

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Eingeklebte Laubholzstäbe im konstruktiven Holzbau unter Verwendung von Klebstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe

Zuwendungsempfänger: Fritz Häcker GmbH + Co. KG

Förderkennzeichen: 2220HV050B

Laufzeit: **01.05.2021 –31.10.2023**

Monat der Erstellung: **12/2023**

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

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

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzbericht	1
1.	Aufgabenstellung	1
2.	Planung und Ablauf des Vorhabens	2
3.	Resümee der wesentlichen Ergebnisse	2
	Arbeitspakete und Meilensteine	2
II.	Ausführliche Darstellung der Ergebnisse	3
1.	Erzielte Ergebnisse	3
	Arbeitspaket 1: Anforderungen und Materialien	3
	Arbeitspaket 3: Optimierung der Klebstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe	7
	Arbeitspaket 4: Festigkeit eingeklebter Holzstäbe nach feuchter Auslagerung	7
	Arbeitspaket 5: Numerische Modellierung	8
	Arbeitspaket 6: Dokumentation und Verwertung der Ergebnisse	8
2.	Verwertung	8
a)	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen	8
b)	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende	8
c)	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende	8
d)	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	9

I. Kurzbericht

1. Aufgabenstellung

Immer mehr Forschungsvorhaben befassen sich mit der Implementierung der Klebtechnik im Ingenieurholzbau. Traditionell werden die Bauteile eines Holztragwerks mit Bolzen, Dübeln oder Schrauben, in Kombination mit Stahlblechen und Winkeln miteinander verbunden. Dabei wird die Faser des Holzes punktuell verletzt und es entstehen hohe Spannungsspitzen, die zur Initiierung von Rissen führen können. Durch den Einsatz der Klebtechnik lassen sich Holz-Holz Verbindungen realisieren, welche die auftretenden Spannungen gleichmäßig zwischen den Bauteilen übertragen.

„Eingeklebte Stäbe“ haben sich als besonders gute Methode zum Verbinden von Holztragwerken erwiesen. Sie eignen sich zur Kraftübertragung und Verstärkung in Anschläßen und Stößen. Eingeklebte Stahlstäbe besitzen zahlreiche Vorteile gegenüber mechanischen Verbindungsmitteln; insbesondere können standardisierte, stoffschlüssige, starre, duktile und ästhetische Anschlüsse realisiert werden, die letztlich zu sehr wirtschaftlichen Konstruktionen führen. Dazu werden hauptsächlich Gewinde- oder Bewehrungsstäbe aus Stahl verwendet, die mit zwei Komponenten Epoxidharz- oder Polyurethanklebstoffsystmen in das Holz eingeklebt werden. Bei besonderen Anforderungen kommen auch faserverstärkte Kunststoffstäbe zum Einsatz. Unter Gesichtspunkten der ökologisch nachhaltigen Nutzung des Werkstoffs Holz stellt dies jedoch ein Problem dar, die potentielle Leistungsfähigkeit von Holz wird an dieser Stelle noch nicht voll ausgenutzt. Die aktuell verwendeten synthetischen Klebstoffe härteten zu Kunststoffen aus und sind im nicht ausgehärteten Zustand gesundheitsschädliche, teilweise sogar ätzende Gefahrstoffe. Die Herstellung von einem Kilogramm Stahl hat den Ausstoß von anderthalbmal so viel Masse Kohlenstoffdioxid zur Folge. Faserverstärkte Kunststoffe sind, wenn überhaupt, nur sehr eingeschränkt recycelfähig. Damit geklebte Anschlüsse im Holzbau dem natürlichen Werkstoff gerecht werden, müssen die folgenden Ziele des Forschungsvorhabens verfolgt werden:

Das erste, und vorrangiges Ziel des Vorhabens ist es zu erforschen, inwiefern die heute verwendeten eingeklebten Stahlstäbe in Nadelholz durch Stäbe aus Laubholz, insbesondere Buche oder Eiche, in lastabtragenden Funktionen substituiert werden können. Die Substitution metallischer Stäbe trägt zu einer erwünschten Energie- und Rohstoffeinsparungen bei.

Das zweite Ziel besteht darin, für die Laubholzverbindungselemente Klebstoffe aus Nachwachsenden, bzw. ökologischen, Rohstoffen zu finden, um die jetzt verwendeten chemischen Klebstoffe zu substituieren.

Das dritte, an den Erfolg der beiden ersten gebundene, Ziel ist die Erarbeitung von Bemessungsregeln für eingeklebte Laubholzverbindungselementen, um deren Einsatz im Holzbauingenieurwesen voranzutreiben und die Ressource Holz in optimierter Form effizienter nutzen zu können.

Da solche Laubholzverbinder kleinmaßstäbliche Bauteile sind ($\varnothing=6\text{--}30\text{mm}$, $L=100\text{--}500\text{mm}$) ist davon auszugehen, dass, auch durch entsprechende Sortierung, mechanische Festigkeiten erzielt werden, die deutlich über denen der entsprechenden Holzklassen ($>\text{CK}40$) liegen werden. Weitere Steigerungen sind durch gezielte Verdichtung oder sonstige Nachbearbeitungen möglich.

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeiten für das Erreichen des Projektziels beinhalten die Definition der Anforderungen an eingeklebte Laubholzstäbe im konstruktiven Holzbau, die Materialauswahl (Holz und Klebstoff), die Ermittlung der Verbundfestigkeiten (im A-Zustand und nach Feuchtigkeitseinfluss), die Optimierung der Klebstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe und eine numerische Modellierung einschließlich der Bestimmung der dafür notwendigen Kennwerte.

Neben den Klebstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe wurden zwei kommerzielle synthetische Klebstoffe als Referenzmaterialien in die Untersuchungen einbezogen. Die Ermittlung der Verbundfestigkeiten erfolgt auf drei Ebenen: Für die Vorauswahl geeigneter Klebstoffe und die Optimierung der Klebstoffe wurden Zugscherprüfungen als genormte und relativ einfache Prüfungen durchgeführt. In der nächsten Stufe wurden eingeklebte Stäbe, deren Abmessungen im Vergleich zu realen Bauteilgröße relativ klein sind, realisiert und geprüft (kleinmaßstäblich eingeklebte Holzstäbe mit einem Durchmesser von $d = 8, 10$ und 12 mm.). Diese Prüfung liegt bezüglich der Kraftwirkung auf die Klebung und des Feuchteeinflusses auf die Klebfuge wesentlich näher an den realen Bauteilen als die Zugscherprüfung, hat aber auch einen erhöhten Präparations- und Prüfaufwand. Ausgewählte Klebstoffe bzw. Klebstoffmodifikationen wurden im dritten Schritt in eingeklebten Holzstäben größerer Abmessungen getestet. Für die Laubholzstäbe wurden Durchmesser von $d = 24$ und 36 mm gewählt. Diese Versuche geben die Verhältnisse an reale Bauteile am besten wieder; sie sind aber auch am aufwendigsten.

Die Tragfähigkeit der geklebten Anschlüsse wurde auf Basis eines numerischen Modells sowie auf Basis der Werkstoffeigenschaften und deren Geometrie berechnet. Durch die experimentellen Arbeiten wurden Materialkennwerte erarbeitet, die die Grundlage für ein Bemessungsmodell bilden, mit dessen Hilfe mittelfristig die Bemessung von in Holz eingeklebten Stäben erfolgen kann und der Transfer in die Praxis ermöglicht wird.

Das Vorhaben ist in eine Reihe von Arbeitspaketen gegliedert, die aufeinander aufbauen.

3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse

Arbeitspakete und Meilensteine

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungszeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
AP 1 Anforderungen und Materialien	05/2021 bis 10/2021	Anforderungsprofil ist erstellt Klebstoffe (Proteinbasiert und synthetisch) sind ausgewählt und beschafft Holzwerkstoffe sind ausgewählt und beschafft Literaturrecherche wurde durchgeführt
AP 2 Festigkeit der Verbunde im A-Zustand	07/2021 bis 01/2022	Zugscherfestigkeit durchgeführt
AP 3 Optimierung der Klebstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe	07/2021 bis 04/2023	Versuche mit Kalialaun um Feuchtebeständigkeit zu optimieren durchgeführt
AP 4 Festigkeit eingeklebter Holzstäbe nach feuchter Auslagerung	02/2022 bis 07/2023	/
AP 5 Numerische Modellierung	12/2021 bis 10/2023	/

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungszeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
AP 6 Dokumentation und Verwertung der Ergebnisse	05/2021 bis 10/2023	Die erhaltenen Ergebnisse sehen vielversprechend aus und einem Test auf dem Bau steht nichts im Weg

Meilensteine (M) (lt. Planung im Antrag)	Fälligkeit (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
M 1 (t0 + 12 Monate) Der erste Meilenstein (M1) wird erreicht, nachdem alle Anforderungen definiert und die Festigkeiten der Verbunde im ungealterten Zustand mit nicht modifizierten Klebstoffen geprüft wurden. Es konnte gezeigt werden, dass die Klebstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe im A-Zustand ausreichende Festigkeiten für die geplante Anwendung aufweisen. Als Basis für die Berechnung der Tragfähigkeit wurde ein FE-Modell entwickelt, das den im geklebten Anschluss unter Raumtemperatur (A-Zustand) entstehenden Spannungszustand darstellt.	05/2022	Anforderungen definiert Nicht modifizierte Klebstoffe im ungealterten Zustand geprüft Klebstoff auf Basis nachwachsender Rohstoffe mit ausreichender Festigkeit im A-Zustand identifiziert FE-Modell entwickelt
M 2 (t0 + 24 Monate) Der zweite Meilenstein (M2) wird erreicht, wenn nachgewiesen werden konnte, dass die Feuchtebeständigkeit der Klebstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe verbessert werden konnte. Das FE-Modell konnte hinsichtlich der Auslagerungseffekte (Feuchteinfluss) angepasst werden und die Tragfähigkeit konnte für RT berechnet werden.	05/2023	Feuchtebeständigkeit ist zufriedenstellend

II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

Arbeitspaket 1: Anforderungen und Materialien

Definition der Anforderungen an den Klebstoff

Eingeklebte Stäbe sind strukturelle Klebungen und werden seit langem erfolgreich im Ingenieurholzbau eingesetzt. Die besonderen Herausforderungen beim Kleben am Bau ergeben sich durch die Größe der Strukturen und die Magnitude der Lasten, eine große Vielfalt an Materialien und Strukturformen sowie eine starke Bindung an bestehende Normen und Zulassungen.

Bezogen auf die Thematik des Forschungsprojektes ergeben sich daraus besondere Anforderungen an den Klebstoff. Bei den speziell für das Einkleben von Gewindestangen in Holz optimierten Klebstoffen handelt es sich derzeit vorwiegend um 2-K-Epoxyde sowie 2-K-PUR-Klebstoffe, welche auf einfache Weise in der Baupraxis appliziert werden können. Eine hohe Leistung bezüglich mechanischer Eigenschaften (Festigkeit,

Steifigkeit, Temperaturbeständigkeit) und der Dauerhaftigkeit sind zentrale Punkte, die auch an die zu optimierenden proteinbasierten Klebstoffe gestellt werden müssen. Ein besonderer Fokus ist zusätzlich auf die Viskosität der proteinbasierten Klebstoffe zu legen, die auf die verwendete Applikationstechnik bei der Herstellung der eingeklebten Stäbe abgestimmt werden sollte.

Holzwerkstoffe

Die Holzwerkstoffe wurden in Übereinkunft mit den beteiligten Industrieunternehmen ausgewählt, beschafft und charakterisiert. Es werden Stäbe aus den Laubholzarten Buche, Esche und Eiche in Kanteln aus Fichtenholz eingeklebt.

Klebstoffe

Die Bearbeitung des Projektes erfolgte an Hand von proteinbasierten Klebstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Es wurden außerdem zwei kommerzielle synthetische Klebstoffe als Referenzklebstoffe hinzugezogen.

Von der Fritz Häcker GmbH + Co. KG wurden auf Basis des Anforderungsprofiles die folgenden Glutinleime für das Projekt ausgewählt:

- Technical Gelatine 400/115
- Technical Bone Glue Gelatine (Knochenleim)
- Gelmelt 013
- Plakal Covertack 520

Die Technische Gelatine und der Knochenleim werden als trockenes Granulat geliefert. Um einen gebrauchsfähigen Klebstoff zu erhalten, werden 1 Teil Klebstoff mit 3 Teilen Wasser gemischt. Der gequollene Klebstoff kann bei leicht erhöhter Temperatur aufgeschmolzen und verarbeitet werden.

Die Klebstoffe Gelmelt 013 und Plakal Covertack 520 sind Schmelzklebstoffe, die im Anlieferungszustand verarbeitet werden können.

Als synthetische Referenzklebstoffe werden Klebstoffe aus zwei verschiedenen Klebstoffklassen gewählt:

2-K-Epoxid: WEVO-Spezialharz EP 32 S und WEVO-Härter B 22 TS

2-K-Polyurethan: LOCTITE CR 821 PURBOND

Beide Klebstoffe sind entsprechend DIN 1052-10:2012-05 im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für das Einkleben von Stahlstäben geeignet.

Literaturrecherche

Die Literaturrecherche zu proteinbasierten Klebstoffen und der Verbesserung ihrer Feuchtebeständigkeit wurde durchgeführt und während der Projektlaufzeit weiter aktualisiert. Die Recherche konzentrierte sich

zum einen auf die Sichtung und Bewertung „historischer“ Rezepte für Glutinleime, die als „wasserbeständiger“ beschrieben wurden.

Zum anderen wurde in aktuellen wissenschaftlichen Veröffentlichungen nach dem aktuellen Stand der Forschung zur Vernetzung von Eiweißen im Allgemeinen und von Glutinleimen im speziellen recherchiert.

Zusätzlich wurde die Recherche auf die Wirkung von Gerbstoffen auf Eiweiß ausgeweitet, um auch diese Erkenntnisse für das Forschungsprojekt zu nutzen.

Arbeitspaket 2: Festigkeit der Verbunde im A-Zustand

Zugscherfestigkeit für Klebstoffe auf nachwachsender Basis

Die Zugscherfestigkeit der Schmelzklebstoffe Gelmelt 013 und Plakal 520 wurden nicht geprüft, da der Klebstoff Gelmelt 013 ein zu schnelles Abbindeverhalten für den Einsatz unter den Bedingungen am Bau zeigte und der Klebstoff Plakal 520 bereits im A-Zustand eine zu geringe Festigkeit im Wasser aufweist. Die Firma Fritz Häcker GmbH + Co. KG hat die Tests dann an Technischer Gelatine 400/115 durchgeführt, da diese durchschnittlich einen geringeren Anteil an Holzbruch mit diversen Holzsorten gezeigt hat und man somit den Einfluss der Modifikationen besser sehen kann.

Materialien:

Technische Gelatine 400/115

Kalialaun KAl(SO₄)₂ · 12 H₂O

VE-Wasser

Die Technische Gelatine 400/115 ist trockenes Granulat aus dem eigenen Haus, um einen gebrauchsfähigen Klebstoff zu erhalten, werden 1 Teil Klebstoff mit 3 Teilen Wasser gemischt, die fertige Mischung dann über Nacht quellen lassen. Der gequollene Klebstoff kann bei circa 50-60 °C aufgeschmolzen und verarbeitet werden.

Für die Modifikation des Klebstoffs wird eine 1%ige Lösung von Kalialaun in Wasser hergestellt (30 min bei Raumtemperatur rühren lassen), dann werden 1 Teil Klebstoff mit 3 Teilen der Kalialaun-Lösung versetzt und die fertige Mischung über Nacht quellen lassen. Der gequollene Klebstoff kann bei circa 50-60 °C aufgeschmolzen und verarbeitet werden.

Die Zugscherfestigkeit des ausgewählten Klebstoffs wurde auf dem Substrat Kiefer mittels Materialprüfmaschine von ZwickRoell bestimmt. Die verklebten Holzplättchen wurden 2 h in einer Schraubzwinge eingespannt und dann für 7 Tage bei 40 °C in einer Atmosphäre mit gesättigter NaCl-Lösung bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 75% in Kunststoffboxen gelagert. Die Zugscherfestigkeiten sind mit über 5 N/mm² relativ niedrig im Vergleich zu anderen bereits getesteten Substraten, allerdings zeigte das Bruchbild zu 100 % ein Versagen des Holzes. Es wurden jeweils 10 Paare von Holzplättchen verklebt und dann auf die Zugscherfestigkeit geprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 für die Technische Gelatine 400/115 zusammengefasst, dabei zeigt sich, dass sich in der Konstellation mit Kalialaun und Kiefer bei 400/115 keine Verbesserung der Zugscherfestigkeit durch die Modifikation ergibt. Die ermittelten Werte liegen allerdings noch deutlich über der in DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08 festgelegten Klebfugenfestigkeit für in Nadelholz eingeklebte Gewindestangen von 4 N/mm².

Typ	1% Kalialaun, 40 °C, 7 d, NaCl	unmodifiziert, 40 °C, 7 d, NaCl
Messwert-Nummer	Normierte Kraft [N/mm ²]	Normierte Kraft [N/mm ²]
1	5,5	5,8
2	5,325	5,875
3	5,6	5,5
4	5,125	5,85
5	5,075	5,7
6	4,95	5,925
7	5,05	5,975
8	5,125	5,675
9	5,375	5,625
10	5,625	5,825
Mittelwert	5,3	5,8

Tabelle 1 Zugscherfestigkeiten von 400/115 auf Kiefer

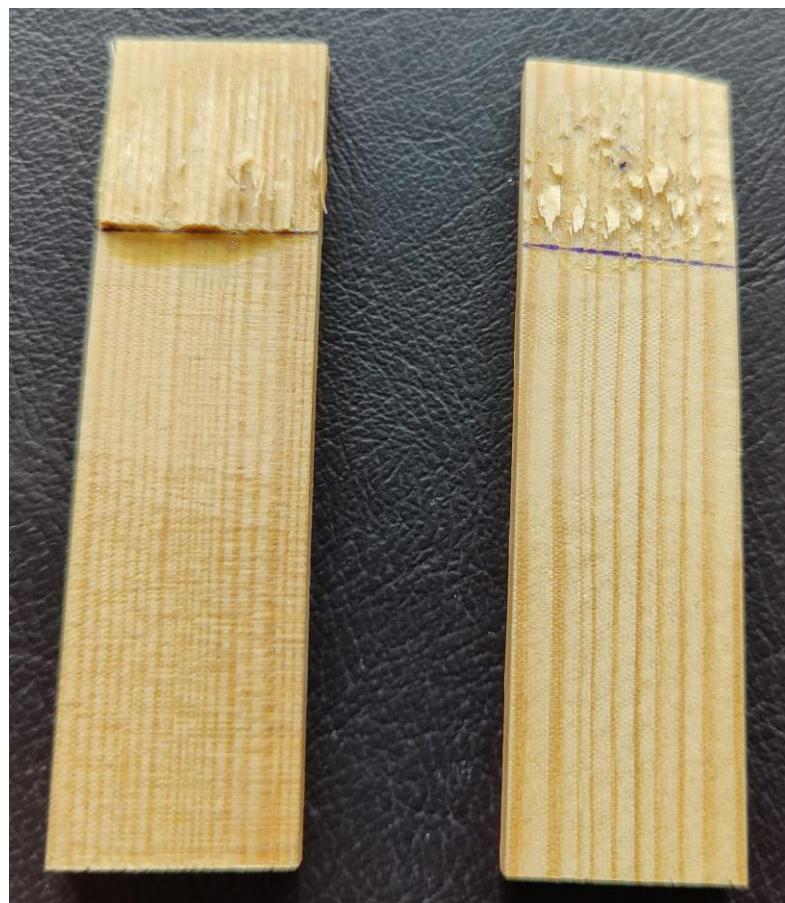


Abbildung 1: Holzplättchen nach Zugscherprüfung mit Bruch



Abbildung 2: Boxen für die Auslagerung

Arbeitspaket 3: Optimierung der Klebstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe

Optimierung der Feuchtebeständigkeit

Weitere Versuche haben gezeigt, dass die Feuchtebeständigkeit auch mit neutralisierten Fettsäuren gesteigert werden kann. Ferner kann man noch über eine Lackierung der Klebestellen nachdenken, um den aufquellenden Leim von Feuchtigkeit abzuschirmen.

Arbeitspaket 4: Festigkeit eingeklebter Holzstäbe nach feuchter Auslagerung

Vorbereitend für die feuchte Auslagerung der eingeklebten Stäbe wurden Holzstäbe unterschiedlicher Holzdurchmesser (Durchmesser $d = 6 \text{ mm}$ und $d = 15 \text{ mm}$) für jeweils 14 Tage verschiedenen Klimata ausgesetzt. Durch tägliches Wiegen der Prüfkörper wurde die sich einstellenden Feuchtigkeit im Holz bei jedem Klima ermittelt. Auf Basis dieser Versuche werden letztendlich die Klimata zur Auslagerung des geklebten Verbundes festgelegt. Die Sättigung bei Raumtemperatur verläuft kontinuierlich über ca. 7 Tage. Bei einer hohen Temperatur von 65°C sättigt das Holz innerhalb von 2 Tagen, danach bleibt der Wassergehalt tendenziell konstant. Die Höhe des Wassergehaltes im Holz ist bei sehr feuchter Umgebungsfeuchte von 85 % entsprechend Nutzungsklasse (NKL) 2 und 3 erwartungsgemäß höher.

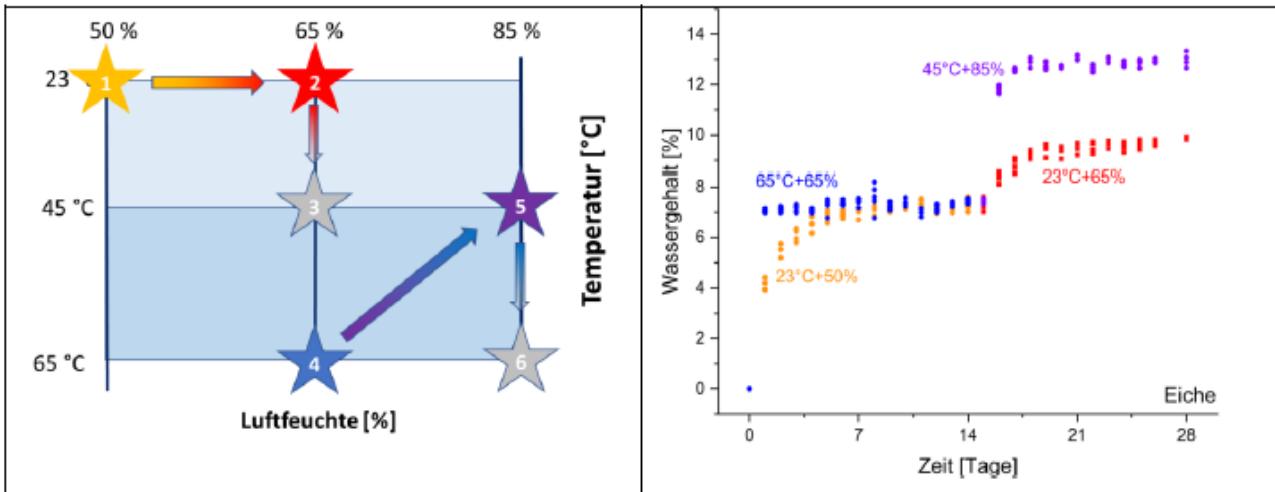


Abbildung 3: (links): Klimata 1 bis 6 für die Auslagerung von Holzprobekörpern. Feuchtigkeit 65% entspricht NKL 1; Feuchtigkeit 85 % entspricht NKL 2; Feuchtigkeit > 85 % entspricht NKL 3. (rechts): Wassergehalt bei Klima 1 – 4 nach 14 Tagen bei Eiche [Quelle: IFAM]

Arbeitspaket 5: Numerische Modellierung

/

Arbeitspaket 6: Dokumentation und Verwertung der Ergebnisse

Es sind umfangreiche Maßnahmen zur Verwertung der Ergebnisse in die akademische Welt und die Wirtschaft vorgesehen. Dies wird dadurch unterstützt, dass der Antragsteller in die Branchen des Holzbau und der Klebstoffindustrie sowie in den zugehörigen Ausschüssen sehr gut vernetzt ist.

Die durch die Mitarbeit als Projektpartner unmittelbar beteiligten Unternehmen sind in der Lage, die Forschungsergebnisse direkt zu nutzen. Durch die Projekttreffen (zweimal jährlich) wurde zum einen sichergestellt, dass immer ein Abgleich mit den in der Praxis vorkommenden Bedingungen und Anforderungen stattfindet. Zum anderen gelangen so die gewonnenen Erkenntnisse zeitnah und direkt zu den Firmen. Die Zusammensetzung des Konsortiums ist so gestaltet, dass von der Konstruktion im Bau über die holzverarbeitende Industrie bis hin zum Klebstoffhersteller Experten der jeweiligen Fachgebiete vertreten sind. Die Firma Fritz Häcker GmbH + Co. KG ist Hersteller und Vertreiber von Klebstoffen, unter anderem Glutinleimen. Dieser Projektpartner kann die Forschungsergebnisse direkt in Klebstoffe mit verbesserter Feuchtebeständigkeit umsetzen. Feuchtebeständige Glutinleime sind nicht nur für den konstruktiven Holzbau interessant, sondern eröffnen diesen Klebstoffen weitere Anwendungsfelder, die eine erhöhte Feuchtebeständigkeit fordern.

2. Verwertung

a) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

/

b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Die Firma Fritz Häcker GmbH + Co. KG schätzt die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten eher schwierig ein, da die Verarbeitbarkeit der Glutinleime auf dem Bau suboptimal ist.

c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Nutzung der Projektergebnisse durch die Projektpartner:

A) Durch den Klebstoffhersteller Fritz Häcker GmbH + Co. KG

Die Firma Fritz Häcker GmbH + Co. KG ist Hersteller und Vertreiber von Klebstoffen, unter anderem Glutinleimen und kann die Forschungsergebnisse direkt in Klebstoffe mit verbesserter Feuchtebeständigkeit umsetzen. Feuchtebeständige Glutinleime sind nicht nur für den konstruktiven Holzbau interessant, sondern eröffnen diesen Klebstoffen weitere Anwendungsfelder und Marktpotenziale, die eine erhöhte Feuchtebeständigkeit fordern. Anwendungsgebiete sind die papierverarbeitende Industrie, Buchdruck, Schachtelherstellung, Papierkaschierungen, Ordner, Displays und Spielpläne aus Papier und Karton. Da speziell der Markt für Bücher tendenziell rückläufig ist, hat die Suche nach neuen Anwendungen und Marktsegmenten eine hohe strategische Priorität für die Fritz Häcker GmbH + Co. KG.

Die Anwendung eines proteinbasierenden Klebstoffs für den konstruktiven Holzbau stellt einen interessanten Ausbau der Anwendungs- und Produktpalette dar.

Bei positiven Ergebnissen in Bezug auf die Feuchtebeständigkeit können neue, interessante Anwendungsfelder über den konstruktiven Holzbau hinaus erschlossen werden. Die regionalen Zielmärkte sind im ersten Schritt Deutschland, Schweiz, Österreich und Benelux.

Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich vermutlich auch auf andere Bereiche ausdehnen, z.B. auch für die Hydrophobierung von Dämmstoffen.

d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

/

Berichtsblatt - Kurzfassung des Vorhabens ¹

Förderkennzeichen:	2220HV050B
Zuwendungsempfänger:	Fritz Häcker GmbH + Co. KG
Thema (Akronym):	Ökostab

Projektbeschreibung:

Das erste Ziel des Projekts besteht darin, zu untersuchen, inwieweit eingeklebte Stahlstäbe in Nadelholz, wie sie heute verwendet werden, durch Stäbe aus Laubholz für strukturelle Anwendungen ersetzt werden können, um die Nutzung von Laubholz als potenzielle Holzquelle zu erhöhen und die erheblichen CO₂-Emissionen, die bei der Stahlproduktion entstehen, zu verringern. Das zweite Ziel ist die Identifizierung von Klebstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen für Laubholzstangen, die eine praktikable Lösung sowohl für die Herstellung als auch für das Recycling bieten und das Recycling der Rohstoffe ermöglichen. Der Schwerpunkt dieser Studie liegt auf der Erhöhung der Feuchtigkeitsbeständigkeit von Naturklebstoffen durch gezielte Modifikation bestehender Klebstoffsysteme. Das dritte Ziel ist die Entwicklung von Bemessungsregeln für eingeklebte Laubholzstäbe, um deren Einsatz im Holzbau zu fördern.

Die Bestimmung der Haftfestigkeit wird auf drei Ebenen durchgeführt: Für die Vorauswahl geeigneter Klebstoffe und die Optimierung der Klebstoffe werden Zugscherversuche als standardisierte und relativ einfache Versuche durchgeführt. In der nächsten Stufe werden geklebte Stäbe, die im Vergleich zur realen Bauteilgröße relativ klein dimensioniert sind, hergestellt und geprüft. Ausgewählte Klebstoffe bzw. Klebstoffmodifikationen werden im dritten Schritt in eingeklebten Holzstäben größerer Abmessungen getestet. Mit den geplanten experimentellen Arbeiten sollen Materialeigenschaften entwickelt werden, die die Grundlage für ein Konstruktionsmodell bilden, das mittelfristig die Auslegung von eingeklebten Laubholzstäben und deren Überführung in die Praxis ermöglicht, so dass der Einsatz von Laubholz im Holzbau umfassend gesteigert werden kann.

Projektergebnisse:

Im Hause der Fritz Häcker GmbH + Co. KG wurden Kiefernplättchen miteinander verklebt und bei verschiedenen Klimata ausgelagert. Die für die Vorauswahl durchgeführten Zugscherversuche zeigen, dass die Kombination aus Holz und proteinbasierte Bioklebstoffe erfolgversprechend sein können. Auch die verklebten Stäbe in Holz waren vielversprechend und hatten eine Klebkraft in der Größenordnung von handelsüblichen Klebstoffen wie Epoxiden oder Polyurethanen liegt.

In unseren Versuchen hat sich gezeigt, dass in der Konstellation mit Kalialaun und Kiefer bei 400/115 keine Verbesserung der Zugscherfestigkeit durch die Modifikation ergibt. Die ermittelten Werte liegen allerdings noch deutlich über der in DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08 festgelegten Klebfugenfestigkeit für in Nadelholz eingeklebte Gewindestangen von 4 N/mm².

¹ Das Berichtsblatt ist bei Verbundvorhaben für jedes Teilvorhaben separat zu erstellen.

Short Project Description ¹

Project number:	2220HV050B
Beneficiary:	Fritz Häcker GmbH + Co. KG
Project title (Acronym):	Ökostab

Project objective:

The first objective of the project is to investigate the extent to which glued-in steel bars in softwood, as used today, can be substituted by rods made of hardwood for structural applications in order to increase the use of hardwood as a potential wood source and to reduce the significant CO₂ emissions generated during steel production. The second goal is to identify adhesives made from renewable raw materials for hardwood rods that provide a viable solution to both manufacturing and recycling issues, and enable the recycling of the raw materials. The focus in this study lies on increasing moisture resistance of natural adhesives by specific modification of existing adhesive systems. The third objective is to develop design rules for glued-in hardwood rods in order to promote their use in timber construction engineering.

The determination of bond strengths is carried out on three levels: For the pre-selection of suitable adhesives and the optimisation of the adhesives, lap shear tests are carried out as standardised and relatively simple tests. In the next stage, bonded rods, with are relatively small dimensions, if compared to the real component size, are manufactured and tested. Selected adhesives, or adhesive modifications, are tested in glued-in wooden rods of larger dimensions in the third step. The planned experimental work is intended to develop material properties that will form the basis for a design model that will allow the design of glued-in hardwood staves in the medium term and their transfer to practical use, so that the use of hardwood in timber construction can be comprehensively increased.

Project results:

At Fritz Häcker GmbH + Co. KG, pine boards were glued together and stored in different climates. The tensile shear tests carried out for the pre-selection show that the combination of wood and protein-based bioadhesives can be promising. The glued rods in wood were also promising and had an adhesive strength in the order of magnitude of commercially available adhesives such as epoxides or polyurethanes.

Our tests have shown that in the constellation with Potassium alum and pine at 400/115, there is no improvement in the shear strength as a result of the modification. However, the values determined are still well above the adhesive joint strength of 4 N/mm² specified in DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08 for threaded rods glued into softwood.