnisse bei den Querkzugfestigkeiten des Referenzwachses. Die Ergebnisse (Variante 20710) weisen allerdings statistische Auffälligkeiten auf, die vermutlich auf zufällige Fehler bei der Prüfung zurückzuführen sind. Die höchste Querkzugfestigkeit und die höchsten Druckspannungen (bei Einsatz von Hydrophobierungsmittel) ergaben sich bei 0,5 wt-% RO-03. Abbildung 38 stellt die Wasseraufnahme der untersuchten Varianten dar und zeigt die sehr gute Hydrophobierungswirkung aller eingesetzten Hydrophobierungsmittel. Zur besseren Beurteilung der Unterschiede zwischen Referenzwachs und Montanwachsdispersionen sind die Ergebnisse in Abbildung 39 mit einer kleineren Skalierung im Bereich zwischen 0,5 und 1,0 kg/m² Wasseraufnahme dargestellt. Durch die Erhöhung des Paraffinwachsanteils kann die Wasseraufnahme gesenkt werden. Die Erhöhung des Hydrophobierungsmittelanteils führte beim Montanwachs RO-03 nicht zu vergleichbaren Wirkungen. Allerdings streuen auch bei dieser Versuchsvariante (Var. 20714) die Ergebnisse sehr stark, so dass dieser Effekt ebenfalls auf zufällige Fehler zurückzuführen ist. Bei Einsatz von 0,5 wt-% RO-03 waren die Wasseraufnahmen geringer als bei 0,5 wt-% Referenzwachs.

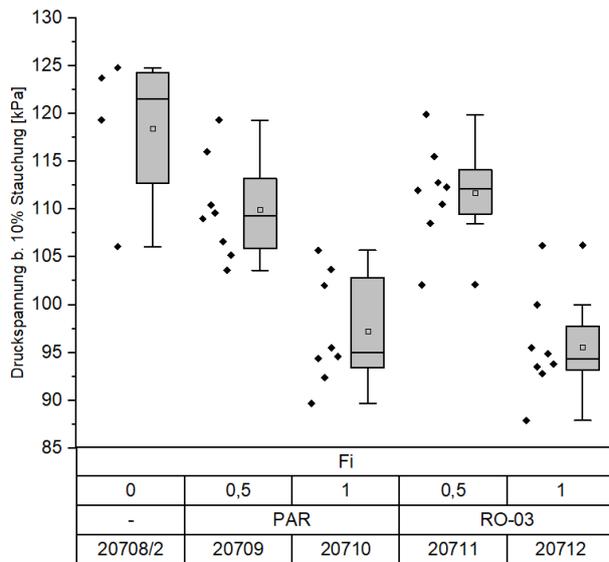


Abbildung 36: Druckspannungen bei Dämmplatten mit unterschiedlichen Anteilen Referenzwachs und Montanwachsdispersion

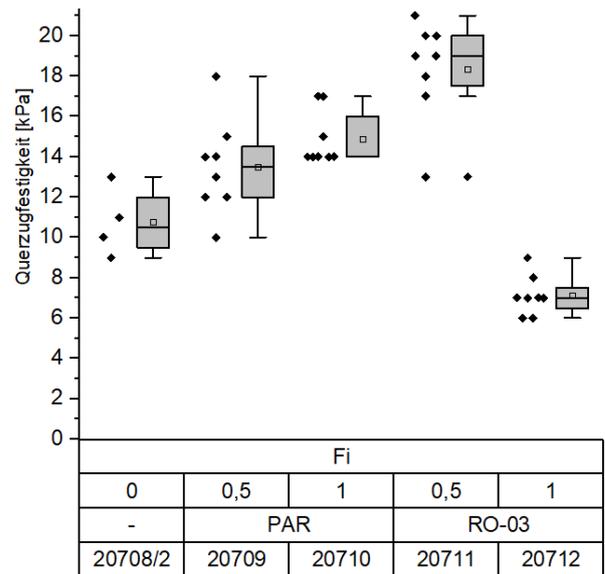


Abbildung 37: Querzugfestigkeiten bei Dämmplatten mit unterschiedlichen Anteilen Referenzwachs und Montanwachsdispersion

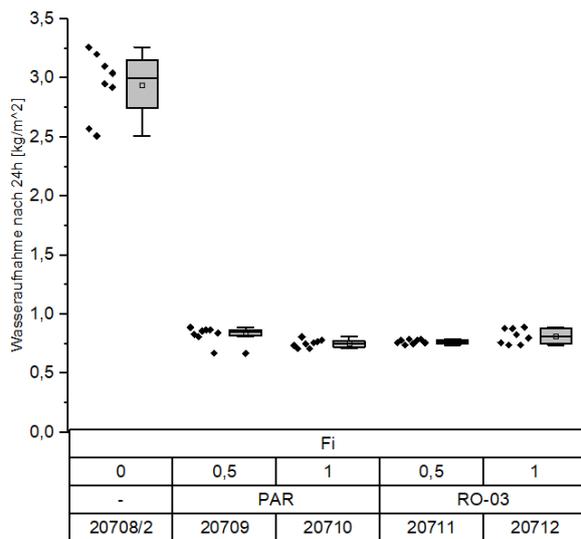


Abbildung 38: Wasseraufnahme bei Dämmplatten mit unterschiedlichen Anteilen Referenzwachs und Montanwachsdispersion

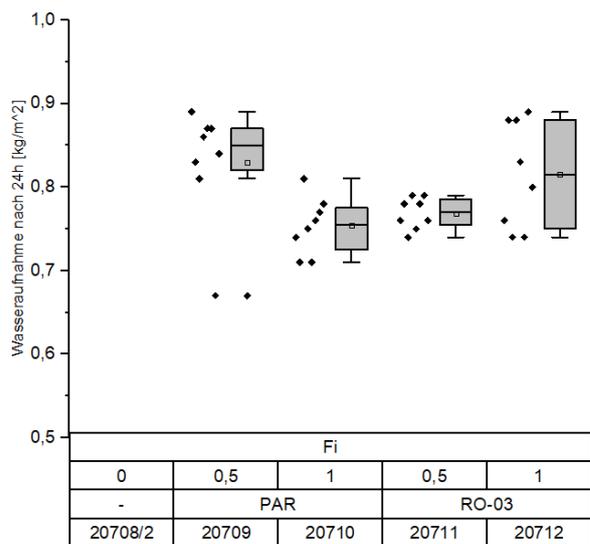


Abbildung 39: Gezoomte Ansicht Wasseraufnahme bei Dämmplatten mit unterschiedlichen Anteilen Referenzwachs und Montanwachsdispersion

Für industrielle Anwendungen werden aus wirtschaftlichen Gründen möglichst geringe Anteile Hydrophobierungsmittel angestrebt. Durch die Steigerung des Hydrophobierungsmittelanteils auf 1 wt-% verschlechtern sich die mechanischen Festigkeiten. Für die folgenden Untersuchungen werden daher 0,5 wt-% Hydrophobierungsmittel auf atro Faserstoff verwendet.

4.2.3.3 Angleichung der Faserzusammensetzung bei unterschiedlichen Holzarten

In Abbildung 40 ist auf der linken Seite der entsprechend Kapitel 4.2.3.1.1 an den industriellen Faserstoff angenäherte IHD-Faserstoff und rechts der visuell (freisichtig) an diesen Faserstoff angenäherte Faserstoff aus 50 % Fichte + 50 % Buche abgebildet. Die Vergleichbarkeit zum Industriefaserstoff sowie untereinander wurde über die Einstellung des Mahlspaltes realisiert.

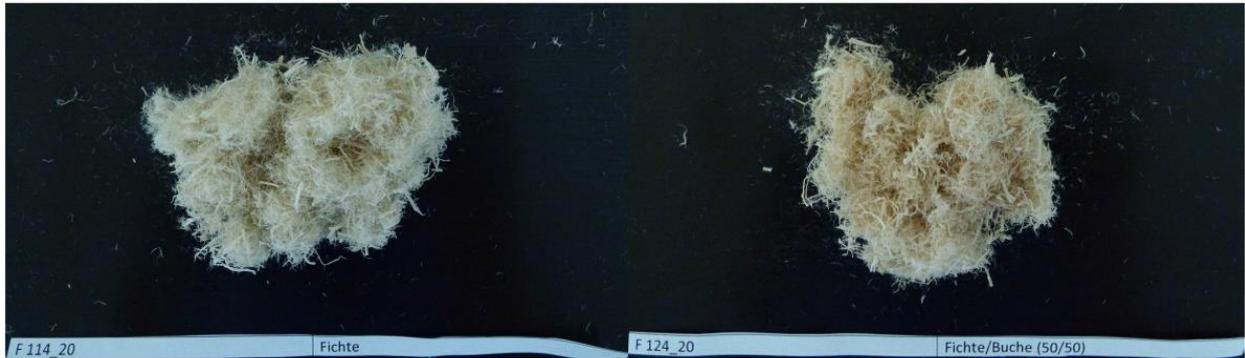


Abbildung 40: Optisch angenäherte Faserstoffe für Dämmstoffe aus verschiedenen Holzarten

Zur morphologischen Charakterisierung der Faserstoffe erfolgten Camsizer-Untersuchungen. In Abbildung 41 ist die Partikellängenverteilung der oben gezeigten Faserstoffe dargestellt. Abbildung 42 zeigt die Partikellängenverteilung im Bereich 0 – 3 mm.

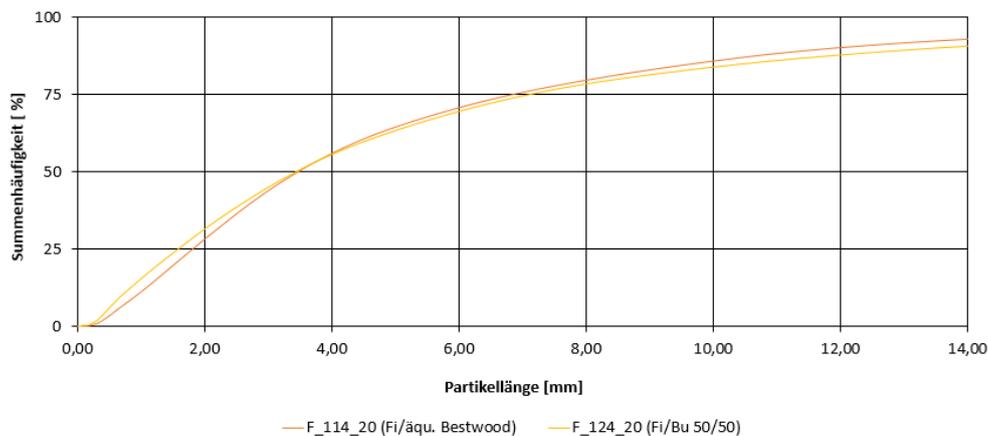


Abbildung 41: Summenverteilung der Partikellänge der IHD-Dämmstofffaserstoffe aus 100 % Fichte sowie 50 % Fichte und 50 % Buche im Bereich 0 - 14 mm

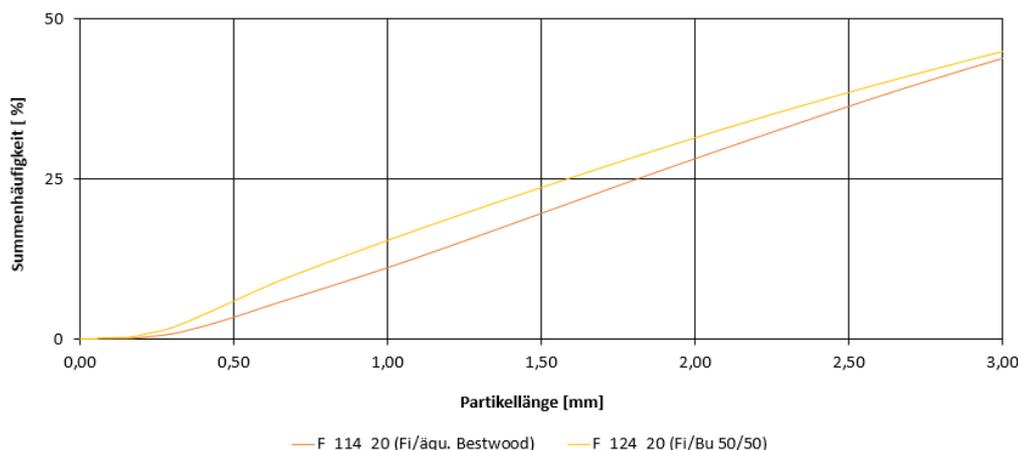


Abbildung 42: Summenverteilung der Partikellänge der IHD-Dämmstofffaserstoffe aus 100 % Fichte sowie 50 % Fichte und 50 % Buche im Bereich 0 - 3 mm

Die Zerfaserungsparameter der für eine Dämmstoffherstellung hergestellten IHD-Faserstoffe sind in Tabelle 16 aufgeführt.

Tabelle 16: Zerfaserungsparameter für IHD-Faserstoffe zur Dämmstoffherstellung

Holzart	Fichte	Fichte/Pappel 50:50	Fichte/Buche 50:50	Buche
Faserstoff-Nr.	F114_20	F126_20	F124_20	F125_20
Druck [bar]	5,3	5,3	5,3	5,3
Verweilzeit [min]	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5
Mahlspalt [mm]	0,15	0,08	0,15	0,3
n Einspeiseschnecke [U/min]	6,0 - 6,5	6,0 - 6,5	6,0 - 6,5	6,0 - 6,5
Zerfaserungszeit [min]	260	40	40	40

4.2.3.4 Herstellung von Dämmplatten

Aus den nach der vorhergehenden Tabelle 16 hergestellten Faserstoffen wurden mit einer Hochfrequenzpresse (Kapitel 4.1.4) je Variante 2 Laborplatten mit einem Bindemittelanteil von 5 wt-% pMDI hergestellt. Neben der Montanwachsvariante kam als Vergleich ein industrieübliches Praffinwachs zur Anwendung.

Abbildung 43 zeigt die Ergebnisse der Querkzugfestigkeitsprüfung. Über alle Holzarten hinweg ist eine Steigerung der Querkzugfestigkeiten durch den Einsatz des Montanwachses RO-03 festzustellen. Die höchsten Querkzugfestigkeiten wiesen Dämmplatten aus 100 % Fichtenfaserstoff, die niedrigsten Querkzugfestigkeiten Platten aus dem Mischfaserstoff Fi/Pa 50:50 auf.

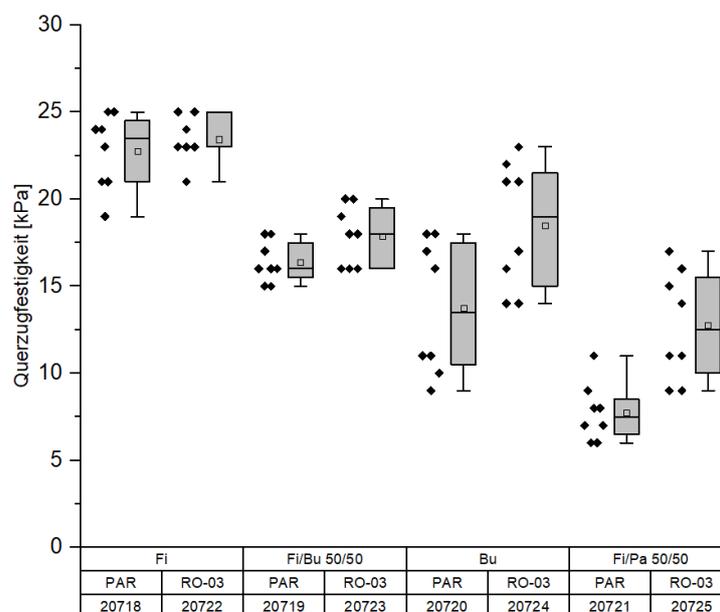


Abbildung 43: Querzugfestigkeit bei Dämmplatten mit unterschiedlichen Holzarten

Bei den Druckspannungen (Abbildung 44) zeigte der Fichtenfaserstoff ebenfalls die besten Ergebnisse. Die geringsten Druckspannungen bei 10% Stauchung erzielten die Dämmplatten aus Buchenfaserstoff. Durch den Einsatz von Laubholzfaserstoff konnten im Vergleich zur industriell etablierten Fichte keine Festigkeitssteigerungen nachgewiesen werden.

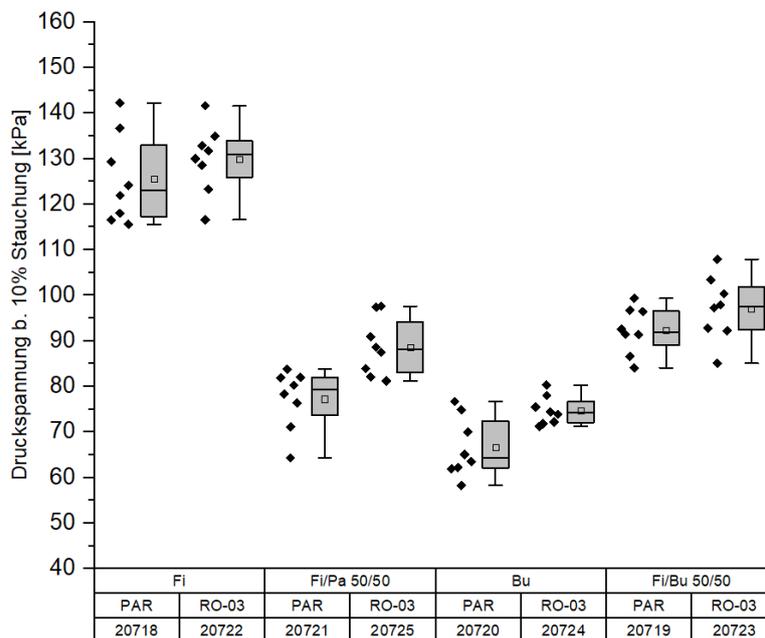


Abbildung 44: Druckspannung bei Dämmplatten mit unterschiedlichen Holzarten

Die Wasseraufnahmewerte der Laubholzdämmplatten sind im Vergleich zu den Dämmplatten aus Misch- bzw. Fichtenfaserstoff in Abbildung 45 dargestellt. Durch den Einsatz von RO-03 konnte die Wasseraufnahme im Vergleich zur etablierten Paraffindispersion deutlich gesenkt werden. Allerdings besteht zwischen den variierten Faserstoffen beim

Einsatz von RO-03 nur ein geringer Unterschied in der Wasseraufnahme, sodass keine Tendenzen hinsichtlich besserer Eignung von Nadel- oder Laubholzfaserstoff ableitbar sind.

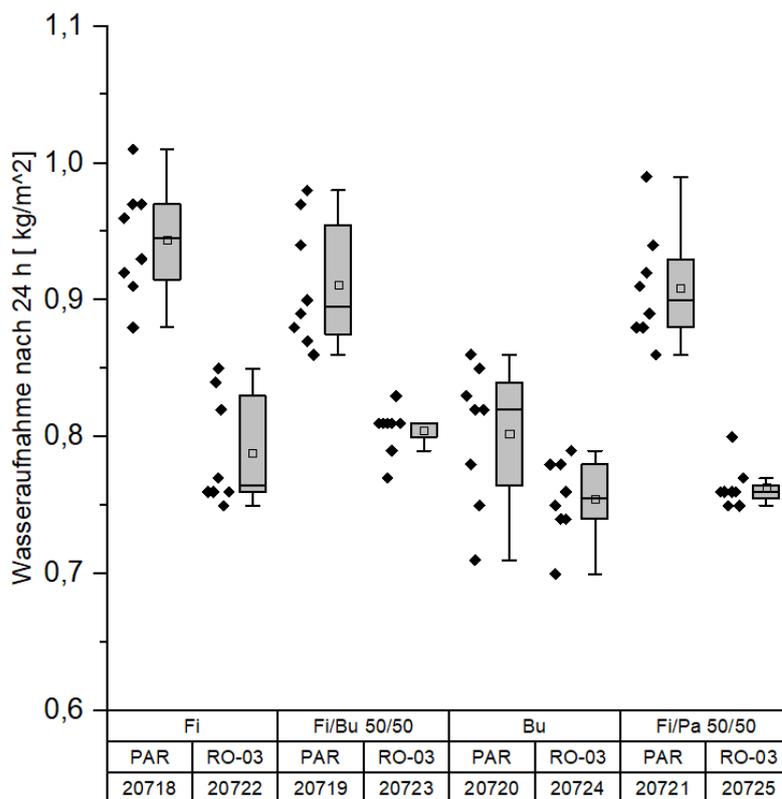


Abbildung 45: Wasseraufnahme bei Dämmplatten mit unterschiedlichen Holzarten

4.2.4 Montanwachsdispersionen und alternative Klebstoffe

Neben Untersuchungen zu Dämmstoffherstellung aus unterschiedlichen Holzarten bzw. Holzartmischungen sollten Wechselwirkungen zwischen der Montanwachsdispersion RO-03 und alternativen Klebstoffsystemen betrachtet werden. Dazu erfolgte die Herstellung Weizenprotein-gebundener MDF im Vergleich zu UF-Harz-gebundener MDF. Weiterhin erfolgte die Herstellung pMDI-gebundener MDF sowie die Herstellung von mit thermoplastischen BIKO-Fasern gebundenen Dämmstoffmatten. Alle Versuche erfolgten unter Verwendung des Hydrophobierungsmittels RO-03 sowie als Referenz industrieeübliche Paraffinwachsdispersion.

4.2.4.1 MDF

4.2.4.1.1 Weizenprotein-Bindemittel

Die Herstellung der Weizenprotein-MDF erfolgte unter Anwendung einer speziellen Gluvital-Rezeptur (Abbildung 46) mit 12 wt-% Bindemittel (bez. auf atro Faserstoff). Als Faserstoff kam industrieeüblicher Kiefernfaserstoff zum Einsatz. Die Weizenprotein-gebundenen Platten wiesen niedrigere Querzugfestigkeiten auf als die mit dem Referenz-UF-Harz hergestellten MDF auf (Abbildung 47). Beim Einsatz von Weizenprotein und 1 wt-% Hydrophobierungsmittel (sowohl bei Paraffin- als auch bei Montanwachs) wurden gegenüber 0,5 wt-% Hydrophobierungsmittel höhere Festigkeiten erzielt. Bei UF-Harzen ergaben sich im Unterschied die höchsten Festigkeiten bei 0,5 wt-% Hydrophobierungsmittel, durch die Steigerung des Hydrophobierungsmittelanteils war keine Festigkeitssteigerung mehr möglich. Das ist ein

Hinweis auf abweichende Wechselbeziehungen zwischen dem Weizenprotein-Bindemittel und dem Hydrophobierungsmittel im Vergleich zu UF-Harzgebundenen Systemen. Durch die Erhöhung auf 1 wt-% Hydrophobierungsmittel bzw. durch den Einsatz von RO-03 (bei 0,5 und 1 wt-%) wurden die Normanforderungen (graue horizontale Linie in Abbildung 47) nach EN 319 eingehalten, was mit 0,5 wt-% der industriüblichen Paraffinkonfiguration nicht gelang.



Abbildung 46: Sprühfähiges Weizenprotein-Bindemittel auf Basis einer speziellen Gluvital-Rezeptur

In Abbildung 48 sind die Dickenquellungen nach 24 h Wasserlagerung der mit Weizenprotein gebundenen MDF dargestellt. Im Vergleich zu den mit UF-Harz gebundenen MDF treten deutlich höhere Quellungen auf. Die Erhöhung auf 1 wt-% Hydrophobierungsmittel führte erwartungsgemäß zu geringeren Quellungswerten. Die geringsten Dickenquellungswerte nach 24 h Wasserlagerung bei Weizenprotein-MDF wurden mit 1 wt-% RO-03 erreicht.

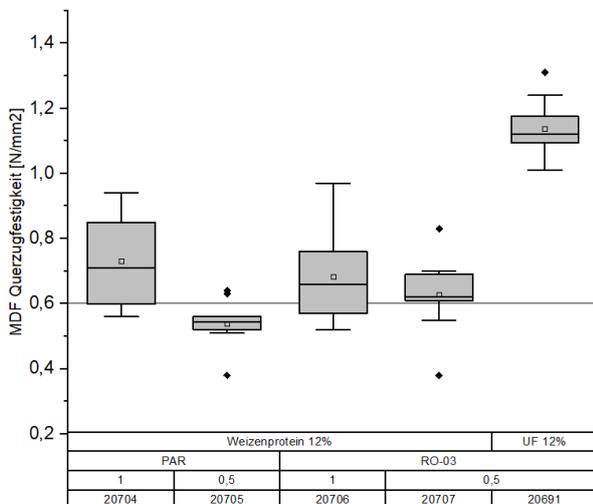


Abbildung 47: Querzugfestigkeit Weizenprotein-gebundener MDF und verschiedenen Hydrophobierungsmitteln im Vergleich zu UF-Harz-MDF

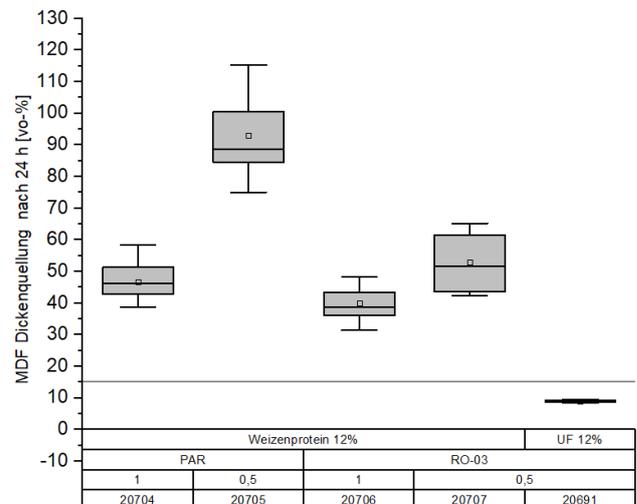


Abbildung 48: Dickenquellung Weizenprotein-gebundener MDF und verschiedenen Hydrophobierungsmitteln im Vergleich zu UF-Harz-MDF

Für Weizenprotein-gebundene MDF wird dementsprechend ein Hydrophobierungsmittel-Anteil von 1 wt-% empfohlen.

4.2.4.1.2 pMDI-Klebstoff

In weiteren Versuchen wurden MDF mit 5 wt-% pMDI-Klebstoff hergestellt. Die Hydrophobierungsmittelanteile variierten zwischen 0,5 und 1 wt-%.

Die Werte sämtlicher untersuchter Hydrophobierungsmittelvarianten liegen sehr nah beieinander, es lassen sich keine Effekte durch die Variation des Hydrophobierungsmittels ableiten. Entweder sind Wechselwirkungen zwischen pMDI-

Klebstoffen und Hydrophobierungsmittel nicht so ausgeprägt wie bei UF-Harzen oder Weizenproteinbindemitteln oder der gewählte pMDI-Anteil von 5 % überdeckt entsprechende Effekte (Abbildung 49).

Im Vergleich zu den mit 12 wt-% UF-Harz-gebundenen MDF weisen die pMDI-gebundenen MDF geringere Quersugfestigkeiten auf.

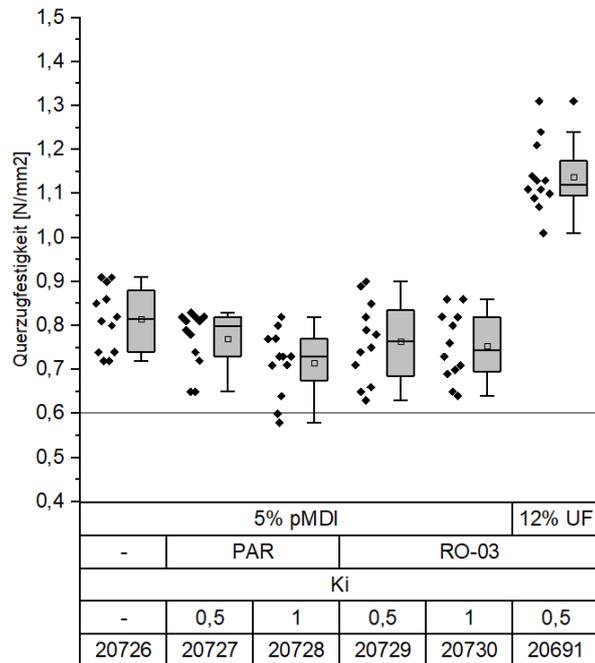


Abbildung 49: Querzugfestigkeiten pMDI-gebundener MDF mit verschiedenen Hydrophobierungsmitteln im Vergleich zu UF-Harz-MDF

Die Dickenquellungen der pMDI-gebundenen MDF verhalten sich analog zu den Quersugfestigkeiten (Abbildung 50). Auch hier sind keine eindeutigen Tendenzen zwischen den Hydrophobierungsmittelvariationen erkennbar. Im Vergleich zu mit 12 wt-% UF-Harz-gebundenen MDF konnten mit 5 wt-% pMDI ähnliche, überraschenderweise aber keine besseren Quellungswerte nach 24 h Wasserlagerung erzielt werden.

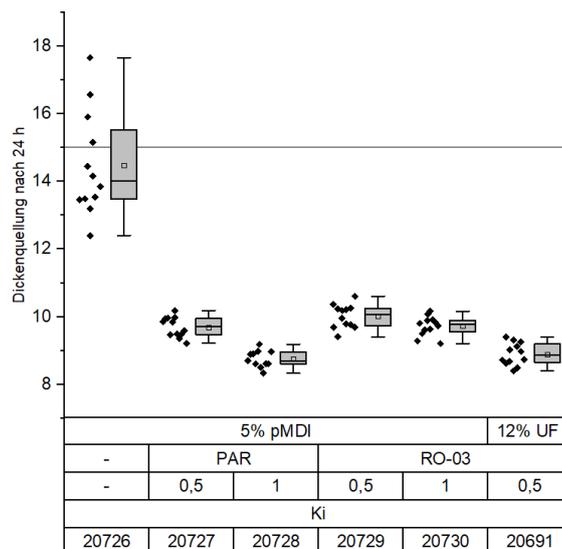


Abbildung 50: Dickenquellungen von pMDI-gebundenen MDF mit verschiedenen Hydrophobierungsmitteln

4.2.4.1.3 Emissionen von MDF

Es sollte ein möglicher Einfluss von Hydrophobierungsmitteln auf die Emissionen von MDF untersucht werden. Im Vordergrund standen vor allem die Emissionen aus den Faserstoffen. Um den Klebstoffeinfluss zu vernachlässigen fand der in vernetzter Form emissionsfrei Klebstoff pMDI Anwendung. Zur Analyse wurde das modifizierte Gasanalyseverfahren mit einer Gasanalyse-Apparatur in Anlehnung an DIN EN ISO 12460-3 sowie DIN ISO 16516 eingesetzt. Abbildung 51 zeigt die Summe der VOC-Abgaben für verschiedene Hydrophobierungsmittel. Abbildung 52 stellt die Ergebnisse der Formaldehydemissionen dar. Die mit RO-03 hergestellten MDF weisen im Vergleich zu konventionell hydrophobierten MDF geringe Emissionswerte auf. Dadurch lassen sich Hinweise auf mögliche formaldehydfangende Eigenschaften der verwendeten Montanwachsdispersion RO-03 ableiten. Das soll Gegenstand weitergehender Untersuchungen sein.

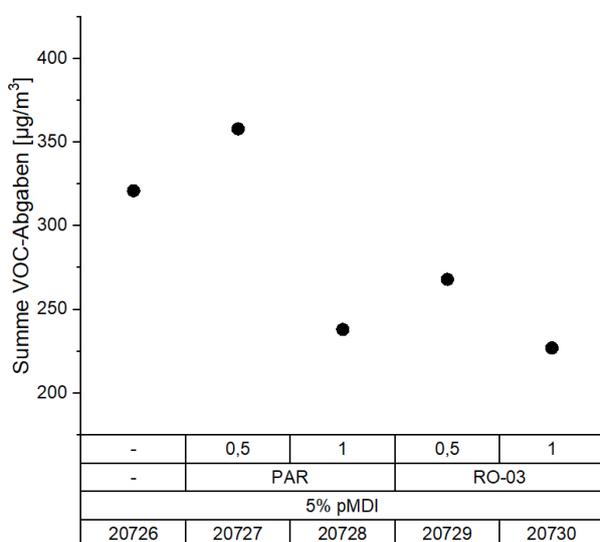


Abbildung 51: Summe der VOC-Abgaben von pMDI-gebundenen MDF

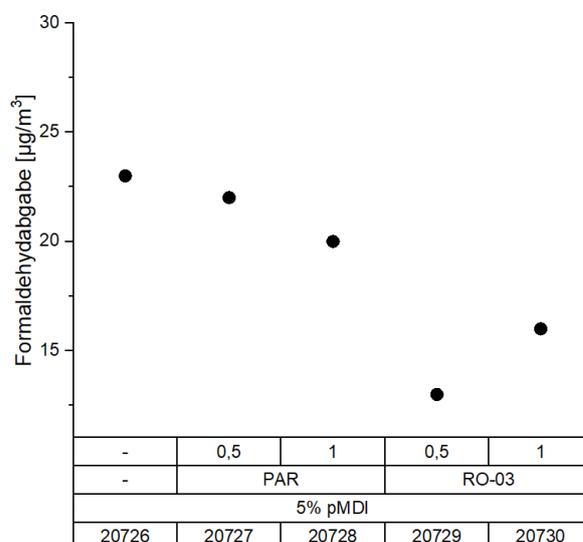


Abbildung 52: Formaldehydemissionen von pMDI-gebundenen MDF

4.2.4.2 Untersuchungen zum Einsatz von Montanwachsen zur Hydrophobierung von Dämmstoffmatten

4.2.4.2.1 Dämmstoffmatten mit BIKO-Faserbindung

Neben Dämmstoffplatten, die aufgrund ihrer hohen Dichte für den Einsatz im Dach- oder Fußbodenbereich geeignet sind, finden auch Dämmstoffmatten mit geringerer Dichte für die Dämmung von Wand- oder Deckenbereichen Verwendung. Diese werden vorrangig mit BIKO-Fasern als Bindemittel produziert. Im Forschungsprojekt wurden Dämmstoffmatten mit BIKO-Klebstoffen und mit den Hydrophobierungsmitteln und Hydrophobierungsmittelanteilen nach Abbildung 53 und Abbildung 54 hergestellt. Die höchsten Querkzugfestigkeiten und Druckfestigkeiten konnten mit 0,5 wt-% RO-03 erreicht werden, dies bestätigte die Ergebnisse der höherdichten Dämmplatten (siehe 4.2.3.4)

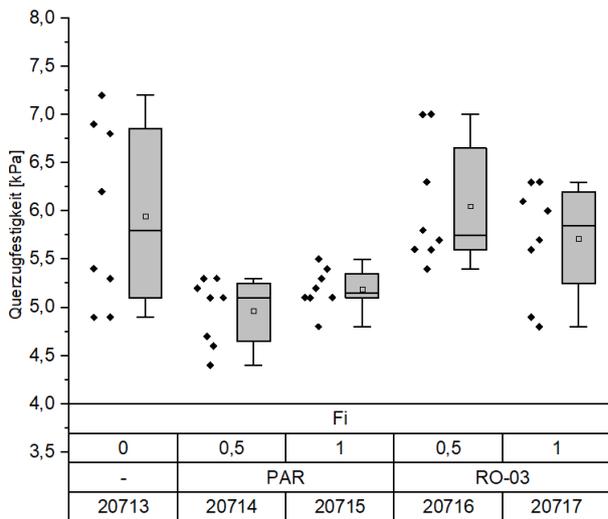


Abbildung 53: Querzugfestigkeiten unterschiedlich hydrophobierter Dämmplatten

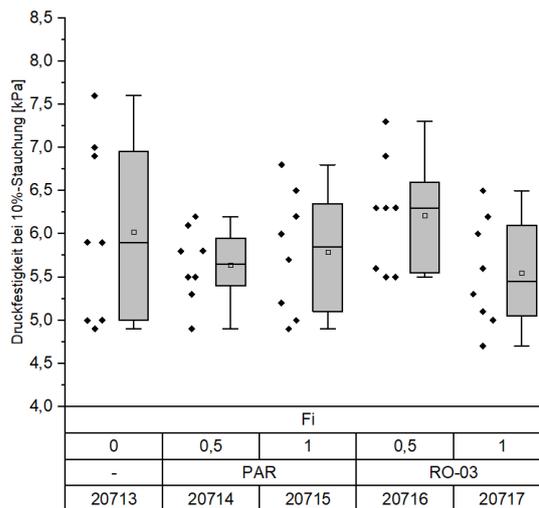


Abbildung 54: Druckfestigkeiten unterschiedlich hydrophobierter Dämmplatten

In Abbildung 55 ist die Wasseraufnahme nach 24 h der untersuchten Dämmplatten dargestellt. Die geringste Wasseraufnahme zeigte sich erwartungsgemäß beim höchsten Hydrophobierungsmittelanteil (1 wt-%). Durch den Einsatz von RO-03 konnten sowohl bei 0,5 wt-% als auch bei 1 wt-% HYM-Anteil geringere Wasseraufnahmewerte erzielt werden als beim Einsatz der etablierten Paraffindispersionen.

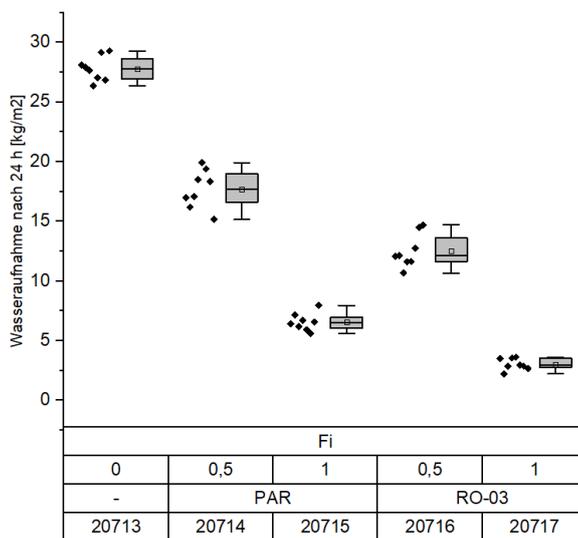


Abbildung 55: Wasseraufnahmen von unterschiedlich hydrophobierten Dämmplatten

4.2.5 Energiebedarf der Faserherstellung

In den Arbeitshypothesen wurde vermutet, dass Energie bei der Faserstoffherstellung durch folgende Mechanismen eingespart werden kann:

- Reduktion des Klebstoffanteils (durch klebunterstützende Wirkung der Montanwachse) und daraus folgend weniger Trocknungsenergie (durch geringeren Wasseranteil)

Der Stoffstrom innerhalb des Trockners ist konstant. Die Differenz der Trocknungstemperatur am Trocknereingang und -Ausgang kann daher als Näherung für den eingebrachten Energiebedarf gelten. Die Trocknungstemperatur am Trocknereingang und -Ausgang wurde gemessen. Voraussetzung für eine Vergleichbarkeit des Trocknungsenergieaufwandes und damit für eine Aussage über die Reduktion von Trocknungsenergie bei geringeren Klebstoffmengen, ist eine konstante Holzfeuchte bei Trocknungseingang bzw. -ausgang. Prozessbedingt konnte der Holzfeuchtegehalt (durch sehr unterschiedliche Hackschnitzelfeuchten der unterschiedlicher Holzarten, teilweise Dampfzugabe im Zerkleinerungsprozess) am Trocknereingang nicht derart konstant gehalten werden, dass sichere bzw. signifikante Aussagen über die Trocknungsenergie getroffen werden können. Zudem war es nicht möglich, das System Refiner/Trockner in einen stationären Zustand zu bringen, da die Laufzeiten der Aggregate bei Laborversuchen mit üblicherweise geringem Faservolumen nur kurz sind. Da sich so im Projektverlauf herausstellte, dass der Energiebedarf im Trockner nicht eindeutig messbar war, erfolgten keine Versuche zur Reduktion der Klebstoffmenge.

- Durch die geringere Erweichungstemperatur des Laubholzlignins im Vergleich zu Nadelholz können geringere Temperaturen im Kocher der Zerkleinerungseinheit eingestellt und bei gleicher Verweilzeit im Kocher dadurch Mahlenergie eingespart werden.

Auf Basis von Parametervariationen wurden die Prozessparameter zur Herstellung morphologisch vergleichbarer Faserstoffe aus Laubhölzern und Nadelhölzern ermittelt. Entgegen der ursprünglichen Planung blieb die eingestellte Kochertemperatur im Interesse der Faserstoffqualität bei allen Holzarten konstant. Bei der Zerkleinerung erfolgte die Messung der Mahlenergie der Zerkleinerungseinheit. Durch technologisch bedingte Schwankungen der zerkleinerungsenergiebestimmenden Faktoren (z.B. Hackschnitzel-Feuchte der unterschiedlichen Holzarten bzw. Holzartenmischungen, Geometrie der Holzpartikel) konnte kein signifikanter Einfluss der Laubholz-Erweichungstemperatur auf den Energiebedarf ermittelt werden.

Zur Ermittlung des Energiebedarfes sind weitere Untersuchungen über längere Zeiträume (mind. 4 h Zerkleinerung bei gleichen Einstellungen), zur Aufstellung einer komplexen Gesamtstoff- und Energiebilanz notwendig.

5. Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich der Zielstellung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Forschungsvorhabens den Zielen gegenübergestellt und vergleichend bewertet. Dafür wird auf die wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Ziele aus Kapitel 3 zurückgegriffen:

Die wissenschaftlich-technischen Ziele des Forschungsvorhabens waren:

- *Herstellung von montanwachs-basierten Hydrophobierungsmitteln mit hoher Stabilität und Lagerungsfähigkeit*

Im Rahmen des Forschungsprojektes erfolgte die Herstellung von montanwachs-basierten Dispersionen zur Hydrophobierung von lignocellulosen Werkstoffen. Die Lagerungsdauer der bevorzugten Formulierung RO-03 nach 12 Monaten wurde an durch die Herstellung von HDF untersucht. HDF unter Verwendung von einem Jahr gelagerten Dispersion wiesen eine Querkzugfestigkeit von 84 % gegenüber Platten mit frischer Montanwachsdispersion auf. Die Normanforderungen aus EN 622-5 ($> 0,8 \text{ N/mm}^2$) wurden deutlich eingehalten.

Die Scherstabilität der Dispersion RO-03 muss noch verbessert werden. Bei hohen Scherraten, wie sie in den Hydrophobierungsmittel-Pumpen anliegen, kam es zu teilweise Ablagerungen (siehe Abbildung 56). Für einen industriellen Einsatz sind diesbezüglich Modifikationen notwendig.



Abbildung 56: Ablagerung in Pumpe, nachdem RO-03 dort hohen Scherraten ausgesetzt wurde.

- *Bewertung der Effektivität bevorzugter Montanwachsdispersionen zur Hydrophobierung und des Einflusses auf die mechanischen Eigenschaften von Laubholz MDF und Dämmstoffen*

Im Vergleich zu konventionellen Paraffinwachsdispersionen konnten mit RO-03 ähnliche mechanische Eigenschaften und Quellwerte erreicht werden. Teilweise, z.B. bei Dämmstoffen, ergaben sich sogar bessere Ergebnisse als mit herkömmlichen Paraffindispersionen. Es war jedoch nicht realistisch, die Einsatzmenge an Hydrophobierungsmitteln deutlich abzusenken. Im Vergleich zu industrieüblichen Dosierungen von bis zu 1 % Hydrophobierungsmittel ist eine Reduzierung auf 0,5 % Montanwachs R-03 aber als Erfolg zu bewerten.

Hinsichtlich der Querkzugfestigkeiten konnte bei Buchenholz-MDF kein klebunterstützender Effekt beobachtet werden. Die Querkzugfestigkeiten nahmen mit Zunahme des Hydrophobierungsmittel-Anteils ab. Die höchsten Querkzugfestigkeiten wurden bei Buchenholz-MDF ohne Hydrophobierungsmittel erzielt..

Die Hydrophobierungswirkung nimmt mit Zunahme des Hydrophobierungsmittel-Anteils bei Montanwachs zu. Ab 0,5 wt-% Hydrophobierungsmittel-Anteil konnte bei der Herstellung von MDF aus Kiefernholz und aus Buchenholz keine nennenswerte Steigerung der Hydrophobierungswirkung mehr erreicht werden. Die Verringerung der Anteile unter 0,5 wt-% führt im Gegenzug zu deutlich schlechteren Quellwerten und ist sicherlich auf eine ungenügend homogene Verteilung der geringen Hydrophobierungsmittelmenge zurückzuführen.

Aufgrund der geringeren Hydrophobierungswirkung bei Einsatzmengen unter 0,5 wt-% ist eine weitere Absenkung des Hydrophobierungsmittel-Anteils nicht zu empfehlen.

- *Maximierung des Laubholzanteils bei MDF und Dämmstoffen bei gleichbleibenden mechanischen und hygienischen Eigenschaften im Vergleich zu Kiefernholz*

Im Forschungsprojekt wurden MDF, HDF und Dämmstoffe mit bis zu 100 % Laubholzanteil hergestellt. Es erfolgten vergleichende Untersuchungen zwischen Nadelholz (bei MDF Kiefer, bei Dämmstoffen Fichte) und Laubholz (Buche, Pappel). Unter konstanten Pressparametern wurden unter Verwendung der bevorzugten Hydrophobierung mit 0,5 wt-% RO-03 bei Blenderbeleimung für MDF und HDF mit Pappelfasern und der Fasermischung aus Kiefer/Buche (50:50) höhere Quersugfestigkeiten und geringere Dickenquellungen als bei reinem Kiefernfasernstoff erreicht. Bei mittels Blowline-Beleimung hergestellten MDF konnten mit der Ki/Bu-Mischung und Buchenfasern bessere Werte als bei Kiefernholz erzielt werden. Bei HDF waren die Werte bei Einsatz von Buchenfasern und Pappelfasern besser.

Die Ergebnisse sind aus zwei Gründen kritisch zu hinterfragen. Zum einen war es nicht möglich, einheitliche Hackschnitzel der einzelnen Holzarten zu beschaffen. Die Pappelhackschnitzel stammten aus der Produktion eines großen Möbelherstellers bezogen. Die Buchenhackschnitzel wurden hingegen direkt aus kurz vorher geschlagenem Buchenholz hergestellt, wiesen eine hohe Feuchte auf und waren daher sehr gut zu plastifizieren. Die Kiefern hackschnitzel stammten ebenfalls aus industrieller Produktion eines MDF-Herstellers und wiesen mit 30 bis 40 % einen geringeren Feuchtegehalt auf.

Zum anderen wurden die Platten aus Gründen der direkten Vergleichbarkeit und Vermeidung von „Reißern“ bei Anwendung der Laubholz-Fasernstoffe mit abweichender Dichte und Morphologie bei vergleichsweise niedrigen, von der industriellen Praxis abweichenden Presstemperaturen von 180°C hergestellt. Die niedrige Presstemperatur ist für die Laubhölzer vorteilhaft.

Es wurden ebenfalls Untersuchungen mit trockeneren Buchenhackschnitzeln und Kiefernholz bei 220°C Presstemperatur durchgeführt. Bei dieser Temperatur zeigten sich höhere Festigkeiten und Quersugfestigkeiten bei Kiefernholz.

Im Forschungsvorhaben zeigte sich ein deutlicher Einfluss der Presstemperatur auf die Eigenschaften von MDF/HDF. So lassen die Ergebnisse auch einen Einfluss der Presstemperaturen auf die Wechselwirkungen zwischen RO-03 und das Holzfasern/Klebstoff-System vermuten. In weiterführenden Untersuchungen sollte die optimale Presstemperatur in Abhängigkeit des Fasertyps bzw. der Holzart ermittelt werden.

Die Dämmstoffplatten wurden mittels Hochfrequenztechnologie hergestellt. Die Festigkeiten der Laubholz-Varianten erreichten nicht das Niveau der Fichtenfaserndämmplatten. Die Wasseraufnahmen lagen in etwa auf dem gleichen Niveau.

- *Identifikation von Wechselwirkungen zwischen Montanwachsdispersionen und Faserbeschaffenheit (Partikelanalyse)*

Die Faserstoffmorphologie wurde im Projekt mittels Camsizer-Verfahren analysiert und auf Basis der Ergebnisse zwischen den untersuchten Holzarten angeglichen. Bei gleicher Faserstoffzusammensetzung waren unterschiedliche Ergebnisse zwischen den Holzarten durch Unterschiede in der Faserbeschaffenheit zu erklären.

Die mechanischen und hygrischen Eigenschaften der hergestellten Holzwerkstoffe mit unterschiedlichen Holzarten sind im Forschungsbericht beschrieben. Aufgrund der Vielzahl der Einflussparameter (Holz, Zerfaserungsprozess, Beileimung, Pressen) war es nicht möglich, darüber hinaus direkte Zusammenhänge zwischen Montanwachsdispersionen und Faserbeschaffenheit zu identifizieren. Versuche, mittels Fluoreszenzlebensdauer-Mikroskopie (fluorescence lifetime imaging microscopy, FLIM) Wechselwirkungen zwischen Montanwachsdispersionen und Faserbeschaffenheit zu identifizieren, führten nicht zu eindeutigen Ergebnissen.

- *Identifikation von Wechselwirkungen zwischen Montanwachsdispersionen und den industrieüblichen Bindemitteln*

Um Wechselwirkungen zwischen Montanwachsdispersionen und den industrieüblichen Bindemitteln zu identifizieren, wurden im Forschungsprojekt MDF/HDF und sowie Dämmstoffe mit Montanwachsdispersionen und handelsüblichen Hydrophobierungsmitteln als Referenz hergestellt. Wie bereits im Vorgängerprojekt konnte die klebunterstützende Wirkung der Montanwachse nachgewiesen werden, es zeigte sich aber auch eine deutliche Abhängigkeit von den Presstemperaturen. Höhere Presstemperaturen wirken sich vermutlich vorteilhaft auf die klebunterstützende Wirkung aus. Bei 180°C Presstemperatur waren die Querzugfestigkeiten von Buchen- und Kiefern MDF bei Einsatz von RO-03 noch geringer. Bei industrieüblicheren 220 °C Presstemperatur konnten höhere Querzugfestigkeiten durch RO-03 bei Buchen- und Kiefern MDF ermittelt werden.

Bei den Dämmstoffen traten über alle Holzsorten hinweg höhere Festigkeiten und geringere Wasseraufnahmen durch den Einsatz von 0,5 wt-% RO-03 auf, die Presstemperatur wurde jedoch nicht variiert.

- *Identifikation von Wechselwirkungen zwischen Montanwachsdispersionen und Bindemitteln mit verminderten Formaldehydmissionen (UF mit geringem Formaldehydanteil, pMDI, Biko Fasern, Weizenproteine)*

Neben industrieüblichen Klebstoffen wurden auch alternative Klebstoffsysteme zur Verklebung von MDF/HDF bzw. Dämmplatten eingesetzt. Zunächst wurden an MDF Untersuchungen mit UF-Harzen mit geringem Formaldehydanteil (BASF K340S) durchgeführt. Aufgrund der geringeren Reaktivität der Harze wurden zur Ermittlung des Einflusses der Montanwachszugabe das UF-Harz-System K350S zur Herstellung der UF-harzgebundenen Platten eingesetzt.

Darüber hinaus erfolgte auch die Herstellung pMDI-gebundener MDF. Im Vergleich zu herkömmlichen Paraffindispersionen wurden mit RO-03 ähnliche Querzugfestigkeiten und Quellungen, jedoch keine Verbesserungen festgestellt.

Als weiteres alternatives Bindemittelsystem wurden Weizenproteine (Gluvital) untersucht. Unter Verwendung einer speziellen Gluvital-Rezeptur wurden - abweichend von den Ergebnissen mit UF-Harz - mit 1 wt-% Hydrophobierungsmittel bessere Festigkeitswerte als mit 0,5 wt-% erzielt. Das ist ein Hinweis auf abweichende Wechselbeziehungen

zwischen alternativen Bindemitteln und Hydrophobierungsmitteln im Vergleich zu UF-Harzen. So konnte durch die Erhöhung auf 1 wt-% Hydrophobierungsmittel bzw. durch den Einsatz von RO-03 die Normanforderung nach EN 319 eingehalten werden, was mit der industriüblichen Konfiguration und Verwendung von 0,5 wt-% Paraffindispersion nicht gelang.

Zur Herstellung von Dämmplatten kamen BIKO-Fasern zum Einsatz. Durch Verwendung von RO-03 wurden höhere Festigkeiten und geringere Quellungen als mit dem Referenzhydrophobierungsmittel erreicht.

- *Untersuchung des Einflusses von Montanwachsdispersionen auf das Emissionsverhalten von MDF*

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde Einfluss von Hydrophobierungsmitteln auf die VOC- und HCHO-Emissionen von MDF untersucht. Zur Minimierung des Klebstoffeinflusses wurde als Klebstoff pMDI eingesetzt. Die unter Anwendung von RO-03 hergestellten MDF wiesen im Vergleich zu MDF mit Hydrowax geringere Emissionswerte auf. Dadurch lassen sich Hinweise auf mögliche formaldehydbindende Eigenschaften der verwendeten Montanwachsdispersion RO-03 ableiten, was in weitergehenden Untersuchungen untersucht werden sollte. Erhöhte VOC-Emissionen durch den Einsatz der Montanwachse waren nicht zu beobachten.

- *Ableitung von Verfahrensrichtlinien für den Einsatz von Montanwachsdispersionen*

Für den Einsatz von Montanwachsdispersionen gelten die gleichen Verfahrensrichtlinien wie für den Einsatz von herkömmlichen Paraffinwachsdispersionen. Bei der Verwendung von UF-Harz-Bindemitteln für die MDF-Herstellung sollte ein Hydrophobierungsmittelanteil von 0,5 wt-% der Formulierung RO-03 vorgesehen werden. Bei alternativen Klebstoffsystemen ist eine Neubewertung des Hydrophobierungsmittelanteils notwendig, so empfiehlt sich bei Weizenprotein-gebundenen Platten beispielsweise der Einsatz von mind. 1 wt-% RO-03.

Die wirtschaftlichen Ziele des Forschungsvorhabens waren:

- *Bereitstellung eines effizienten Hydrophobierungsmittels aus lokalen Rohstoffquellen*

Im Vergleich zu konventionellen Paraffinwachsdispersionen konnten mit RO-03 ähnliche mechanische Eigenschaften und Quellwerte erreicht werden. Die Möglichkeit, bisher dominierende Paraffine durch Montanwachse zu substituieren, ist gegeben.

- *Senkung der Einsatzmenge von Bindemittel und Additiven als Beitrag zur Kostensenkung von faserbasierten Holzwerkstoffen*

Bei Dämmstoffen konnten durchweg Verbesserungen hinsichtlich der Festigkeiten und Wasseraufnahmewerte durch die Anwendung der Formulierung RO-03 erzielt werden, was ein besonderes Einsparpotential bzgl. Klebstoffeinsatzmenge in Aussicht stellt. Auch bei HDF/MDF werden bei einigen Kombinationen Möglichkeiten zur Reduzierung der Klebstoffmenge gesehen. In weiterführenden Untersuchungen sollte der Einfluss der Hackschnitzelqualität und der

Presstemperaturen auf die mechanischen und hygrischen Eigenschaften von MDF/HDF mit Montanwachsdispersio-
nen näher analysiert werden.

- *Senkung des Energieaufwandes bei der Zerfaserung und Trocknung*

Die Senkung des Energieaufwandes durch den Einsatz von Laubholz und einen geringen Klebstoffanteil konnte im Rahmen des Forschungsprojektes nicht nachgewiesen werden. Es war im Laborversuch nicht möglich, die verursachenden Parameter in notwendigem Maß konstant zu halten. Zur Ermittlung des Energiebedarfes sind weitere Untersuchungen über länger Zeiträume, z.B. in Form einer komplexen Gesamtstoff- und Energiebilanz notwendig.

6. Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises und Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten stellen die Umsetzung der im Forschungsantrag vorgesehenen Arbeitsschritte dar und waren für die Erreichung des Forschungsziels wichtig. Es wurden nur die Arbeiten geleistet, die unbedingt zur Erreichung des Projektziels notwendig waren. Daher ist der Aufwand angemessen.

Die Zuwendungsverwendung betrifft im Einzelnen:

Ausgaben für Personal

16 PM HPA-A

4,7 PM HPA-B

32,9 PM übriges Personal

Ausgaben für Geräte

Keine

Geplant war die Anschaffung einer Dosierpumpe mit Anschaffungsausgaben in Höhe von 6445,04 €. Vom Kauf der Pumpe wurde im Verlauf des Projektes abgesehen, da eine technisch vergleichbare Dosierpumpe auf Leihbasis genutzt werden konnte.

Diese Dosierpumpe sollte eine Zugabe von 0,2 % Hydrophobierungsmittel (bezogen auf Faserstoff) mit einem Feststoffgehalt der Dispersion von 50 bis 60 % bei einem Faserdurchsatz von 500 g/min mit einer minimalen Förderleistung von 2 ml/min ermöglichen. Die Geräteanschaffung wurde notwendig, da die im Labor des IHD verfügbaren Pumpen nur über eine minimale Förderleistung von 12 ml/min verfügen. Als wir nach Projektbewilligung die Pumpe erwerben wollten, konnte vom Pumpenhersteller jedoch eine Füllung der Pumpe aufgrund der vergleichsweise großen Feststoffmengen von bis zu 60 % nicht garantiert und damit keine Gewährleistung auf einen funktionierenden Prozess gegeben werden. Nachdem die Suche nach Alternativen erfolglos blieb, konnten wir von Fachkollegen einer anderen Forschungseinrichtung eine Dosierpumpe ausleihen, mit der dann die geplanten Versuche mit einem etwas erhöhten personellen Aufwand (für Einstellungs- und Reinigungsarbeiten) erfolgreich durchgeführt wurden. Die Projektbearbeitung war dementsprechend nicht gefährdet.

Ausgaben für Leistungen Dritter

keine

7. Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Ergebnisse für KMU

Deutschland ist als Hochlohnland bei der Produktion auf hochwertige und innovative Produkte sowie auf Produkte mit hoher Wertschöpfung angewiesen. Innovative Produkte stellen eine Chance für mittelständische und kleine Unternehmen dar. Die mittelständische Industrie kann diese Innovationen jedoch nicht immer selbst erarbeiten, zumal diese risikoreich sein können. Die Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen ermöglicht daher den dafür notwendigen Forschungsvorlauf.

Die derzeit den Markt dominierenden Hydrophobierungsmittel auf Basis von Paraffinwachsen werden in erster Linie aus Erdöl hergestellt. Durch die Substitution mit Montanwachsen auf Basis lokal verfügbarer Rohstoffquellen (Braunkohle) kann ein Beitrag zur Unabhängigkeit von global agierenden Unternehmen und zur Rohstoffsicherheit für kleine und mittelständige Unternehmen geleistet werden. Die entwickelten und untersuchten Montanwachsdispersionen haben das Potential, herkömmliche Paraffinwachse als Hydrophobierungsmittel für Holzwerkstoffe zu ersetzen. Dabei funktionieren sie auch mit alternativen Klebstoffen und Holzfasertypen auf Basis von Laubholz und bieten somit auch für zukünftig verstärkt auf Laubholz basierende Holzwerkstoffe Einsatzpotenzial. Insbesondere bei Holzfaserdämmstoffen konnten mit den angewendeten Technologien und den entwickelten Montanwachsformulierungen höhere Festigkeiten und geringere Wasseraufnahmen erzielt werden. Bei dieser Produktgruppe bietet sich ein besonders hohes Potenzial der Verringerung des Bindemittelanteils, woraus sich ein ökologischer und ökonomischer Vorteil für Holzwerkstoffhersteller ableiten lässt.

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnten jedoch nicht alle Forschungsfragen beantwortet und alle Forschungsziele erreicht werden. Die Montanwachsdispersion RO-03 ist bei hohen Scherbeanspruchungen, wie z.B. beim Pumpen, noch nicht ausreichend scherstabil, wodurch es zu inakzeptablen Wachsablagerungen im Pumpengehäuse kommen kann. Hier ist eine Weiterentwicklung der Montanwachsdispersionen notwendig.

Zudem konnten im Forschungsprojekt durch die Annäherung der Faserstoffzusammensetzung bei verschiedenen Holzarten Aussagen über die Hydrophobierungswirkung der Montanwachse im Vergleich zu herkömmlichen Paraffinwachsen getroffen werden. Die unterschiedlichen Ausgangsbedingungen der Hackschnitzel (Herstellung, Feuchte, Lagerungsdauer) wurden allerdings nicht gesondert betrachtet, was die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse für weitere Untersuchungen erschwert. Darüber hinaus wurde im Forschungsvorhaben ein deutlicher Einfluss der Presstemperaturen auf die Querzugfestigkeit und Dickenquellung von MDF/HDF beobachtet. Die optimalen Pressparameter unterscheiden sich zwischen den Holzarten bzw. Fasertypen. Für eine wirtschaftliche Verwertung der Ergebnisse sollten die optimalen Pressparameter für jeden Fasertyp einzeln bestimmt werden, um einen direkten Vergleich der Festigkeiten und Quellungen zwischen den Holzarten zu ermöglichen.

Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Aufstellung einer vollständigen Stoff- und Energiebilanz des Zerfaserungs- und Beileimungsprozesses. Erst damit können Aussagen über das tatsächliche Energieeinsparungspotenzial durch Montanwachsdispersionen getroffen werden.

Trotz der beschriebenen Defizite wurde nachgewiesen, dass sich Montanwachsdispersionen als Hydrophobierungsmittel für Faserplatten mit alternativen Rohstoffen hervorragend eignen. Aus Sicht der Projektbearbeiter kann daher von einem erfolgreichen Forschungsprojekt gesprochen werden.

Mit der Formulierung und dem Eignungsnachweis der Montanwachs-Dispersionen zur Hydrophobierung neuartiger Holzpartikelwerkstoffe auf Laubholzbasis konnte Know-how bereitgestellt werden für die Weiterentwicklung von Rezepturen der Montanwachse, das Werkstoffdesign der Holzwerkstoffe und für Prozessschritte der Herstellung von Holzwerkstoffen.

Der unmittelbare Nutzen für die Wirtschaft ergibt sich aus dem Know-how zur Formulierung von Montanwachs-Dispersionen, zur Applikation von alternativen Bindemitteln, zum Design von partikelbasierten Holzwerkstoffen auf Laubholzbasis und zur Prozesstechnologie (Holzaufschluss, Beleimung und Additivierung, Trocknung, Pressverfahren).

Die Anwendung der Montanwachse, von Laubholz und alternativen Bindemitteln in der industriellen Fertigung von Holzpartikelwerkstoffen ist prinzipiell mit der vorhandenen Technologie möglich. Es wird erwartet, dass entsprechende Adaptionen der technologischen Parameter unmittelbar möglich sind. Die niedrige Investitionsschwelle ist insbesondere für kleine und mittelständische Betriebe ein Vorteil. Der Nachweis der Eignung großtechnisch hergestellter Produkte sollte im Rahmen des Know-how-Transfers und im Rahmen von Produktentwicklungen konkret und in Zusammenarbeit mit potentiellen Produzenten und auch Nutzern erfolgen.

Bezüglich der wirtschaftlichen Bedeutung der Forschungsergebnisse muss an dieser Stelle die Zukunft der Braunkohle erwähnt werden. Der Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2038 ist in Deutschland gesetzlich beschlossen. Ob die Gewinnung von Montanwachsen aus Braunkohle darüber hinaus noch wirtschaftlich ist bzw. ob die Förderung von Braunkohle zur Gewinnung von Montanwachsen noch zugelassen sein wird, ist ungewiss. Um die Erkenntnisse dieses Forschungsprojektes in Zukunft weiter nutzen zu können, wurde bereits ein IGF-Folgeprojekt zur Nutzung von nachwachsenden Pflanzenwachsen beantragt. Einige Pflanzenwachse weisen ähnliche chemische Zusammensetzungen im Vergleich zu Montanwachsen auf, was eine Eignung als Hydrophobierungsmittel erwarten lässt.

8. Ergebnistransfer in die Wirtschaft

8.1 Realisierte Transfermaßnahmen während der Projektlaufzeit

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraum
Beratung des projektbegleitenden Ausschusses	Vorstellung Projekt / Diskussion zu den geplanten Arbeiten /zu Zwischenergebnisse / Bewertung der Endergebnisse / Diskussion zu Transfermaßnahmen	FDBI IHD	4 PbA-Treffen
Fachveranstaltungen	Umfassende Verbreitung der Ergebnisse und Austausch mit Anwendern	European Wood Based Panel Symposium, Hannover (2020 abgesagt)	auf 2022 verschoben
Veröffentlichungen	Umfassende Verbreitung der Ergebnisse	Veröffentlichung der Ergebnisse auf Jahresbericht 2020 des IHD	2021
Austausch mit Anwendern	Know-how-Transfer in Unternehmen	Zusammenfassende Darstellung der Forschungsergebnisse Verbreitung durch die Verbände Beratung von Unternehmen	Während der der Projektlaufzeit

Transfer in die Industrie durch Verbände; Einbeziehung von Multiplikatoren	Ergebnisvorstellung und -transfer in branchenübergreifenden Kompetenznetzwerken und Industrieverbänden Sicherung der allgemeinen Zugänglichkeit von Projektinformationen und -ergebnissen	FDBI Verband der Holzwerkstoffindustrie e. V. (VHI) LignoSax Arbeitskreis Holzwerkstoffe	Während der Projektlaufzeit
Messen	Ergebnisvorstellung auf internationalen Messen	InterZum LIGNAPlus	2019 2019
Internet	Bekanntmachung der Forschungsergebnisse durch Kurzberichte Zugang zu Forschungsberichten	Veröffentlichung der Ergebnisse mittels der Internetauftritte von: FDBI IHD	Während der Projektlaufzeit
Übernahme der Ergebnisse in die Lehre	Vermittlung der Ergebnisse direkt an Studierende in der theoretischen und praktischen Ausbildung	Vorlesungen / Seminare und Praktika, Bachelorarbeit Fachbereich Holztechnik der Berufsakademie Sachsen,	Während der Projektlaufzeit
Berichterstattung	Zusammenstellung d. Forschungsergebnisse	Abschlussbericht FuE-Bericht für TIB Hannover	Zum Projektabschluss

8.2 Geplante und realisierte Transfermaßnahmen nach Abschluss der Projektlaufzeit

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraum
Präsentationen	Vorstellung d. Projektes	European Wood Based Panel Symposium, Hannover 2022	2022
Konsultationen mit Anwendern	Vorstellung d. Ergebnisse u. Beratung über weiterführende Entwicklungsarbeiten	Hersteller von Montanwachsen Hersteller von Klebstoffen Hersteller von Holzwerkstoffen	nach Ende des Projekts
Auftragsforschung und Beratung	Weiternutzung der Versuchseinrichtungen für die industrielle Beratung bei praktischen Problemstellungen	Weitergabe des erworbenen Wissens / weiterführende Untersuchungen mit den Versuchseinrichtungen, Beratung Beratung, Dienstleistung und Prüfung im Bereich Herstellung von Holzwerkstoffen	nach Ende des Projekts
Aufbau eines Demonstrationszentrums für Holzwerkstoffe	Bereitstellung von Expertise und technischer Infrastruktur für Unternehmen zu begleiten Untersuchungen der Prozess- und Materialentwicklung der Holzwerkstoffindustrie und ihrer Zulieferer	Technikum des IHD: Partikelherstellung, -aufbereitung und -trocknung, Partikelanalysen Bindemitteltestung und -analysen Prozessanalysen, Technologieoptimierung Fremdüberwachung/CE-Kennzeichnung Prüfung normativer Eigenschaften	nach Ende des Projekts
Normenarbeit	Berücksichtigung der Ergebnisse bei Erstellung und Überarbeitung von Normen und technischen Regelwerken	NA 042-02-15 AA (Holzwerkstoffe) CEN/TC112 und ISO/TC89 (Wood based panels) NA 005-04 FBR und NA 005-04-01 AA (Holzbau) CEN/TC112/WG9 (Solid Wood Panels)	nach Projektende
Veröffentlichungen	Umfassende Verbreitung der Ergebnisse	Veröffentlichung der Ergebnisse in Fachzeitschriften wie beispielsweise: Holztechnologie European Journal of Wood and Wood Products, Intl. Journal of Wood Products	nach Projektende

8.2.1 Einschätzung der Realisierbarkeit der geplanten Transfermaßnahmen

Die erfolgten Aktivitäten zum Ergebnistransfer spiegeln die Bandbreite der Möglichkeiten der Informationsverbreitung wider. Die während der Projektlaufzeit genutzten Publikationswege haben zum Ergebnis, dass verschiedene interessierte Kreise wie potentielle Hersteller von Halbzeugen und Endprodukten sowie Anwender ihr Interesse an der Weiterführung des Projektes bekundet haben. Die angestrebten fest geplanten Aktivitäten (z. B. Artikel in Fachzeitschriften und -tagungen) werden durch weitere mögliche Präsentationswege ergänzt, die primär nach der Bearbeitung weiterführender Entwicklungsschritte erfolgen sollen. Dies kann und wird mit den verschiedenen Nutzern der Projektergebnisse gemeinsam geschehen. Somit ist abschließend festzuhalten, dass die erfolgten Aktivitäten zum Ergebnistransfer als erfolgreich und die angestrebten Unternehmungen als realisierbar eingeschätzt werden.

9. Literaturverzeichnis

- [1] MIETH, Andreas: *Zusammensetzung, Ursprung und Anwendung von Montanwachsen*. Telefonat. 2020-08-10. (Adressat)
- [2] BONIGUT, J. ; KRUG, Detlef: *Entwicklung multifunktionaler wachshaltiger Additive für Holzwerkstoffe*. Abschlussbericht. Dresden, 30.01.2015
- [3] EPF (Hrsg.): *EPF Annual Report : 2019/2020*. Brüssel, Belgien, 2020
- [4] ABRAHAM, J.: *Wachsbasierte Hydrophobierungsmittel - Zusammenhänge zwischen Struktur und Performance*. In: IHD (Hrsg.): *10. Holzwerkstoffkolloquium 2013*. Dresden, 2013, S. 44–46
- [5] TOBISCH, S. ; DUBE, H. ; LILIE, B.: *Minimierung der Dickenquellung und der Emissionen von OSB*. Abschlussbericht. Dresden, 2005
- [6] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (Hrsg.): *Wald und Rohholzpotenzial der nächsten 40 Jahre : Ausgewählte Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2013 bis 2052*. April 2016
- [7] KRUG, Detlef ; MÄBERT, M.: *MDF-Basisarbeit : Laubholz als Rohstoffalternative für Faserplatten im IHD-Test*. In: *MDF-Magazin* (2007), S. 80–85
- [8] STECKEL, V.: *Ein langsamer Abschied vom Formaldehyd? : Bindemittel ohne Formaldehyd und aus nachwachsenden Rohstoffen gewinnen an Relevanz*. In: *Holz-Zentralblatt* (2019), Nr. 29, S. 652–654
- [9] WEBER, A. ; KRUG, Detlef: *Proteine als Klebstoffalternative für Massivholzplatten*. In: *Messe Erfurt* (Hrsg.): *5. Internationales Symposium "Werkstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen"*, 2005
- [10] ASPLUND, A.: *Die Defibrator-Methode und ihre Anwendungsgebiete*. In: *Wochenblatt für Papierfabrikation* (1940), Nr. 49, S. 590–610
- [11] MEINKER, Fabian: *Hydrophobierbarkeit von Holzspänen und Holzfasern aus Laub- und Nadelhölzern : 5. Fachtagung Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie*. November 2018
- [12] KRUG, Detlef ; MÄBERT, M. ; TOBISCH, S.: *Verwendung von Laubholz als Rohstoffalternative zur MDF-Herstellung*. Abschlussbericht. Dresden, 2008
- [13] WAGENFÜHR, André (Hrsg.); SCHOLZ, Frieder (Hrsg.): *Taschenbuch der Holztechnik*. 2., aktualisierte Auflage. München : Hanser Verlag, 2012

- [14] C. WENDERDEL ; A. WEBER ; M. HIELSCHER ; M. PFAFF ; U. SONNTAG: *Spezielle Methoden zur morphologischen Charakterisierung lignocelluloser Faserstoffe - Teil 2: Faserstoffherzeugung und morphologische Charakterisierung*. In: *Holztechnologie* 57 (2016)