

Chancen und Grenzen der Substitution von metallischen Konstruktionswerkstoffen in der Fördertechnik

Opportunities and limits of the substitution of metallic construction materials in conveying technology

Sven Eichhorn
Patrick Kluge
Eric Penno
Ronny Eckardt
Christoph Müller
Katrin Feig
Christoph Alt
Christine Schubert

*Professur Fördertechnik
Institut für Fördertechnik und Kunststoffe
Technische Universität Chemnitz*

Auf der Grundlage technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Kriterien werden drei Prototypen unterschiedlicher Anwendungen in Holz- und Metallbauweise untersucht und deren Unterschiede bewertet.

[Holzwerkstoffe, Maschinenbau, Fördertechnik, Leichtbau, Substitution]

Based on technical, economic and ecological criteria, three prototypes of different applications in wood and metal construction are examined and their differences are evaluated.

[wood composite, materials handling, mechanical engineering, lightweight construction]

1 GRUNDLAGE DER SUBSTITUTION VON METALLISCHEN KONSTRUKTIONSWERKSTOFFEN

Als Konstruktionswerkstoffe in modernen intralogistischen Anlagen werden Stahl oder Aluminiumlegierungen verwendet. Die Metallbauweise steht einem breiten Anforderungsfeld gegenüber. Sie soll modular, flexibel, leicht, kostengünstig, ressourceneffizient und ökologisch vorteilhaft, dabei aber robust, störunanfällig und zuverlässig sein. Die Punkte: leicht, kostengünstig und ökologisch sind dabei mit den restlichen Anforderungen unvereinbar. Ein Lösungsansatz, diesen kombinierten Anforderungen in Summe zu begegnen, stellt das Konzept der Green Logistics Plant (GLP, vgl. Abbildung 1) dar. Im Vergleich zu herkömmlichen metallischen Bauweisen beinhaltet die GLP einen technischen Mehrwert (z. B. Leichtbau). Weiterhin ist sie ressourceneffizient und wirtschaftlich.

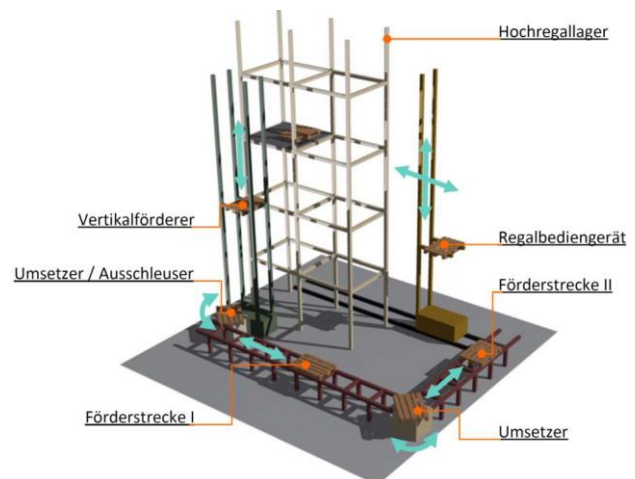


Abbildung 1. Green Logistics Plant –GLP [EIC12]

Ein konkreter Lösungsweg innerhalb der GLP ist die Substitution von Stahl und Aluminiumlegierungen mit geeigneten Holz und Holzwerkstoffen. Der biogene Nanoverbundwerkstoff Holz bietet tradiertes Potenzial, das aufgezeigte Anforderungsfeld in einer angepassten Bauweise vorteilhaft zu erfüllen. Der technische Mehrwert wird z. B. durch das Leichtbaupotential des Holzes und dessen einfache Verarbeitung erfüllt. Die Ressourceneffizienz wird durch Leichtbau in Kombination mit ökologischen Vorteilen bei der Herstellung der Bauelemente z. B. bzgl. reduziertem Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial, dargelegt. Mit dem richtigen KnowHow ist die praktische Umsetzung modularer, flexibler, leichter, robuster, störunanfälliger, zuverlässiger, kostengünstiger und ökologisch vorteilhafter Holzbauweisen möglich.

2 STAND DER TECHNIK

Der Einsatz von Holz und Holzwerkstoffen im Maschinenbau ist in der Geschichte der (Förder-) Technik in vielen Anwendungen bekannt. Seit Mitte des letzten Jahrhunderts wurden diese Materialien in Nischen verdrängt. Im ersten Jahrzehnt nach dem Millennium erfolgt wieder deren verstärkter Einsatz z. B. im Maschinen- und Anlagenbau. [EiC10a] Die historisch bekannten, technischen und wirtschaftlichen Vorteile des Holzes werden aufgegriffen und mit dessen ökologischen Vorteilen ergänzt in modernen Holzbauweisen für konkrete Anwendungsfälle umgesetzt. Einen Lösungsweg stellt das modulare Baukastensystem für Holzwerkstoffe und -bauelemente (vgl. Abbildung 2, [EiC12]) zur Anwendung im Maschinen- und Anlagenbau dar. Aus diesem können u. a. Stückgut-fördertechnik, wie eine Rollenbahn (Prototyp, vgl. Abbildung 3), abgeleitet werden. [ECK10], [EiC10b], [EiC10c]

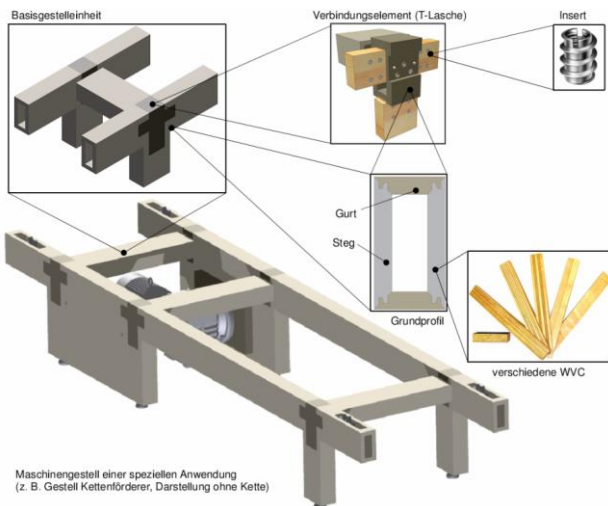


Abbildung 2. Baukastensystem für Anwendungen im Maschinen- und Anlagenbau, am Beispiel eines Kettenfördersystem (Darstellung ohne Kette) in Holzbauweise [EiC12]



Abbildung 3. Rollenbahn in Holzbauweise (Prototyp) [EiC10b]

Aufbauend auf dem modularen Baukastensystem und dem Prototyp der Rollenbahn wurde schrittweise eine Skidförderanlage in Holzbauweise für den Serieneinsatz

im industriellen Umfeld konzipiert. Den ersten Schritt stellt eine Prototypenanlage (vgl. Abbildung 4) dar. Im zweiten Schritt erfolgte die Umsetzung eine Serienanlage (vgl. Abbildung 5) aus schwerentflammbarem Holzwerkstoff (B1). Die Gestelle der Skidförderer in Metallbauweise wurden zu einem großen Anteil mit geeigneten Holzwerkstoffen substituiert. Deren Antriebsstrang (Motor, Tragachsen, Zahnriemen usw.) blieb unverändert. Die beiden Skidförderanlagen in Holzbauweise werden aktuell in der automobilen Serienfertigung betrieben. Es existieren technische und ökologische Vorteile. Die Kosten sind bei der genutzten Fertigungstechnologie (keine Massenfertigung) vergleichbar zu den in Deutschland produzierten Metallbauweisen. Der Grundaufbau der Einzelmodule ist modular und flexibel. Die Gestelle sind leicht, robust, störunanfällig und die Förderanlage dadurch zuverlässig. Einen Vergleich der Holz- und Metallbauweise zeigt [EiC16], [FEI16].



Abbildung 4. Prototypenanlage der Skidförderer in Holzbauweise [FNR14], [HIM17]



Abbildung 5. Serienanlage der Skidförderer in Holzbauweise [EiC16]

3 AKTUELLE UNTERSUCHUNGEN: BAUWEISEN UND METHODIK

Aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Stand der Technik wurden drei weitere konkrete Anwendungsfälle aus Metall durch Holzbauweisen substituiert, als Prototyp

umgesetzt, getestet und die technische, wirtschaftliche und ökologische Leistungsfähigkeit bewertet. In EIC17 erfolgt ab S. 114 eine ausführliche Darstellung der Metall- und Holzbauweisen sowie deren Bewertung.

Bauweise I ist ein Arbeitstisch mit Nutenplatte (vgl. Abbildung 6, flächig auf der Arbeitsplatte mit maximal 1500 kg belastbar). Es gibt zwei Varianten der Metallbauweise (Ia, mit Zwischenplatte und Ib ohne Zwischenplatte) und vier Varianten (I-1 bis I-4) der Holzbauweise:

- I-1 mit Zwischenplatte, Nutenplatte komplett aus KHP-hd
- I-2 mit Zwischenplatte, Nutenplatte anteilig aus KHP-hd
- I-3, ohne Zwischenplatte, Nutenplatte komplett aus KHP-hd
- I-4, ohne Zwischenplatte Nutenplatte anteilig aus KHP-hd

Die Zwischenplatten beschreibt die zweite Tischebene (Boden) des Arbeitstisches. Auf der Nutenplatte (erste Tischebene) können mit den üblichen Spannmitteln Aufbauten befestigt werden. KHP-hd ist die Kurzbezeichnung für Kunstharzpressholz mit hoher Dichte, einem hochverdichteten Holzfurnierlagenverbundwerkstoff (WVC-Wood Veneer Composite). Das Gestell ist aus einem WVC-Hohlprofil. Bei den Varianten mit der Nutenplatte anteilig aus KHP-hd wurden ein Teil aus dem hochverdichteten KHP-hd und der andere Teil aus normalem, unverdichtetem WVC gefertigt. Die Metallbauweise ist mit Strangpressprofilen aus Aluminiumlegierung und Stahlverbindern gefertigt.



Abbildung 6. Holzbauweise I-1 – Arbeitstisch mit Zwischenplatte, Nutenplatte komplett aus KHP-hd [EIC17]

Bauweise II ist der Schlitten eines Rollenprüfstandes (vgl. Abbildung 7, 1000 N Prüflast pro Messstelle). Die Grundplatte des Schlittens, die Versteifungen und die Probekörperaufnahmen sind aus KHP-hd. Weiterhin wurde ein leichtes Hohlprofil aus WVC („Leichtbauprofil“)

verbaut. Die Metallbauweise ist mit Frästeilen und Strangpressprofilen aus Aluminiumlegierung, Stahlblechen und Stahlverbindern gefertigt.

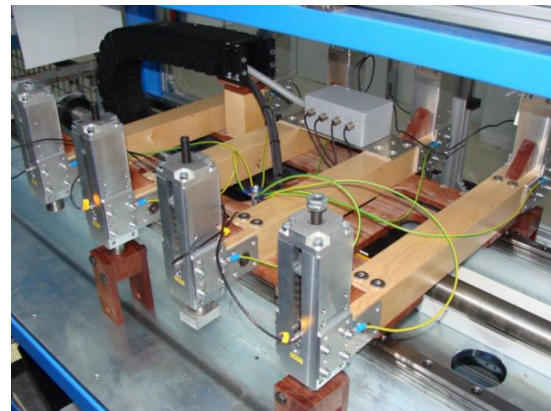


Abbildung 7. Holzbauweise II – Schlitten für einen Rollenprüfstand [EIC17]

Bauweise III ist durch einen Vertikalförderer (vgl. Abbildung 8, Transportgewicht 150 kg) gekennzeichnet. Das Gestell wurde mittels leichtem Hohlprofil aus WVC („Leichtbauprofil“) umgesetzt. Die Metallbauweise ist mit Strangpressprofilen aus Aluminiumlegierung, Stahlblechen und Stahlverbindern gefertigt.

Die Bewertung der Metall- und Holzbauweisen erfolgte nach vier Kriterien:

- technisch mittels des Gesamtgewichtes des verbrauchten Werkstoffes der substituierbaren Komponenten bei gleicher technischer Funktionalität der Gesamtstruktur, d. h. identische oder vergleichbare Komponenten, beispielsweise Antriebseinheiten wie Motor, Seiltrommel, bleiben unbeachtet.
- wirtschaftlich mittels der Fertigungskosten einer Einzel- bzw. prototypischen Vorserienfertigung (Holzbauweisen) oder auf Grundlage von Katalogpreisen der Bauteile (Metallbauweisen). Es wurden keine Montagekosten analysiert.
- ökologisch mittels Primärenergiebedarf und Treibhauspotential (CO₂-Äv) per Ökobilanz auf Basis des Gewichtes des für die Konstruktion verbrauchten Werkstoffes (funktionelle Einheit: 1 kg Blech, Platte) in der Bauweise. Dabei wurden keine Zuschläge für die Komponentenfertigung aus den Halbzeugen (z. B. für die Bearbeitung: Bohren, Schweißen usw.) oder deren Montage erhoben. Es wurde nur der Werkstoffverbrauch bilanziert. Es wurde angenommen, dass dadurch die Vorteile der Holzbauweisen am kleinsten sind. Für die Bilanz wurde

ein Mittelwert pro kg Werkstoff auf Basis sekundärer Datenquellen errechnet und dabei die Lebensphase Produktion des Werkstoffes und die Wirkungskategorien Primärenergiebedarf und Treibhauspotential fokussiert. Gutschriften für Energie und/oder CO₂ können je nach Nutzungsszenario im weiteren Lebensweg für die Holzwerkstoffe angenommen werden.



Abbildung 8. Holzbauweise III – Vertikalförderer [EIC17]

4 ERGEBNISSE

Tabelle 1 zeigt die Gegenüberstellung der Holz- und Metallbauweisen I bis III nach den in Kapitel 3 dargestellten Kriterien. Die Metallbauweisen wurden als Referenz mit jeweils 100% bewertet.

Die Kosteneinsparung der Holz- zu den Metallbauweisen liegt zwischen 10% und 65%. Die Kosten der Holzbauweisen sind bei einer Serienfertigung reduzierbar.

Die Einsparung beim Primärenergiebedarf liegt zwischen 65% und 85%. Die Maxima der Einsparungen werden beim Treibhauspotential (CO₂-Äv) mit bis zu 95% erreicht. Bei den ökologischen Kennwerten resultieren potenziell Verbesserungen, wenn der Lebensweg weiter untersucht und die Herstellung der Bauweisen, aufbauend auf der Produktion des Werkstoffes, analysiert wird. Gutschriften für Energie und/oder Treibhauspotential sind dabei möglich.

Gewichtseinsparungen sind von -12% bis 58% möglich. Die Holzbauweisen I-1 und I-3 zeigen, dass in diesem Anwendungsfall durch den Einsatz einer massiven Platte aus Kunstharzpressholz (KHP-hd) kein Leichtbau im Vergleich zur Metallbauweise möglich ist. Die Holzbauweisen I-2 und I4 sind modifiziert (Nutenplatte anteilig aus KHP-hd), um diesen Nachteil zu tilgen.

Die Chancen der Substitution metallischer Konstruktionswerkstoffe durch Holzwerkstoffe liegen im technischen Mehrwert, z. B. beim Leichtbau, sowie bei ökonomischen und ökologischen Punkten. Hybridkonstruktionen Holz-Metall bieten meist einen guten Kompromiss.

Die Grenzen der Substitution metallischer Konstruktionswerkstoffe durch Holzwerkstoffe werden z. B. durch die im Vergleich niedrigeren absoluten mechanischen Kennwerte festgelegt. Meist benötigen Holzbauweisen einen größeren Bauraum im Vergleich zu Metallbauweisen, um ihre Funktion zu erreichen. Der Einsatz von Holz und Holzwerkstoffen ohne technisches Know How ist nicht zielführend.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Gegenüberstellung von Holz- und Metallbauweisen zeigt, dass die Holzbauweisen technisch, ökonomisch und ökologisch bei den gewählten Bewertungskriterien meist deutlich besser abschneiden. Bei der Substitution metallischer Konstruktionswerkstoffe durch Holzwerkstoffe sind u. a. die dargestellten Grenzen zu beachten, um modulare, flexible, leichte, kostengünstige, ökologisch vorteilhaft, dabei aber robuste, störunanfällige und zuverlässige Lösungen zu erhalten. Zukünftig sollen weitere konkrete (intra)logistische Anwendungsfälle in Metallbauweise substituiert werden.

Tabelle 1. Zusammenfassung und Vergleich der technischen, ökonomischen und ökologischen Kenngrößen von Metallbau- und Holzbauweise I-III [EIC17], S. 141

Bauweise	technisch	ökonomisch	ökologisch	
	Gesamtgewicht	Kosten	Primärenergiebedarf	Treibhauspotential CO ₂ -Äqv.
Metallbauweise Ia (mit Zwischenplatte) in %	100 %	100 %	100 %	100 %
Holzbauweise I-1 (Nutenplatte komplett aus KHP-hd, mit Zwischenplatte) bzgl. Metallbauweise Ia (mit Zwischenplatte) in %	101,1 %	37,7 %	29,0 %	10,2 %
Einsparung Holzbauweise I-1 bzgl. Metallbauweise Ia (mit Zwischenplatte) in %	-1,1 %	62,3 %	71,0 %	89,8 %
Holzbauweise I-2 (Nutenplatte anteilig aus KHP-hd, mit Zwischenplatte) bzgl. Metallbauweise Ia (mit Zwischenplatte) in %	83,3 %	35,5 %	19,3 %	6,0 %
Einsparung Holzbauweise I-2 bzgl. Metallbauweise Ia (mit Zwischenplatte) in %	16,7 %	64,5 %	80,7%	94,0 %
Metallbauweise Ib (ohne Zwischenplatte) in %	100 %	100 %	100 %	100 %
Holzbauweise I-3 (Nutenplatte komplett aus KHP-hd, ohne Zwischenplatte) bzgl. Metallbauweise Ib (ohne Zwischenplatte) in %	111,9 %	40,6 %	33,7 %	12,2 %
Einsparung Holzbauweise I-3 bzgl. Metallbauweise Ib (ohne Zwischenplatte) in %	-11,9 %	59,4 %	66,3 %	87,8 %
Holzbauweise I-4 (Nutenplatte anteilig aus KHP-hd, mit Zwischenplatte, ohne Zwischenplatte) bzgl. Metallbauweise Ib (ohne Zwischenplatte) in %	89,3 %	38,1 %	21,4 %	7,0 %
Einsparung Holzbauweise I-4 bzgl. Metallbauweise Ib (ohne Zwischenplatte) in %	10,7 %	61,9 %	78,6 %	93,0 %
Metallbauweise II in %	100 %	100 %	100 %	100 %
Holzbauweise II bzgl. Metallbauweise II in %	48,4 %	60,0 %	29,0 %	11,6 %
Einsparung Holzbauweise II bzgl. Metallbauweise II in %	51,6 %	40,0 %	71,0 %	88,4 %
Metallbauweise III in %	100 %	100 %	100 %	100 %
Holzbauweise III bzgl. Metallbauweise III in %	42,1 %	89,6 %	15,2 %	4,6 %
Einsparung Holzbauweise III bzgl. Metallbauweise III in %	57,9 %	10,4 %	84,8 %	95,4 %

LITERATUR

[ECK10] Eckardt, Ronny; Eichhorn, Sven: *Neue Bauweisen in der Intralogistik durch Holzverbundwerkstoffe - Verbindungselemente für dynamische Belastungen*,

6. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL), Tagungsband, 29. und 30. September 2010, Hannover, <http://www.qucosa.de/fileadmin/data/quco->

- [sa/documents/6193/Eckardt_Eichhorn_WGTL_2010.pdf](http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/6193/Eckardt_Eichhorn_WGTL_2010.pdf)
- [EIC10a] Eichhorn, Sven; Eckardt, Ronny; Müller, Christoph: *Einblick in die Geschichte der Holzwerkstoffe im Maschinen- und Anlagenbau und aktuelle Möglichkeiten der angemessenen technischen Nutzung*, 8. Internationalen Symposium Werkstoffe aus Nachhaltenden Rohstoffen, Sektion 4 Holzwerkstoffe, 2010, http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/6103/Geschichte_Holz_im_MB_Eichhorn_Eckardt_Mueller.pdf
- [EIC10b] Eichhorn, Sven; Eckardt, Ronny; Müller, Christoph: *Schwingungs- und geräuschkämpfende Leichtbauelemente im Maschinenbau auf Basis von Konstruktionswerkstoffen aus Holz*, Abschlussbericht 2010, http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/6023/data/Leichtbauelemente_im_Maschinenbau_aus_Holz-Eichhorn_Eckardt_Mueller.pdf
- [EIC10c] Eichhorn, Sven; Eckardt, Ronny; Nendel, Klaus: *Modular aufgebaute intralogistische Gestellsysteme aus Holz - Teil 1 und Teil 2*, f+h Zeitschrift für Materialfluss- und Warenwirtschaft Ausgabe 4 und 5/2010
- [EIC12] Eichhorn, Sven; Rasch, Frank; Eckardt, Ronny; Sumpf, Jens; Nendel, Klaus: *Nachhaltigkeit und Energieeffizienz in der Intralogistik durch neue Systemkomponenten*, Tagungsband "Intelligent vernetzte Arbeits- und Fabriksysteme - VPP2012 - Vernetzt planen und Produzieren & Symposium Wissenschaft und Praxis", 2012, S. 239-248, ISSN 0947-2495, http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/9994/VPP2012_Eichhorn_Rasch_Eckardt_Sumpf_Nendel.pdf
- [EIC16] Eichhorn, Sven; Eckardt, Ronny; Alt, Christoph; Nendel, Klaus: *Verwendung von Holzwerkstoffen in Fördertechnik der Automobilfertigung*, Tagungsband 17. Holztechnologisches Kolloquium, ISBN 978-3-86780-476-9, S. 108 – 120, Bild: VW AG, http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/20324/17_HTK_Eichhorn_et_al.pdf
- [EIC17] Eichhorn, Sven; Kluge Patrick; Penno, Eric; Eckardt, Ronny; Müller Christoph, Feig, Katrin; Alt, Christoph; Schubert, Christine: „Substitution energieintensiver Stahl- und Aluminiumwerkstoffe durch nachwachsende Rohstoffe in der Fördertechnik“, „SubSTANCE“, „Substitution of energy-intensive Steel- and Aluminum materials by reNewable resources in Conveyor Engineering“, Abschlussbericht, 2017
- [FEI16] Feig, Katrin; Eichhorn, Sven: *Vergleich der umweltrelevanten Faktoren von Holzfurnierlagenverbundwerkstoffen (WVC Wood Veneer Composite) und metallischen Werkstoffen am Praxisbeispiel eines Skidfördersystems*, Logistics Journal, Vol. 2016., https://www.logistics-journal.de/not-reviewed/2016/05/4385/feig_2016.pdf
- [FNR14] Pressemeldung Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe (FNR); *Produktionsanlagen aus Holz in der Autofabrik*, 2014: https://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/archiv/archiv-nachricht/?tx_ttnews%5Byear%5D=2014&tx_ttnews%5Bmonth%5D=11&tx_ttnews%5Bday%5D=03&tx_ttnews%5Btt_news%5D=7426&cHash=4ddd15e5e857c34c3155c3bc4ad59ca1, Bild: VW AG
- [HIM17] www.holz-im-maschinenbau.de, letzter Zugriff 07/2017

Dr.-Ing. Sven Eichhorn, befasst sich mit der Entwicklung und Berechnung von modularen Bauweisen und Maschinenteilen aus Holzwerkstoffen sowie deren Tribologie und Ermüdungsverhalten. Seit 2007 ist er Leiter der Forschungsgruppe Anwendungstechnik Erneuerbarer Werkstoffe (AEW) an der Professur Fördertechnik.

Adresse: Professur Fördertechnik, Institut für Fördertechnik und Kunststoffe (IFK), Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer Straße 70, 09126 Chemnitz, Tel: +49 371 531-35851, Fax: +49 371 531-835851, E-Mail: sven.eichhorn@mb.tu-chemnitz.de

Dipl.-Ing. Patrick Kluge, befasst sich mit der Entwicklung und Berechnung von Verbundstrukturen sowie von modularen Bauweisen und Maschinenteilen aus Holz-

werkstoffen. Weiterhin arbeitet er im Bereich der Werkstoffprüfung.

M. Sc. Eric Penno, befasst sich mit der Entwicklung, Konstruktion und Analyse sowie der effizienten Fertigung von modularen Bauweisen und Maschinenteilen aus Holzwerkstoffen.

Dr.-Ing. Ronny Eckardt, beschäftigt er sich mit statischen und dynamischen Aspekten in der Verbindungstechnik von integrativen Bauweisen aus Holzwerkstoffen.

Dr.-Ing. Christoph Müller arbeitet im Bereich der textilen Maschinenelemente, der Werkstoffprüfung und der Algorithmenentwicklung. Seit 2016 ist er Leiter der Forschungsgruppe Textile Maschinenelemente an der Professur Fördertechnik.

M. Sc. Katrin Feig, befasst sich mit der Ökobilanzierung von modularen Bauweisen und Maschinenteilen aus Holzwerkstoffen.

Dipl.-Ing. Christoph Alt, entwickelt eine dynamisch hochbelastbare Verbindungstechnologie für Bauteile aus WVC (Wood Veneer Composite).

Dipl.-Ing. Christine Schubert, ist im Bereich der Werkstoffprüfung tätig. Weiterhin arbeitet sie auf dem Gebiet der Verbindungstechnik von Maschinenteilen aus WPC (Wood Polymer Composite).