
Beschreibung zum Forschungsantrag

1. Forschungsthema

Entwicklung von pflanzenwachs-basierten Additiven zur Funktionalisierung von Partikelwerkstoffen [PflawabA]

2. Wissenschaftliche Relevanz für KMU**2.1. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung**

Bei der Herstellung von Holzwerkstoffen werden den lignocellulosen Partikeln neben Bindemitteln auch Additive zur Funktionalisierung zugegeben. Eine wesentliche Rolle spielen dabei Hydrophobierungsmittel, die dem Holzwerkstoff wasserabweisende Eigenschaften verleihen.

Dies ist notwendig, da lignocellulose Materialien bei hohen Umgebungsluftfeuchten u.a. über Kapillarkondensation Wasser einlagern und dieses dann bei geringeren Luftfeuchten wieder abgeben. Die mit der Quellung/Schwindung verbundene Dimensionsinstabilität ist oftmals nachteilig. Darüber hinaus verringern sich bei den meisten lignocellulosen Materialien in feuchtem Zustand die Festigkeiten und sie werden schneller von holzerstörenden Organismen befallen. Um die Gebrauchstauglichkeit der Holzwerkstoffe zu gewährleisten und den Normanforderungen für die Dickenquellung zu entsprechen, werden bei der Herstellung je nach Werkstofftyp zwischen 0,3 wt-% und 2 wt-% Hydrophobierungsmittel hinzugegeben [1]. Spanplatten nehmen in Bezug auf die Produktionsmenge den größten Anteil bei der Produktion von Holzwerkstoffen in Deutschland und Europa ein [2, 3]. In Europa ergeben sich ca. 143.900 t¹ Hydrophobierungsmittel bei 29,4 Mio. m³ produzierten Spanplatten.

In der europäischen Holzwerkstoffindustrie werden herkömmlicherweise Paraffine bzw. Paraffinemulsionen als Hydrophobierungsmittel eingesetzt. Paraffinemulsionen bieten einerseits nur zeitlich begrenzten Schutz. Andererseits kann die Zugabe von größeren Mengen, d. h. mehr als 1,0 wt-% Festparaffin auf atro Holzmasse, zu Beeinträchtigungen bei der Verklebung bei der Holzwerkstoffherstellung führen [4]. Paraffine werden, wie auch die durch das Fischer-Tropsch-Verfahren erzeugten synthetischen Wachse und Montanwachse, überwiegend aus Erdöl oder Kohle gewonnen. Ein vorhersehbares Ende der Koh-

¹ mit einer angenommenen durchschnittlichen Rohdichte von 680 kg/m³, 10 wt-% Feuchte, 0,8 wt-% Hydrophobierungsmittel auf atro Holz

ieförderung, tendenziell abnehmende Ölreserven, deutliche Schwankungen der Rohölpreise und eine zunehmende Fokussierung der Gesellschaft auf nachhaltige Produkte forcieren die Suche nach alternativen Rohstoffen. Pflanzliche Öle und Wachse stellen aufgrund ihrer breiten Verfügbarkeit und biologischen Abbaubarkeit eine vielversprechende Quelle für die Herstellung nachhaltiger und umweltfreundlicher Wachse dar [5]. Der Einsatz von auf nachwachsenden Pflanzen basierenden Wachsen kann eine Möglichkeit darstellen, auf Veränderungen in der Verfügbarkeit von Ausgangsrohstoffen der für den Einsatz als Additiv bei der Herstellung von Holzwerkstoffen benötigten Dispersionen zu reagieren. Da viele Pflanzenwachse aus Reststoffen (z.B. Filterrest von Sonnenblumenöl, Zuckerrohrbagasse) extrahiert werden, besteht in diesen Fällen keine Ackerflächenkonkurrenz zur Produktion von Nahrungsmitteln [6, 7]. Um den Anteil fossiler Erzeugnisse an Holzwerkstoffen weiter zu senken, sollen in Industrie und Forschung alternative Klebstoffsysteme auf nachwachsender Rohstoffbasis, wie z.B. Proteinleime, Anwendung finden [8]. Diese eignen sich prinzipiell als Bindemittel für Holzwerkstoffe, erreichen jedoch noch unzureichende Festigkeiten und Dimensionsstabilität bei Feuchteeinwirkung [9]. Es wird angenommen, dass durch die Kombination mit pflanzenwachsbasierten Additiven diesen Defiziten entgegengewirkt wird. Auf diese Weise wird ein positiver Beitrag zur Entwicklung ausschließlich biobasierter Holzpartikelwerkstoffe geleistet.

Mit dem Einsatz wässriger Pflanzenwachsdispersionen und der Optimierung additivgerechter Herstellungsprozesse wird ein entscheidender Beitrag zur Entwicklung neuartiger Spanplatten mit Hydrophobierungsmitteln aus nachwachsenden Rohstoffen geleistet. Durch den Einsatz klebunterstützender Wachse soll der Bindemittelanteil in Partikelwerkstoffen minimiert werden und die Formaldehydemissionen von konventionellen Klebstoffen bzw. die Kosten von biobasiert verklebten Spanplatten gesenkt werden. In diesem Kontext sind Zusammenhänge zwischen der chemischen Zusammensetzung der Wachse und physikalischen Effekten bei der Holzwerkstoffherstellung zu identifizieren. Mit den Untersuchungen soll beurteilt werden, welche rezenten Pflanzenwachse sich für die Hydrophobierung von Spanplatten eignen.

2.2. Wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU

2.2.1. Innovationspotenzial für einen oder mehrere Wirtschaftszweige

Mit den angestrebten Ergebnissen des Vorhabens – a) eines neuartigen, partikelbasierten Holzwerkstoffes mit erhöhtem Anteil an nachwachsenden Rohstoffen, b) der Gewinnung von Hydrophobierungsmitteln aus nachwachsenden, pflanzlichen Reststoffen, c) der Technologie zur Dispergierung der Hydrophobierungsmittel, d) der Materialrezeptur sowie der e) Adaption des Prozessablaufes – besteht ein hohes Applikationspotential in folgenden Wirtschaftszweigen:

Tabelle 1: Applikationspotential in den Wirtschaftszweigen

(Braun)Kohlebergbau	Langfristige Ablösung von kohlestämmigen Dispersionen im Bereich der Holzwerkstoffe
Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	neuer Absatzmarkt für pflanzliche Reststoffe zur Extraktion von Pflanzenwachsen
Herstellung von chemischen Erzeugnissen/Wachsen	neuartige multifunktionale Additive für die Holzwerkstoffindustrie (hydrophob, klebstoffunterstützend)
Herstellung von Holzwaren	Know-how (Rezepturen, Technologie) zur Anwendung neuartiger Additive für lignocellulose, partikelbasierte Werkstoffe, Steigerung des Anteils an nachwachsenden Rohstoffen
Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen; Rückgewinnung	Neue Technologien zur stofflichen Verwertung von pflanzlichen Reststoffen zur Wachsextraktion
Baugewerbe	innovative Verfahren/Produkte auf Holzbasis, feuchtbeständige Materialien für Bauprodukte aus Holz, Verbesserung der CO ₂ -Bilanz durch Steigerung des Anteils nachwachsender Rohstoffe
Herstellung von Möbeln	neuartige feuchtebeständige Materialien für die Möbelindustrie und den Innenausbau (Feuchtraumgestaltung), Verbesserung der CO ₂ -Bilanz durch Steigerung des Anteils nachwachsender Rohstoffe

Die Vorhabensergebnisse führen deshalb zum Erkenntnisfortschritt in den Fachgebieten:

Tabelle 2: Erkenntnisfortschritt in den Fachgebieten

Chemie und chemische Verfahren	Formulierung und Synthese neuartiger Additive für die Funktionalisierung von HWS (Hydrophobierung, Klebstoffwirkung), Reaktionskinetik
Werkstoffe, Materialien	funktionale Zusammenhänge zwischen den Parametern der Additivrezepturen, des Materialdesigns, der Presstechnologie beim Fügen und den mechanisch-physikalischen Eigenschaften von Spanplatten
Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung	Know-how bei der Substitution von fossilen durch nachwachsende Rohstoffe
Forschung für nachhaltige Agrarwirtschaft	Eröffnung neuer Verwertungsketten im Sinne der Kreislaufwirtschaft und neue Ansätze zur stofflichen Verwertung von Pflanzenresten
Verfahrenstechnik	Know-how für Technologien zur Synthese und Applikation der Additive

2.2.2. Potenzieller Nutzerkreis vor dem Hintergrund der adressierten Zielgruppe (KMU)

Die Ergebnisse dieses Vorhabens sind für die wirtschaftliche Weiterentwicklung in den folgenden Branchen bzw. Marktbereichen relevant:

Tabelle 3: Potenzieller Nutzerkreis

Branche	Anwendung	Wirtschaftliche Relevanz
Chemische Industrie	neue Applikationen für Spezialprodukte	40 Bindemittel- und Additivhersteller für die Holzwerkstoffindustrie, ca. 600 Mio. € Umsatz
Naturwachshersteller	neue Anwendungen für Pflanzenwachse	90.600 t Einsatzmenge nachwachsender Wachse/Harze/Gerbstoffe in D [10]
Holzwerkstoffindustrie, Sägeindustrie	nachhaltigere Produkte, neue Perspektiven für Spanplatten	12,5 Mrd. € Umsatz, 3170 Unternehmen [11]
Möbelindustrie	nachhaltigere Materialien für den Möbelbau, Innenausbau	Umsatz mit Holzmöbeln in D, 11,8 Mrd. € [11]
Bauwesen	neue Materialien für tragende Verkleidungen, Konstruktionen, Schalungen	Holz im Baugewerbe 21,18 Mrd. € [11]
Recyclingindustrie	neue wirtschaftliche Verwertungsquellen für pflanzliche Reststoffe	z.B. weltweit ca. 279 Mio. t Zuckerrohrbagasse [12], 63 – 76 Mio. t Reiskleie [13]
Verpackungsindustrie	neue Materialien für Kisten, Transportverpackungen, Regalböden	Umsatz mit Holzverpackungen 731 Mio. € [14]

2.2.3. Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der KMU

Die zu entwickelnden Hydrophobierungsmittel basieren auf nachwachsenden, pflanzlichen Rohstoffen, die in ausreichenden Mengen und Qualitäten sowie zu geringen Kosten hergestellt werden können [7] und dadurch das Potential haben, konventionelle, erdölbasierte Paraffinwachse in der Holzwerkstoffindustrie zu substituieren. Darüber hinaus kann ggf. durch die klebunterstützende Funktion von Pflanzenwachsen bei der Herstellung von Spanplatten Bindemittel eingespart werden, was zu einer kosteneffizienteren und CO₂-sparenden Produktion in der Holzwerkstoffindustrie beiträgt. Der damit verbundene höhere Nachhaltigkeitsanspruch von Spanplattenprodukten ist gleichfalls ein Wettbewerbsvorteil in der anwendenden Industrie, z.B. Möbelindustrie, Verpackungsindustrie und Bauwesen. Mit maßgeschneiderten Produkten ergeben sich für die Anwender zudem neue, am Markt platzierbare Produkte (Möbel/Innenausbau/Bauwesen/Verpackungen: neue Werkstoffe mit erhöhter Feuchteresistenz; Chemische Industrie: neue Anwendungen für Spezialprodukte).

2.2.4. Beitrag zur Entstehung neuer bzw. deutlicher Erweiterung bestehender Geschäftsfelder

Pflanzenwachshersteller können durch die Anwendung pflanzlich basierter Additive den neuen Absatzmarkt der Holzwerkstoffindustrie erschließen. Gleiches gilt für die Erzeuger von pflanzenbasierten Rohstoffen, z.B. von Reststoffen aus der Lebensmittelproduktion oder Agrarprodukten. Die chemische Industrie kann ihre Produktpalette durch neue Absatzmärkte für Produkte zur Dispersionsherstellung, wie z.B. Stabilisatoren erweitern. Zur Extraktion von Pflanzenwachsen in einem für die Serienfertigung der Holzwerkstoffindustrie erforderlichen Maßstab ist neue Verfahrenstechnik erforderlich, womit sich für die Maschinenbauindustrie ein neuer Absatzweig ergibt. Die zu entwickelnden Technologien ermöglichen neue Produktionsabläufe und damit neue Produktionsorganisationen zwischen o. g. Unternehmen und der Nahrungsmittelindustrie/Landwirtschaft sowie im Bereich der Verwertungs- und Recyclingkonzepte (z.B. stoffliche Verwertung, ggf. Kompostierung von HWS): Es entsteht ein Innovationsfeld für Joint Ventures und Aus- oder Neugründungen von Unternehmen.

2.2.5. Beitrag des Vorhabens zur Entwicklung von Normen, Standards und Erfüllung gesetzlicher Auflagen

Durch das Vorhaben wird ein Beitrag für die Verwertung pflanzlicher Abfälle und den Einsatz nachwachsender Rohstoffe für Spanplatten geleistet. Das Forschungsvorhaben liefert somit einen Beitrag im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG). Darüber hinaus werden die Projektergebnisse in die Arbeit von Normenausschüssen einfließen: 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).

2.2.6. Beitrag zur Erreichung volkswirtschaftlicher und gesellschaftlicher Ziele

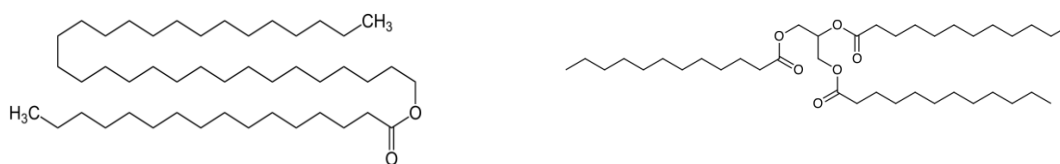
Durch den Einsatz von auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Hydrophobierungsmitteln kann die CO₂-Bilanz bei der Spanplattenherstellung verbessert und der Einsatz fossiler Rohstoffe gemindert werden. Das Vorhaben trägt somit zum Erreichen der Pariser Klimaziele bei, zu denen sich die Bundesrepublik Deutschland verpflichtet hat [15]. Die stoffliche Verwendung von Holz im Allgemeinen führt zur CO₂-Speicherung in den daraus gefertigten Produkten. Mit den Ergebnissen dieses Projektes wird die effiziente Holzverwendung gefördert, was in Übereinstimmung mit den in der Charta für Holz 2.0 [16] erklärten Zielen liegt. Darüber hinaus können mit der Entwicklung emissionsarmer Holzwerkstoffe und der Verwendung alternativer, gesundheitlich unbedenklicher Additive/Bindemittel zum Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie zur Einhaltung emissionsrechtlicher Vorgaben (z.B. TA Luft) beigetragen werden. Zudem wirkt das Vorhaben durch eine verbesserte Wertschöpfung in Land-/Forstwirtschaft, chemischer Industrie und Holzwerkstoffindustrie im Sinne der „Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt“ [17].

3. Wissenschaftlich-technischer Ansatz

3.1. Stand der Forschung und Entwicklung

Pflanzliche Wachse und Öle

Pflanzliche Wachse sind komplexe Vielstoffgemische, die u.a. bei 20°C knetbar sowie fest bis brüchig-hart sind und eine grobe bis feinkristalline Struktur aufweisen, bei über 40°C ohne Zersetzung schmelzen und oberhalb des Schmelzpunktes niedrigviskos sind [18]. Anhand großer Fraktionen lassen sie sich in Gruppen unterteilen. Eine Gruppe sind wachsesterreiche Verbindungen, wie z.B. die aus Reststoffen gewonnenen Wachse Zuckerrohr- oder Reiskleiewachs, die sich aus langkettigen Fettsäuren und Fettalkoholen zusammensetzen und direkt z.B. durch Zentrifugieren oder Winterization (Abkühlen von wachshaltigen Ölen auf T ~ 0°C, Ausfall des Rohwachses, Filtration) gewonnen werden. Eine andere Gruppe sind auf Triacylglycerolen (TAG) basierende Wachse, wie Raps-, Palm- oder Sojawachs, die durch Hydrierung (Fetthärtung) aus den jeweiligen Ölen gewonnen werden. Die TAG-Komponenten setzen sich oft aus einer komplexen Mischung aus C16 und/oder C18 Fettsäurederivaten zusammen [19]. In der folgenden Abbildung ist die chemische Struktur von Wachsestern und von TAG dargestellt.



Myricylpalmitat; Wachsester z.B. in Zuckerrohrwachs [20], lineare Struktur aus verknüpfter Fettsäure und Fettalkohol

Triglycerid als Hauptbestandteil von pflanzlichen Ölen und Fetten (z.B. Sojawachs, Rapswachs), über Glycerol verzweigte Fettsäuren

Abbildung 1: Vergleich von Wachsester und Triglycerid

Pflanzliche Wachse bzw. gehärtete TAG finden im Bereich der Lebensmittel- und Kosmetikindustrie schon heute aufgrund ihrer hydrophobierenden Eigenschaften (z.B. als Überzugsmittel von Obst, Oberflächenbeschichtung von Lebensmittelverpackungen) Verwendung [21].

Hydrophobierung von Holzpartikelwerkstoffen mit pflanzenbasierten Stoffen

Bei der industriellen Herstellung von Holzwerkstoffen werden heute ausschließlich petrochemische Paraffine zur Hydrophobierung eingesetzt [22]. Eine Ausnahme ist neuerdings der Einsatz von Montanwachs in geringem Maßstab [23]. Hsu und Bender [24] stellen darüber hinaus fest, dass in der Industrie Untersuchungen zur Hydrophobierung von Holzwerkstoffen mit zahlreichen Substanzen durchgeführt wurden, darunter auch pflanzliche Stoffe wie Tallöl, Fettsäuren und zahlreiche Derivate wie Vinsol, Gilsonite, Pulplex. In Patent US 8071209 [25] wird die Hydrophobierung von OSB/OSL mit Mischungen aus hydrierten Fetten insbesondere aus Sojabohnen bzw. hydrierten Rizinusöl und paraffinischen Wachsen als vorteilhaft beschrieben. Patent US 20140275351 [26] beschäftigt sich mit Alternativen zur Paraffinhydrophobierung von Holzwerkstoffen. Vorgeschlagen wird ein Hydrophobierungsmittel u.a. aus pflanzlichen Wachsen, Silikonverbindungen und alkylierten Ketendimeren. In Patent US 6183849 [27] wird ein Verfahren zur Herstellung von Verbundplatten beschrieben. Als Hydrophobierungsmittel werden unter anderem natürliche Wachskompositionen mit hohem Ölgehalt von 30 – 98 wt-% vorgeschlagen. Auch in der Wissenschaft existieren Ansätze zur Verwendung von pflanzlichen Wachsen als hydrophobierender Werkstoffzusatz. Hosseinpourpia et al. [28] vergleichen die hydrophobierende Wirkung von Tallöl, welches als wichtiges Nebenprodukt bei der Herstellung von Zellstoff anfällt, bei der Herstellung von MDF mit der Wirkung konventioneller Paraffinwache. Mit der Zugabe von 1-3 wt-% Tallölfettsäure (TOFA) wurden Dickenquellung und Wasseraufnahme von MDF gesenkt, die Ergebnisse waren jedoch noch deutlich schlechter als bei konventionellen Paraffinwachsen. Neben weiteren Untersuchungen zu unterschiedlichen Tallölen [29] beschreiben Hosseinpourpia et al. in einer aktuellen Veröffentlichung die hydrophobierenden Eigenschaften von verschiedenen Fufurylalkohol-gelösten Tallöl- Destillationsprodukten (TODP) [30]. An HDF wurden die hydrophobierenden Eigenschaften der Produkte nachgewiesen und bei einigen Varianten zu Paraffinwachsen vergleichbare mechanische und hygrische Ergebnisse erzielt. Durch den

notwendigen Einsatz organischer Lösungsmittel zur Verarbeitung der Tallöle stellt dieser Ansatz jedoch keine nachhaltige Alternative zu konventionellen Paraffinwachsdispersionen dar.

Im IHD-Vorhaben IGF 17040 BR [31] wurde gezeigt, dass mit Hilfe von montanwachshaltigen Systemen eine effiziente Hydrophobierung von Holzwerkstoffen möglich ist. Bei dem eingesetzten Montanwachs handelt es sich um ein fossiles Pflanzenhartwachs mit hohem Wachsesteranteil. Bei der Herstellung von MDF wurden trotz Verringerung des eingesetzten UF-Harzanteiles (bis auf 7 wt-%, bezogen auf atro Holz) bereits mit geringen Konzentrationen an montanwachshaltigen Systemen (Einsatzmenge 0,2 wt-% Feststoff auf atro Faser) Reduzierungen bei Dicken- und Kantenquellung erzielt. Durch erhöhte Querzugfestigkeiten im Vergleich zu unhydrophobierten MDF wurde eine bindemittelunterstützende Wirkung bei Einsatz dieser montanwachshaltigen Dispersionen nachgewiesen. Derzeit wird die Nutzung von Montanwachs zur Herstellung von MDF mit Laubhölzern in einem Folgeprojekt untersucht [32]. Da Montanwachs extraktiv aus Braunkohle gewonnen wird, soll der Fokus auf nachwachsende, CO₂-neutrale Pflanzenwachse gerichtet werden.

Einfluss der chemischen Struktur von Wachsen auf die Hydrophobierungswirkung

Für die industriell erprobten Paraffinwachse liefern Roffael et al. einen Zusammenhang zwischen chemischer Struktur und der Hydrophobierungswirkung bei Spanplatten [33] und bei MDF [34]. Demnach bestehen zwischen den technischen Paraffinen erhebliche Unterschiede in der Hydrophobierungswirkung. Bei weitgehend aus unverzweigten Kohlenwasserstoffen (n-Kohlenwasserstoffen) bestehenden Paraffinen spielt die Kettenlängenverteilung eine wesentliche Rolle. Hier wird die Hydrophobierung der Paraffine umso wirksamer, je höher der Anteil an höhermolekularen Kohlenwasserstoffen ist. Untersucht wurde der Bereich von C₂₀ bis C₃₆. Technische Paraffine mit einem hohen Anteil an verzweigten Ketten (iso-Paraffine) haben entsprechend der Untersuchung eine geringere Hydrophobierungswirkung als solche mit niedrigem iso-Paraffingehalt. Auch Hsu und Bender [24] sowie Garai und Sánchez [35] bestätigen die Beobachtung und stellen fest, dass die Hydrophobierungswirkung von Paraffinen mit zunehmender Kettenlänge und geringerem Verzweigungsgrad zunimmt.

Die Erkenntnisse zum Einfluss von Kettenlänge und Verzweigungsgrad auf die Hydrophobierungswirkung bei Paraffinen wurden in der Holzwerkstoffforschung bisher nicht systematisch auf das Anwendungsfeld der nachwachsenden Pflanzenwachse übertragen. Ansätze zum Einsatz pflanzlicher Hydrophobierungsmittel konzentrieren sich auf den Einsatz von Stoffen auf triglycerider Basis. Die Ergebnisse mit Montanwachs, einer wachsesterreichen Verbindung mit Anteil von Pflanzenharzen, lassen jedoch vermuten, dass sich unter den pflanzlichen Wachsen und Ölen vor allem wachsesterreiche Substanzen wegen ihrer höheren Kettenlänge und des geringeren Verzweigungsgrades zur Hydrophobierung von Partikelwerkstoffen eignen und ein Pflanzenharzanteil zu einer klebunterstützenden Wirkung im Holzverbund beiträgt.

3.2. Arbeitshypothesen

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung von auf rezenten Pflanzenwachsen basierenden wässrigen Dispersionen zur wasserabweisenden Ausrüstung von Spanplatten als Ersatz für heutzutage eingesetzte fossile Additive. Die Formulierungen der pflanzenwachshaltigen Dispersionen soll so gewählt werden, dass damit ein- und dreischichtige Spanplatten mit industrieäquivalenten Eigenschaften entsprechend DIN EN 312 (Typ P2 – Möbelspanplatten sowie Typ P5 – Bauspanplatten) hergestellt werden können. Darüber hinaus soll der Bindemittelanteil an Spanplatten, bei Einhaltung der normativen Anforderungen, reduziert werden, um die Emissionen bei konventionellen Bindemitteln zu verringern und bei biobasierten Bindemitteln die Materialkosten zu senken.

Dem Vorhaben liegen folgende Arbeitshypothesen zugrunde:

1. Mit pflanzenwachs-basierten Additiven lässt sich eine mit konventionellen Paraffinwachsen vergleichbare hydrophobierende Wirkung unter Beibehaltung der mechanischen Eigenschaften erzielen.
2. Es ist bekannt, dass die Hydrophobierungswirkung von Paraffinen bei Holzwerkstoffen mit steigender Kettenlänge und sinkendem Verzweigungsgrad der Wachsmoleküle zunimmt. Dieser Zusammenhang ist auch für pflanzenbasierte Wachse gültig. Es eignen sich vor allem Naturwaxse mit einem hohen Wachsester-Anteil für die Hydrophobierung von Holzwerkstoffen. Mit diesen Wachsen kann eine bessere Hydrophobierung als mit Wachsen erreicht werden, die einen Hauptanteil an Triacylglycerolen (TAG) aufweisen.
3. Pflanzenwachs-basierte Additive können in Verbindung mit allen in der Holzwerkstoffherstellung üblichen Klebstoffen verwendet werden.
4. Der natürliche Harzanteil in Pflanzenwachsen führt im Unterschied zu synthetischen Wachsen zu einer klebunterstützenden Wirkung im Holzverbund. Die klebunterstützende Wirkung der Pflanzenwaxse verbessert die mechanischen Eigenschaften (u.a. Querzugfestigkeit, Biegefestigkeit) von Spanplatten.
5. Aufgrund der klebunterstützenden Wirkung von Pflanzenwachsen kann der Anteil von Bindemitteln bei Spanplatten verringert und bei Platten mit formaldehydhaltigen Klebstoffen die unerwünschte Emission von Formaldehyd reduziert werden.

4. Lösungsweg

Es ist vorgesehen, die Hydrophobierungseigenschaften der aus pflanzlichen Wachsen hergestellten Dispersionen für Spanplatten im labor- und kleintechnischen Maßstab zu untersuchen. Dabei sind verfügbare Pflanzenwaxse in Arbeitspaket (AP) 1 zunächst zu charakterisieren, um in AP 2 Rezepturen für wässrige Dispersionen zu entwickeln. In AP 3 werden diese Dispersionen entsprechend der Anforderungen an Hydrophobierungsmittel bei Holzwerkstoffen bewertet und ggf. angepasst. Die Bewertung der Hydrophobie erfolgt zunächst auf Filterpapiersubstraten, um die Hydrophobierungswirkung unabhängig vom komplexen Parameterfeld bei der Holzwerkstoffherstellung einzuschätzen. In AP 4 werden die Dispersionen zur Partikelbenetzung im Blender eingesetzt und das Benetzungsverhalten auf makro- und mikroskopischer Ebene untersucht. So können in AP 3 ermittelte, begünstigend auf die Partikelbenetzung wirkende Eigenschaften (wie z.B. Viskositätsbereiche), identifiziert werden. In AP 5 werden ausgewählte Hydrophobierungsmittel zur Herstellung von Laborspanplatten eingesetzt. Dabei werden die Parameter Additiv(-anteil), Bindemittel(-anteil) und Applikationsmethode des Additivs variiert. In AP 6 werden die hergestellten Platten in Anlehnung an DIN EN 312 charakterisiert und die mechanischen und hygrischen Eigenschaften (z.B. Dickenquellung nach Wasserlagerung, Wasseraufnahme, Querzugfestigkeit) mit durch konventionelles Paraffinwachs hydrophobierten Platten verglichen. In AP 7 ist vorgesehen, die Rezeptur der Dispersionen so zu variieren, dass ein möglichst geringer Additiv- und Klebstoffeintrag bei Aufrechterhaltung der mechanischen und hygrischen Eigenschaften von P2-Möbelspanplatten sowie P5-Bauspanplatten nach DIN EN 312 erzielt wird. Daraus werden in AP 8 industrierelevante 3-schichtige P2 und P5-Spanplatten hergestellt, die in AP 9 charakterisiert und ggf. weiterhin bezüglich nochmals reduzierter Bindemittel- und Additivanteile optimiert werden. Der Arbeitsplan ist in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt.

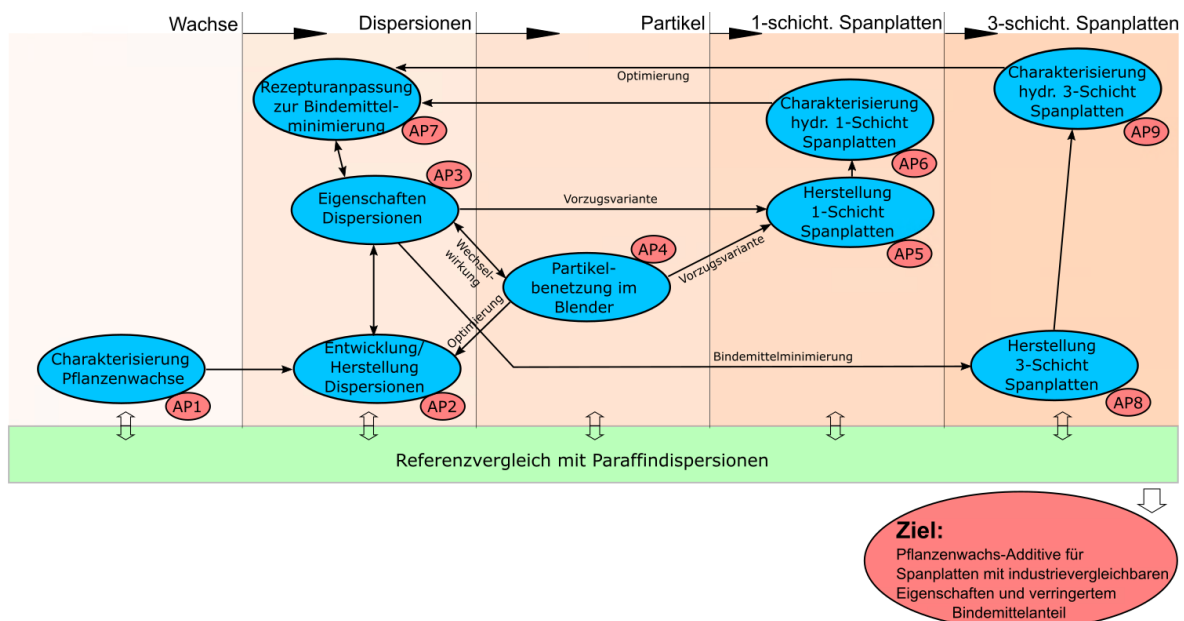


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Arbeitsplans

5. Bearbeitungsschritte und Personaleinsatz

AP 1 - Definition und Charakterisierung der Basismaterialien

Dauer: 6 Monate (05/2021–10/2021)	HPA A	HPA B	HPA C	HPA D	HPA E	HPA F
	2 PM	1.25 PM				

Nachdem gemeinsam mit den im PA vertretenen Industriepartnern Anforderungen an pflanzenwachsba-sierte Hydrophobierungsmittel mit Hinblick auf die Integration in bestehende Industrieprozesse ermittelt wurden, wird in AP 1 die Rohstoffbasis zur Herstellung pflanzenwachsbasierter Additive und für die Herstellung von Laborspanplatten (Holz, Bindemittel) festgelegt und charakterisiert.

Additive

Hauptkomponente der Additivdispersionen sind Pflanzenwachse. Zunächst werden verfügbare Pflanzenwachse z.B. anhand der Kriterien in Tabelle 4 und eventuell weiterer im PA definierter Eigenschaften charakterisiert. Diese Kriterien beinhalten a) chemische Eigenschaften zur Verifikation der Arbeitshypothesen und b) verarbeitungstechnische Anforderungen bei der Herstellung von Spanplatten.

Tabelle 4: Charakterisierungsmerkmale von Pflanzenwachsen

Eigenschaft	Vermuteter Einfluss bzw. Anforderung bei Spanplattenherstellung	Charakterisierungsmethode
Chemische Unterscheidungsmerkmale		
Anteil an Wachsesterverbindungen/TAG-Verbindungen	erhöhter Wachsesteranteil führt zu erhöhter Hydrophobierungswirkung	IR-Analyse, Gaschromatographie, Massenspektrometrie
Anteil an Pflanzenharz	klebunterstützende Wirkung, verbesserte hydrophobierende Wirkung mit steigendem Harzgehalt	Bestimmung des Harzgehaltes als Acetonlösliches
Säurezahl [mgKOH/g]	erhöhte Säurezahl führt zu besserer Dispergierbarkeit des Systems	Titration 736 GP Titrimetrie (titrimetrische Bestimmung)
Verseifungszahl [mgKOH/g]	verseifbare Anteile können während Herstellung Dispersion mit KOH verseift werden - bessere Dispergierbarkeit	Titration 736 GP Titrimetrie (titrimetrische Bestimmung)
Verarbeitungstechnische Mindestanforderungen		
Erstarrungs- bzw. Tropfpunkt	EP: 55 – 80°C TP: 53 – 93 °C	EP am rotierenden Thermometer (Temperatur beim Phasenübergang flüssig-fest); TP mittels Tropfpunktgerät Mettler FP 83 HT (Temperatur beim Phasenübergang fest-flüssig)
Acetonlöslichkeit	10 - 20 % (oder Zugabe von Harz bei harzarmen Wachsen)	Bestimmung des Harzgehaltes als Acetonlösliches
Glührückstand	≤ 0.5%	Bestimmung des Glührückstandes durch Schnellveraschung im Mikrowellenschnellverascher Phoenix
Penetration	1 - 17 *10 ⁻¹ mm	Bestimmung der Nadelpenetration mit dem Nadelpenetrometer PNR 10 entsprechend DIN 51 579

Bei der Auswahl der Wachse werden darüber hinaus sowohl sozioökologische (regionale Verfügbarkeit, Vermeidung von Ackerflächenkonkurrenz mit Nahrungsmitteln, energetischer Aufwand bei der Extraktion) als auch wirtschaftliche Faktoren (Verfügbarkeit und Kosten des Rohstoffes) einbezogen.

Auf Basis der ermittelten Eigenschaften werden bevorzugte Wachse ausgewählt, die sich in ihrer chemischen Zusammensetzung unterscheiden. Mögliche Pflanzenwachse sind zum Beispiel aus pflanzlichen Reststoffen extrahierte Wachse, wie Sonnenblumen-, Zuckerrohr- und Reiskleiwachs oder das regional produzierbare Rapswachs.

Als Referenzsystem für vergleichende Untersuchungen und ggf. zur Herstellung von Wachscompounds für maßgeschneiderte Wachsdispersionen werden konventionelle Paraffinwachssysteme und Montanwachse (IGF 17040 BR [6]) eingesetzt.

Bindemittel

Zur Herstellung der Spanplatten werden industrieübliche Klebstoffsysteme für den Möbel- und Innenausbau im Trockenbereich (DIN EN 312 P2) und für tragende Bauteile im Feuchtebereich (DIN EN 312 P5) verwendet. Darüber hinaus werden mit biobasierten Proteinleimen verklebte Spanplatten labortechnisch hergestellt. Die vorgesehenen Klebstoffe sind in Tabelle 5 dargestellt. Konkrete Klebstofftypen sind in diesem AP auszuwählen.

Tabelle 5: Vorgesehene Klebstoffsysteme zur Herstellung von P2- und P5-Laborspanplatten

Klebstoffe für P2 Spanplatten nach DIN EN 312	Harnstoff-Formaldehyd (UF-Harz)
Klebstoffe für P5 Spanplatten nach DIN EN 312	Melaminverstärkter UF-Klebstoff (mUF-Harz), pMDI
Biobasierte Klebstoffsysteme für P2 Spanplatten nach DIN EN 312	Weizenproteinleim

Holz

Für die Herstellung der Späne soll vorzugsweise die Holzart Fichte beschafft, charakterisiert und für die Werkstoffherstellung aufbereitet werden. Die Charakterisierung umfasst die Bestimmung von Feuchtegehalt und Rohdichte sowie die Begutachtung des Materials hinsichtlich Pilz- und Insektenbefall. Die Aufbereitung beinhaltet das Entrinden, Hacken, Zerspanen, Trocknen und Fraktionieren.

AP 2 - Aufbereitung der Wachse und Dispersionsherstellung

Dauer: 11 Monate (07/2021–05/2022)	HPA A	HPA B	HPA C	HPA D	HPA E	HPA F
	3.75 PM	1.5 PM				

In diesem AP werden aus den in AP 1 ausgewählten Pflanzenwachsen stabile, wässrige Dispersionen unter Variation folgender Parameter hergestellt:

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

Startwerte für die Parametervariation werden aus den Ergebnissen aus [31, 32] herangezogen. In Abhängigkeit von den ermittelten Wachseigenschaften in AP1 werden die Parameter bis zur Herstellung einer anforderungsgerechten Dispersion (siehe Tabelle 6) individuell variiert.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Stabilität des dispersen Systems werden Stabilisatoren (z.B. Methylcellulose, Carboxymethylcellulose), pH-Regulatoren (variierender Anteil basischer Komponenten KOH/NaOH) und Viskositätsregler (organische Verdickungsmittel z.B. Celluloseester, Xanthan) zugesetzt. Die hergestellten Dispersionen werden bezüglich ihrer Eignung für eine Verarbeitung in Holzwerkstoffen bewertet. Dabei werden die in Tabelle 6 dargestellten Kenndaten und Messtechnologien herangezogen.

Tabelle 6: Kenndaten und Messtechnologien zur Bewertung pflanzenwachsbasierter Dispersionen

Kennwert	Messtechnologie	Zielwertbereich
Feststoffgehalt	Moisture-Analyzer MA 30	30 - 60 Ma-%
pH-Wert	Mikroprozessor pH-Meter	10 - 14
dynamische Viskosität	Brookfield-Digital-Viskosimeter	100 - 1500 mPas
Teilchengröße/ Teilchengrößenverteilung	HORIBA Laser-Streulichtspektrometer LA-920	d10/ d50/ d90 [μ m] = max. 1,5 / 2,5 / 4,5
Stabilität	definierte Schereinwirkung	vgl. mit Paraffindispersion

AP 3 - Bewertung der pflanzenwachshaltigen Dispersionen als Hydrophobierungsmittel bei HWS

Dauer: 22 Monate (08/2021–05/2023)	HPA A	HPA B	HPA C	HPA D	HPA E	HPA F
	2.75 PM	2 PM		1.25 PM		

Benetzungsfähigkeit der Dispersionen

Um die Benetzungsfähigkeit/Oberflächenspannung des Additivs zu bewerten, werden Analysen an dispersionsgetränkten Filterpapierstreifen mittels Kontaktwinkelmessungen nach DIN 55660-2 und Tensiometermessungen (am Krüss K 100) durchgeführt. Anhand dieser Untersuchungen kann die Hydrophobierungswirkung (Größe des Kontaktwinkels, Saugspannung Tensiometer) der hergestellten Dispersionen unabhängig vom komplexen Prozess der Spanplattenherstellung bewertet und ein direkter Zusammenhang zwischen chemischer Zusammensetzung und den hydrophoben Eigenschaften von Pflanzenwachsen hergestellt werden.

Verträglichkeit mit Klebstoffen

Ein weiterer Schwerpunkt dieses AP's sind Untersuchungen zur Verträglichkeit der entwickelten, pflanzenwachsbasierten Dispersionen mit den bei der Spanplattenherstellung eingesetzten Klebstoffen nach Tabelle 5. Die Klebstoffe werden mit verschiedenen Anteilen an Hydrophobierungsmittel (0 % und z.B. 0,2 %, 0,5 %, 1 %, 2%) versetzt. Der Einfluss der Hydrophobierungsmittel auf die Reaktivität der verwendeten Klebstoffe wird mittels Differential Scanning Calorimetry – Analyse (DSC) und IR-spektroskopischer Viskositätsmessung analysiert.

AP 4 - Untersuchungen zur Partikelbenetzung

Dauer: 6 Monate (01/2022–06/2022)	HPA A	HPA B	HPA C	HPA D	HPA E	HPA F
	1.25 PM	1 PM		1.25 PM	1 PM	

In AP 4 wird die Interaktion zwischen den in AP 2 hergestellten und in AP 3 charakterisierten pflanzenwachshaltigen Dispersionen und Holzpartikeln bei Blenderbeimung auf makroskopischer und mikroskopischer Ebene untersucht. Zur Festlegung eines geeigneten Applikationsverfahrens (Additiv im Blender als Additiv-Leimgemisch oder Einzelzugabe davor/danach) und der Abschätzung geeigneter Zugabemengen kommen die Fluoreszenzmikroskopie sowie die Laserscanningmikroskopie als auch fallweise die Fluoreszenzlebensdauer-Mikroskopie zum Einsatz.

AP 5 - Herstellung von Spanplatten im Labormaßstab

Dauer: 11 Monate (10/2021–08/2022)	HPA A	HPA B	HPA C	HPA D	HPA E	HPA F
	1 PM				3.75 PM	

Bestandteil von AP5 sind Untersuchungen zur Hydrophobierung von 1-schichtigen Spanplatten mit pflanzenwachs-basierten Additiven. Vergleichsweise sollen herkömmliche, in der Industrie genutzte Additive auf Paraffinwachs-basis sowie eine in IGF 17040 BR [32] zur Hydrophobierung von Spanplatten entwickelte Montanwachsdispersion eingesetzt werden. Es erfolgen Variationen der Parameter Additivtyp und –anteil, Bindemitteltyp und –anteil sowie der Additivzugabe.

Tabelle 7: Variation von Parametern in AP 6

Additivtyp	Pflanzenwache, Paraffinwache, Montanwache entsprechend AP 1
Additivanteil	0 % 0,2 % 0,5 % 0,8 % 1 % 2% 3%
Bindemitteltyp	UF, MUF, pMDI, Weizenprotein
Bindemittelanteil	5 wt-% - 15 wt-%
Applikationsverfahren	im Blender: als Additiv-Klebstoffgemisch, Zugabe vor Klebstoff, Zugabe nach Klebstoff

Die vorgesehenen Herstellungsparameter der einschichtigen Laborplatten sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Parameter für die Herstellung einschichtiger Laborspanplatten

Plattendicke	11,5 mm bzw. 17,5 mm
Plattenformat	440 x 460 mm
Zielroh-dichte	680 kg/m ³
Holzart	Fichte
Spanherstellung	Schneidspan
Spangeometrie	Fraktion B/C (Anteile 60/40) (B > 0,5 mm bis 2,0 mm und C > 2,0 mm bis 4 mm)
Presstemperatur	220°C
Presszeitfaktor	10 bis 15 s/mm, >15 s/mm bei Proteinleim

AP 6 - Charakterisierung der hydrophobierten Spanplatten

Dauer: 11 Monate (12/2021–10/2022)	HPA A	HPA B	HPA C	HPA D	HPA E	HPA F
	1.5 PM			2.25 PM	0.25 PM	

In AP 6 erfolgt die Charakterisierung der in AP 5 hergestellten Spanplatten in Anlehnung an die in Tabelle 9 dargestellten Normen. So erfolgt eine Einschätzung zum Potential der Hydrophobierungs- und Verklebungswirkung der Additive.

Tabelle 9: Zu untersuchende Eigenschaften an Labor-Spanplatten

Physikalische Eigenschaften	Methode
Rohdichte	EN 323
Feuchtegehalt	EN 322
Abhebefestigkeit	EN 311
Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene (Querzugfestigkeit)	EN 319
Biege-E-Modul und -festigkeit (fallweise)	EN 310
Dickenquellung	EN 317
Wasseraufnahme	i.A. EN 317
Dimensionsänderung bei Änderung der rel. LF	EN 318
Chemische Eigenschaften	
Formaldehydemission	ISO 12460-3

AP 7 - Rezepturanpassung zur Minimierung des Bindemittelanteils

Dauer: 11 Monate (06/2022–04/2023)	HPA A	HPA B	HPA C	HPA D	HPA E	HPA F
	3.3 PM	1.75 PM				

Ziel des AP's ist die Optimierung der entwickelten, pflanzenwachshaltigen Additive. Ausgehend von der Wirksamkeit der Pflanzenwachsdispersionen bei der Hydrophobierung und Verklebung von Spanplatten ist eine Modifizierung der Pflanzenwachsdispersionen in Hinblick auf möglichst geringe Einsatzmengen vorgesehen. In der dispersen Phase werden dazu Wachscompounds u.a. aus verschiedenen, vielversprechenden Pflanzenwachsen erzeugt. Als Startwert werden 3 Vorzugswachse ausgewählt und nach Tabelle 10 kombiniert:

Tabelle 10: Rezepturanpassung zur Minimierung des Bindemittelanteils

Variante	Vorzugswachs 1 [%]	Vorzugswachs 2 [%]	Vorzugswachs 3 [%]
1	75	25	0
2	75	0	25
3	50	50	0
4	50	0	50

Durch die Verringerung des Klebstoffeinsatzes soll eine Reduzierung von Formaldehydemissionen bzw. bei biobasierten Klebstoffen der Herstellungskosten für Spanplatten erreicht werden. Bei den Formaldehydemissionen ist das Phänomen zu beachten, dass bei einigen Klebstoffsystemen geringere Klebstoffanteile z.T. zu zunehmenden Formaldehydemissionen führen [36]. Die Autoren begründen das damit, dass sich bei höheren Klebstoffanteilen ein stärkeres UF-Harz-Netzwerk ausbilden und damit weniger Formaldehyd emittieren kann.

Zur Erzeugung stabiler Dispersionen aus den Wachscompounds werden zu ermittelnde Anteile von Stabilisatoren (z.B. Methylcellulose, Carboxymethylcellulose), pH-Regulatoren (variierender Anteil basischer Komponenten KOH/NaOH) und Viskositätsregler (organische Verdickungsmittel z.B. Celluloseester, Xanthan) zugesetzt. Die Bewertung der Dispersionen erfolgt entsprechend Tabelle 6.

AP 8 - Herstellung 3-schichtiger Spanplatten

Dauer: 11 Monate (07/2022–05/2023)	HPA A	HPA B	HPA C	HPA D	HPA E	HPA F
	1 PM				4 PM	

Bestandteil von AP 8 sind Untersuchungen zur Hydrophobierung von 3-schichtigen, industrieäquivalenten Spanplatten mit den zuvor in AP 7 entwickelten pflanzenwachshaltigen Additiven. Wie in AP 5 sollen herkömmliche in der Industrie genutzte Additive auf Paraffinwachsbasis sowie eine in IGF 17040 BR [32] zur Hydrophobierung von Spanplatten entwickelte Montanwachsdispersionen als Referenzprodukte eingesetzt werden. Als Spanmaterial werden Industriespäne eingesetzt. Daher müssen die Späne mittels Camsizer analysiert werden. Bei der Beleimung der Platten erfolgen Variationen der Parameter Additivtyp und –anteil, Bindemitteltyp und –anteil mit dem Ziel eines minimalen Bindemittel- und Hydrophobierungsanteils.

Tabelle 11: Variation von Parametern in AP 8

Additivtyp	Pflanzenwachsdispersion aus AP 7, Paraffinwachse, Montanwachse als Referenz
Additivanteil	0 % 0,2 % 0,5 % 0,8 % 1 % 2% 3%
Bindemitteltyp	UF, mUF, pMDI, Weizenprotein
Bindemittelanteil	5 wt-% - 12 wt-%

Die vorgesehenen Herstellungsparameter der dreischichtigen Laborplatten sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 12: Parameter für die Herstellung dreischichtiger Laborspanplatten

Plattendicke	17,5 mm
Plattenformat	440 x 460 mm
Zielrohddichte	650 kg/m ³
Holzart	Fichte
Spangeometrie	Deckschicht- und Mittelschichtspäne
Presstemperatur	220°C
Presszeitfaktor	10-15 s/mm

AP 9 - Charakterisierung der hydrophobierten 3-schichtigen Spanplatten

Dauer: 10 Monate (09/2022–06/2023)	HPA A	HPA B	HPA C	HPA D	HPA E	HPA F
	1.75 PM			2 PM	0.25 PM	

In AP 9 erfolgt die Charakterisierung der in AP 8 hergestellten 3-schichtigen Spanplatten in Anlehnung an die in Tabelle 9 dargestellten Normen analog zu AP 6. So erfolgt eine Einschätzung der Varianten mit optimierten Bindemittel- bzw. Additivanteil aus AP 8. Aus den Ergebnissen werden ggf. weitere Optimierungsschritte zur Entwicklung angepasster Rezepturen für Dispersionen in AP 7 abgeleitet und ggf. erneut industrieäquivalente 3-schichtige Spanplatten mit nochmals verbesserten hygrischen und mechanischen Eigenschaften und geringerem Bindemittelanteil hergestellt.

AP 10 - Dokumentation und Ergebnistransfer

Dauer: 6 Monate (11/2021–07/2023)	HPA A	HPA B	HPA C	HPA D	HPA E	HPA F
	2.25 PM					

Dieses Arbeitspaket dient der Zusammenstellung der Ergebnisse, Publikationen und der Erstellung der Zwischen- und Abschlussberichte zur Dokumentation der Ergebnisse.

5.1. Arbeitsdiagramm

Kalendermonat laufender Monat		2021												2022												2023						
		5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27				
AP1	Definition und Charakterisierung der Basismaterialien																															
AP2	Aufbereitung der Wachse und Dispersionsherstellung																															
AP3	Bewertung der Dispersionen als Hydrophobierungsmittel bei HWS																															
AP4	Untersuchungen zu Partikelbenetzung																															
AP5	Herstellung von 1-schichtigen Spanplatten im Labormaßstab																															
AP6	Charakterisierung der 1-schichtigen Spanplatten																															
AP7	Rezepturanpassung zur Minimierung des Bindemittelanteils																															
AP8	Herstellung 3-schichtiger Spanplatten																															
AP9	Charakterisierung der 3-schichtigen Spanplatten																															
AP10	Dokumentation und Ergebnistransfer																															
	PM Gesamt	PM pro AP																														
	3 HPA A	20,55	0,33	0,33	0,63	0,83	0,83	0,99	1,03	1,28	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,71	0,58	0,58	0,77	0,77	0,65	1,15	1,15	0,81	0,81	0,81	0,43	0,46	0,33			
	1 HPA B	7,5	0,21	0,21	0,29	0,39	0,39	0,39	0,18	0,18	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,36	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,35	0,35	0,35	0,35	0,10				
	1 HPA D	6,75				0,05	0,05	0,05	0,05	0,55	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,51	0,51	0,33	0,33	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,13				
	2 HPA E	9,25					0,33	0,33	0,33	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,70	0,70	0,36	0,36	0,33	0,33	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,04				

6. Umsetzbarkeit und Transfer der Ergebnisse

6.1. Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende

6.1.1. Wirtschaftliche/technische Erfolgsaussichten für eine zeitnahe industrielle Umsetzung nach Projektende (mit Zeithorizont)

Aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens lassen sich folgende Effekte in den einzelnen Industriebranchen ableiten, die zeitnah nach Projektende zu einer industriellen Umsetzung führen werden:

Tabelle 13: Effekte und Maßnahmen für eine zeitnahe industrielle Umsetzung in den Industriebereichen

Branche	Effekte	Maßnahmen	Zeithorizont
Chemische Industrie/ Pflanzenwachshersteller	Rezepturen für Pflanzenwachsdispersionen und modifizierte Bindemittel, Erhöhung der Wertschöpfung durch erhöhten Anteil nachwachsender Rohstoffe	Material-/Technologie- und Produktentwicklung	Projektende (PE) - 2 Jahre für Technologien 1 - 3 Jahre für Produkte
Landwirtschaft/ Hersteller von Nahrungsmitteln	Verwertungstechnologien für pflanzliche Produkte	Technologieentwicklung	PE - 2 Jahre für Technologien
Holzwerkstoffindustrie	Entwicklung neuartiger Werkstoffkonzepte mit neuen Additiven und Bindemitteln Erhöhung der Wertschöpfung durch erhöhten Anteil nachwachsender Rohstoffe	Material-, Produkt- und Technologieentwicklung	PE - 3 Jahre in Abhängigkeit von der Anwendung und Zielmärkten
Möbelbau	Biobasierte Materialkonzepte mit verbesserter CO ₂ -Bilanz für z.B. Kastenmöbel, Regale, Sitzmöbel	Materialentwicklung, Produktentwicklung	PE - 2 Jahre für Produktentwicklung, anschließend Markteinstieg
Innenausbau/Bauwesen	Materialkonzepte für z.B. Dachschalungen, Wände, Boden-, Decken- und Wandelemente, Feuchtraumausbau	Materialentwicklung, Produktentwicklung	PE - 2 Jahre für Produktentwicklung, anschließend Markteinstieg

6.1.2. Einschätzung der Finanzierbarkeit einer anschließenden industriellen Umsetzung

Die Finanzierbarkeit einer anschließenden industriellen Umsetzung ist neben einer nachhaltigen und qualitativ gleichbleibenden Verfügbarkeit und den Kosten der Pflanzenwachsdispersionen insbesondere von der hydrophobierenden Wirksamkeit sowie von der Verarbeitbarkeit im Herstellungsprozess partikelförmiger Holzwerkstoffe abhängig. Es wird davon ausgegangen, dass der zusätzliche Investitionsbedarf für die Formulierung und Herstellung der Pflanzenwachse und die Holzwerkstoffherstellung gering ist, da sowohl die Wachshersteller, die Hersteller der Additive als auch die Holzwerkstoffhersteller auf bestehende Technologien zurückgreifen können.

Für eine industrielle Umsetzung der Vorhabensergebnisse sind folgende Maßnahmen notwendig

- Sicherstellung einer skalierbaren Rohstoffbasis bezüglich der Pflanzenwachse²
- Ggf. Adaption der Herstellungstechnologien für die Formulierung von Pflanzenwachsdispersionen
- Ggf. Adaption der Zerspanung und der Presstechnologien für Spanwerkstoffe mit ggf. veränderten Pressparametern (Temperatur, Zeit, Druck).

Die wirtschaftliche Attraktivität setzt sich unmittelbar fort im KMU-dominierten Bereich der Anwender. Zum Beispiel im Bereich des Innenausbaus, Möbelbaus oder Bauwesens kann mit der vorhandenen Anlagentechnik die Verarbeitung der entwickelten Holzwerkstoffe ohne zusätzliche Investitionen erfolgen.

6.1.3. Konkreter Nutzen (unmittelbar oder mittelbar) der Unternehmen, insbesondere der KMU, nach erfolgter Umsetzung der angestrebten Forschungsergebnisse

Der unmittelbare Nutzen ergibt sich aus dem Know-how zur Formulierung von Pflanzenwachs-Dispersionen, zur Applikation von alternativen Bindemitteln, zum Design von partikelbasierten Holzwerkstoffen und zur Prozesstechnologie (Zerspanung, Beleimung und Additivierung, Trocknung, Pressverfahren). Die Anwendung der Pflanzenwachse in der industriellen Fertigung von Spanwerkstoffen sollte prinzipiell mit der vorhandenen Technologie möglich sein. Es wird erwartet, dass entsprechende Adaptionen der technologischen Parameter unmittelbar möglich sind. Der Nachweis der Eignung großtechnisch hergestellter Produkte sollte im Rahmen des Know-how-Transfers und im Rahmen von Produktentwicklungen konkret und in Zusammenarbeit mit potenziellen Produzenten und auch Nutzern erfolgen. Durch die mögliche Senkung des Klebstoffanteils und eine einfache Integration in bestehende Industrieprozesse werden für die KMUs die Produktionskosten gesenkt. Der gesteigerte Anteil von nachwachsenden Rohstoffen (auf Basis von Reststoffen) stellt im Sinne der Kreislaufwirtschaft eine erhöhte Wertschöpfung und einen Wettbewerbsvorteil für KMU-Unternehmen dar.

² Abschätzung der weltweiten, potenziellen Produktionsmenge von Pflanzenwachsen bei Extraktion aus Reststoffen bei heutigem Produktionsvolumen wichtiger Rohstoffpflanzen, eigene Berechnungen auf Basis der Wachsanteile: z.B. Zuckerrohrwachs: 6,8 Mio. t; Reiskleiewachs: 0,3-0,6 Mio. t; Sonnenblumenwachs 1,52 Mio. t; im Vergleich Bedarf Hydrophobierungsmittel von Spanplatten in Europa: 0,14 Mio. t

6.2. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

6.2.1. Geplante spezifische Transfermaßnahmen während der Projektlaufzeit

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/ Zeitraum
Beratung des projektbegleitenden Ausschusses	Vorstellung Projekt / Diskussion zu den geplanten Arbeiten /zu Zwischenergebnissen / Bewertung der Endergebnisse / Diskussion zu Transfermaßnahmen	FDBI IHD	3 PbA-Treffen
Fachveranstaltungen	Umfassende Verbreitung der Ergebnisse und Austausch mit Anwendern	Holzwerkstoffkolloquium IHD, Dresden European Wood Based Panel Symposium Woodcoatings Congress, Amsterdam	2023/25 2022/24 2022/24
Veröffentlichungen	Umfassende Verbreitung der Ergebnisse	Veröffentlichung der Ergebnisse in Fachzeitschriften, beispielsweise: Holztechnologie, Holzforschung, SOFW-Journal	In der zweiten Hälfte der Projektlaufzeit
Demonstration	Demonstratoren für die Formulierung und Synthese von Pflanzenwachsdispersionen, Technologien zur Applikation der Montanwachse und Bindemittel	Demonstration der Materialeigenschaften Demonstration der HWS-Herstellung Anwenderschulungen	Voraussichtlich in der zweiten Hälfte der Projektlaufzeit
Austausch mit Anwendern	Know-how-Transfer in Unternehmen	Präsentation und Diskussion in den PA-Sitzungen 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	Voraussichtlich in der zweiten Hälfte der Projektlaufzeit
Messen	Ergebnisvorstellung auf internationalen Messen	BAU, INTRERZUM, LIGNA	2023/25 2023/25
Internet	Bekanntmachung der Forschungsergebnisse durch Kurzberichte Zugang zu Forschungsberichten	Veröffentlichung der Ergebnisse mittels der Internetauftritte von: FDBI IHD	In der zweiten Hälfte der Projektlaufzeit bzw. nach Projektende
Übernahme der Ergebnisse in die Lehre	Vermittlung der Ergebnisse direkt an Studierende in der theoretischen und praktischen Ausbildung	Vorlesungen / Seminare und Praktika, Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten Fachbereich Holztechnik der Berufsakademie Sachsen, HNE Eberswalde, Technischen Universität Dresden	In der zweiten Hälfte der Projektlaufzeit bzw. nach Projektende
Berichterstattung	Zusammenstellung Forschungsergebnisse	Abschlussbericht FuE-Bericht für TIB Hannover	Zum Projektabschluss

6.2.2. Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach Abschluss des Vorhabens

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/ Zeitraum
Präsentationen	Vorstellung der Projektergebnisse	Jahresbericht IHD	2023
Konsultationen mit Anwendern	Vorstellung der Ergebnisse u. Beratung über weiterführende Entwicklungsarbeiten Bereitstellung von Expertise und technischer Infrastruktur für Unternehmen zur begleitenden Untersuchung der Prozess- und Materialentwicklung der Holzwerkstoffindustrie und ihrer Zulieferer	Hersteller von Pflanzenwachsen Hersteller von Klebstoffen Hersteller von Holzwerkstoffen Erzeuger von pflanzlichen Rohstoffen	Laufend ab dem ersten Jahr 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, Dienstleistung und Prüfung im Bereich Herstellung von Holzwerkstoffen	Laufend ab dem ersten Jahr 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)	Laufend ab Projektende
Veröffentlichungen	Umfassende Verbreitung der Ergebnisse	Veröffentlichung der Ergebnisse in Fachzeitschriften wie beispielsweise: European Journal of Wood and Wood Products, Intl. Journal of Wood Products	Laufend nach Projektende

7. Durchführende Forschungseinrichtung

Forschungseinrichtung 1: Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH (IHD)
Zellescher Weg 24, 01217 Dresden

Leiter der FE: Dipl.-Kfm. Götz Haake

8. Literaturverzeichnis

- [1] MEINKER, Fabian: *Hydrophobierbarkeit von Holzspänen und Holzfasern aus Laub- und Nadelhölzern* : 5. Fachtagung Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie. November 2018
- [2] FNR - MEDIATHEK: *Produktion von Holzwerkstoffen in Deutschland 2012-2018*. 2019
- [3] EUROPEAN PANEL FEDERATION: *Annual Report 2018-2019*. 2019
- [4] MALONEY, T. M. (Hrsg.): *Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing*. San Francisco : Miller Freeman Books, 1977, 1993
- [5] ALAM, Manawwer ; AKRAM, Deewan ; SHARMIN, Eram ; ZAFAR, Fahmina ; AHMAD, Sharif: *Vegetable oil based eco-friendly coating materials: A review article*. In: *Arabian Journal of Chemistry* 7 (2014), Nr. 4, S. 469–479
- [6] HUFSCHEID, Tobias ; MICKLICH, Rohland ; KRENDLINGER, Ernst: *Zuckerrohrwachs als neues, nachhaltiges Wachsadditiv*. In: *Welt der Farben* 2014 (2014), 7 + 8
- [7] ENDLEIN, E. ; PELEIKIS, K.-H.: *Natural Waxes Properties, Compositions and Applications*. In: *SOFW Journal* (2011), Nr. 4
- [8] HEMMILÄ, Venla ; ADAMOPOULOS, Stergios ; KARLSSON, Olov ; KUMAR, Anuj: *Development of sustainable bio-adhesives for engineered wood panels – A Review*. In: *RSC Advances* (2017), Nr. 61, S. 38604–38630
- [9] FERDOSIAN, Fatemeh ; PAN, Zihe ; GAO, Guchuhan ; ZHAO, Boxin: *Bio-Based Adhesives and Evaluation for Wood Composites Application*. In: *Polymers* (2017), Nr. 2
- [10] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (Hrsg.): *Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland*. Gülzow, 2020
- [11] KOMPETENZ- UND INFORMATIONSZENTRUM WALD UND HOLZ (KIWUH) (Hrsg.): *Basisdaten Wald und Holz 2019*. Gülzow, 2019
- [12] CHANDEL, Anuj K. ; DA SILVA, Silvio S. ; CARVALHO, Walter ; SINGH, Om V.: *Sugarcane bagasse and leaves: foreseeable biomass of biofuel and bio-products*. In: *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* (2012), Nr. 87, S. 11–20
- [13] CHO, S. ; SAMUEL, Priscilla: *Fiber Ingredients : Food Applications and Health Benefits* : CRC Press, 2009
- [14] BUNDESVERBAND HOLZPACKMITTEL, PALETTEN, EXPORTVERPACKUNG E.V.: *Die deutsche Holzpackmittelindustrie 2017 - 2019*. URL <https://www.hpe.de/branchendaten.html> – Überprüfungsdatum 2020-09-14
- [15] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (BMUB), WWW.BMUB.BUND.DE: *Klimaschutz in Zahlen: Klimaziele Deutschland und EU*

- [16] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (Hrsg.): *Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen. : Charta für Holz 2.0*. Bonn, April 2017
- [17] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT: *Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt : Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007*
- [18] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR FETTWISSENSCHAFT (Hrsg.): *Deutsche Einheitsmethoden zur Untersuchung von Fetten, Fettprodukten, Tensiden und verwandten Stoffen*. 2. Auflage, 2020
- [19] MURPHY, Timothy A.: *Vegetable oil-based wax compositions*. Cargill Inc. USA. Veröffentlichungsnr. US6824572B2
- [20] ACKER, Ludwig (Hrsg.); BINDSZUS, H.-J (Hrsg.); SCHORMÜLLER, Josef (Hrsg.): *Fette und Lipide (Lipids)*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1969 (Handbuch der Lebensmittelchemie 4)
- [21] FEI, Tao; WANG, Tong: *A Review of recent development of sustainable waxes derived from vegetable oils*. In: *Current Opinion in Food Science* (2017), Nr. 16, S. 7–14
- [22] DEPPE, Hans-Joachim ; ERNST, Kurt: *Taschenbuch der Spanplattentechnik*. 4., überarb. und erw. Aufl. Leinfelden-Echterdingen : DRW-Verl., 2000
- [23] ANDREAS MIETH: *Industrieller Einsatz von Montanwachstdispersionen*. Persönliche Mitteilung. 2020-08-15. (Adressat)
- [24] HSU, Oscar H. H.; BENDER, Howard S.: *Water repellent efficacy of wax used in hardboard*. In: *Ind. Eng. Chem. Res.* 1988 (1988), Nr. 27, S. 1296–1300
- [25] THEBERGE, Jean-Pascal; WINFORS, Terry Liles: *Wax blends for use with engineered wood composites*. Huber Engineered Woods LLC, USA. Veröffentlichungsnr. US8071209B2
- [26] BALOGH, Jeffrey; TUTIN, Kim ; TOWNSEND, David: *Hydrophobizing agents for use in making composite lignocellulose products*. Georgia-Pacific Chemicals LLC. Anmeldenr. US20140275351A1, USA
- [27] LINDSAY, Alan R.; CIRUNA, John A.: *Method for manufacturing composite board using high oil content wax and the composite board made using high oil content wax*. Exxon Research Engineering Co. Veröffentlichungsnr. US6183849B1
- [28] HOSSEINPOURPIA, Reza (Hrsg.); ADAMOPOULOS, Stergios (Hrsg.); MAI, C. (Hrsg.); HEMMILÄ, V. (Hrsg.); Ivica Zupcic (Mitarb.); Vjekoslav Zivkovic (Mitarb.); Josip Miklečić (Mitarb.) : *Effect of Bio-Based Additives on Physico-Mechanical Properties of Medium Density Fibreboards*, 2017
- [29] HOSSEINPOURPIA, Reza ; ADAMOPOULOS, Stergios ; PARSLAND, Charlotte: *Utilization of different tall oils for improving the water resistance of cellulosic fibers*. In: *Journal of Applied Polymer Science* (2019), Nr. 13, S. 47303
- [30] HOSSEINPOURPIA, Reza; ADAMOPOULOS, Stergios; WALTHER, Thomas; NAYDENOV, Valeri: *Hydrophobic Formulations Based on Tall Oil Distillation Products for High-Density Fiberboards*. In: *Materials* (2020), Nr. 18, S. 4025

- [31] BONIGUT, Jürgen ; KRUG, Detlef: *Entwicklung multifunktionaler wachshaltiger Additive für Holzwerkstoffe*. Schlussbericht zu IGF-Vorhaben. Dresden, 2015 (IGF 17040 BR)
- [32] KRUG, Detlef ; BURCKHARDT, Henry: *Nutzung montanwachshaltiger Additive zur Herstellung von Holzwerkstoffen auf Basis von alternativen Rohstoffen*. Zwischenbericht zu IGF-Vorhaben. 2019 (IGF 20166 BR/1)
- [33] MAY, H.-A. ; ROFFAEL, E. ; SCHRIEVER, E.: *Hydrophobierung von Spanplatten mit Paraffinen : Tl.2. Wirksamkeit von technischen Paraffinen als Hydrophobierungsmittel in Harnstoffformaldehydharzgebundenen Spanplatten*. In: *Adhäsion* 27 (1982), Nr. 4, S. 16–21
- [34] ROFFAEL, E. ; SCHNEIDER, T. ; DIX, B. ; BUCHHOLZ, T.: *Zur Hydrophobierung von mitteldichten Faserplatten (MDF) mit Paraffinen Teil 1: Einfluss der chemischen Zusammensetzung des Paraffins und des Emulgatortyps auf die Hydrophobierung von MDF composition of paraffin and type of emulsifier on the hydrophobic properties of MDF*. In: *Holz als Roh- und Werkstoff* 63 (2005), Nr. 3, S. 192–203
- [35] GARAI, R. Mujika ; SÁNCHEZ, I. Covián ; GARCÍA, R. Tejera ; RODRÍGUEZ VALVERDE, M. A. ; CABRERIZO VÍLCHEZ, M. A. ; HIDALGO-ÁLVAREZ, R.: *Study on the Effect of Raw Material Composition on Water-Repellent Capacity of Paraffin Wax Emulsions on Wood*. In: *Journal of Dispersion Science and Technology* 26 (2005), Nr. 1, S. 9–18
- [36] KEHR, E. ; HOFERICHTER, E.: *Formaldehydgehalt und physikalisch - mech. Eigenschaften von MUF-Harzgebundenen Spanwerkstoffen*. In: *Holz als Roh- und Werkstoff* 55 (1997), S. 34

■ eigene Publikationen

Dresden, den 30.09.2020

Dipl.-Kfm. Götz Haake

Geschäftsführer

Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH