

Nachhaltige Lagerböden und Tablare in Leichtbauausführung

Sustainable storage shelves and trays in a lightweight design

Eric Penno
Sebastian Weise
Markus Golder

*Professur für Förder- und Materialflusstechnik
Fakultät Maschinenbau, Institut für Fördertechnik und Kunststoffe
Technische Universität Chemnitz*

Vorgestellt wird ein ultraleichter, hochbelastbarer, flexibel einsetzbarer Boden in einer Sandwichverbundbauweise mit einem integrierten Zugankersystem unter Anwendung nachwachsender Rohstoffe. Je nach zukünftiger Belastung werden die Decklagen des Sandwichverbundes durch innenliegende Zuganker definiert unter Druck vorgespannt, wodurch eine Steifigkeitserhöhung erzielt wird. Somit können Spannweiten von bis zu drei Meter erreicht werden. Durch diesen Aufbau können - bezogen auf das Eigengewicht - verhältnismäßig große Lasten aufgenommen werden. Durch den einfachen Aufbau sind die Einsatzgebiete vielseitig. So kann der Boden für eine Flexibilitätssteigerung in Unternehmen beitragen, sodass z. B. durch eine Art Gerüst eine zweite geschlossene Ebene zur Erweiterung von begehbaren Lagerflächen realisiert werden kann.

[Schlüsselwörter: Regallager, Leichtbau, Zugankerbasiert, erneuerbare Werkstoffe]

A light, heavy-duty, flexibly usable shelf is presented in a sandwich composite construction using renewable raw materials. Integrated is a tie rod system. Depending on the future load, the top layers of the sandwich composite are prestressed by pressure via the internal tie rods, which increases the stiffness. Spans of up to three meters can be achieved. With this structure, relatively large loads can be absorbed in relation to the dead weight. The areas of application are versatile due to the simple structure. So the shelf can contribute to increasing flexibility in companies, so that e. g. a kind of scaffolding can be used to create a second level to expand accessible storage areas.

[Keywords: shelf storage, lightweight construction, tension rod based, renewable materials]

1 MOTIVATION

Meist wird bei der Begrifflichkeit „Lagern“ nur an die statische Ablage gedacht. Jedoch liegt die Rechtfertigung von Lagern auch in der Gewährleistung der Lieferbereitschaft und im effizienten Wertschöpfungsprozess. [Haa09] Gerade bei kleinen und mittelständigen Unternehmen sollte eine große Flexibilität durch Sortimentserweiterung, Produktmengenerhöhung und auf kurze und mittelfristige Sicht ein Unternehmenswachstum bezüglich des vorhandenen Raums möglich sein. Dabei sind theoretische Planungsmaßnahmen gut, jedoch sollte auch eine kurzfristige Umsetzung und Problemlösung erzielt werden können. Ein kurzfristiger Wechsel zwischen verschiedenen Lagerarten, wie z. B. vom Blocklager zum Regallager, ist meist nicht möglich. [Klu10] Realisiert werden könnte so etwas durch ein flexibles System durch dessen Aufbau große Lasten bei geringem Eigengewicht aufgenommen werden können. Darüber hinaus sollte es von einer Person auch ohne spezielle Ausbildung zu montieren und demontieren sein. Haupteinsätze in der Logistik sind denkbar als Lagerboden und als Förderhilfsmittel, z. B. als Tablar. Durch den einfachen Aufbau sind die Einsatzgebiete jedoch vielseitiger: So kann der Boden zu einer Flexibilitätssteigerung in Unternehmen beitragen, indem in Hallen durch eine Art Gerüst eine zweite geschlossene, jedoch unterfahrbare Ebene zur Erweiterung von begehbaren Lager- oder Arbeitsflächen realisiert werden kann.

2 ADAPTION ZUM GERÜSTBAU

Der Einsatz von verschraubten gerüstartigen Systemen ist im Produktions- und Lagerbereich kein neuer Ansatz. So sind Regalsysteme auf dem Markt auch kurzfristig erhältlich. Ebenso sind Gerüstsysteme, bekannt aus der Bauindustrie, durch ihre Anwendung und Menge jederzeit verfügbar. Gerüste sind vielfältige Arbeitsmittel, welche an praktisch jeder Baustelle zum Einsatz kommen. Bei Gerüsten handelt sich um Baukonstruktionen, die nur temporär genutzt werden. Je nach Verwendung gibt es Arbeits-, Trag- und Schutzgerüste. Fassadengerüste für

Bauarbeiten an Gebäuden sind hier sicher die bekanntesten Vertreter. [Sty04]

Gerüstsysteme bestehen aus den Grundelementen Stellrahmen, Füße, Gerüstböden und Diagonalverstrebungen (vgl. Abbildung 1), sowie Zusatzelementen, wie Geländern und Bordbrettern. [Sty04] [Cet19]

Der Gerüstboden formt die Arbeits- und Trittpläche und ist deshalb auch für die Lagerung von besonderer Bedeutung. Gerüstböden werden in Metall oder als Metallmischbauweise aus Stahl, Aluminium, Glasfaser verstärktem Kunststoff und aus Holzwerkstoff, genauer WVC (Wood Veneer Composite) [Eic13] in Form von Sperrholz hergestellt. Ihr Aufbau ist grundlegend immer gleich. Ein Boden besteht aus einer Holmstruktur mit Belag. Die Holme sind stirnseitig mit Kappen verbunden, an welchen die Krallen befestigt sind. Diese Krallen sind dann die Schnittstelle zum Stellrahmen. [Lay19] [Sty04]

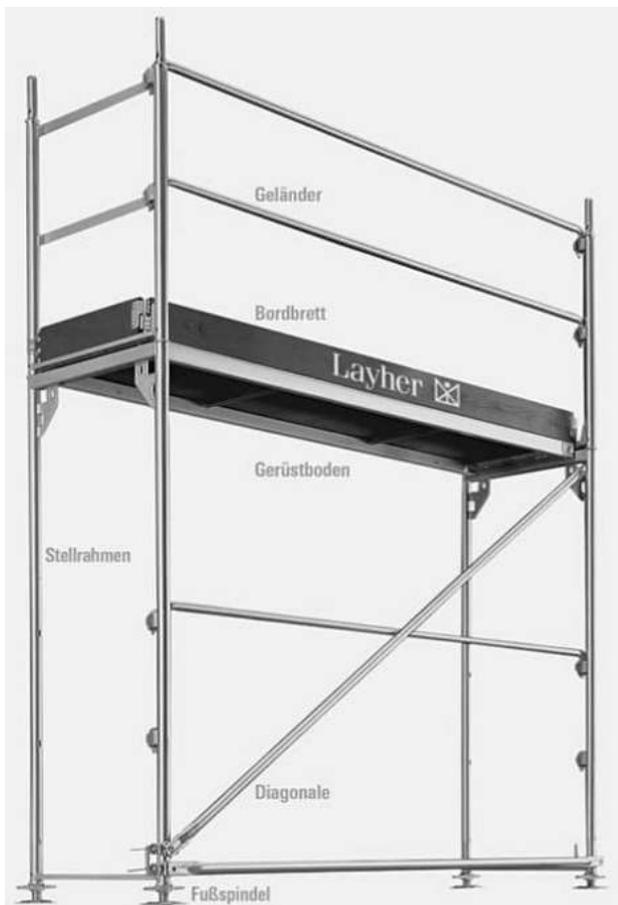


Abbildung 1. Grundelemente Gerüstsystem [Cet19]

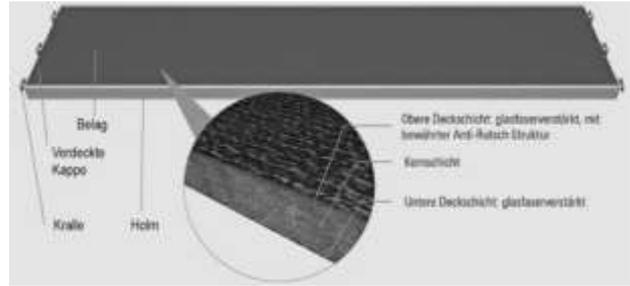


Abbildung 2. Layher-Boden-Generation „Xtra-N“ mit glasfaserverstärkter Kunststoffplatte [Lay19]

Gerüste werden bei praktisch allen Bauarbeiten an großflächigen Innen- und Außenfassaden erst auf- und danach wieder abgebaut. Dazu müssen sie sehr flexibel und für unterschiedliche Einsätze und örtliche Gegebenheiten gestaltet sein. Ein wichtiges Kriterium stellt dabei die zulässige Belastung des Gerüstbodens im Hinblick der Anwendung im Logistikbereich dar. Es gibt Schwerlast- und Leichtgerüste, die jeweils unterschiedlichen, sogenannten Lastklassen zuzuordnen sind. Darunter ist die Summe der gleichmäßig verteilten Verkehrslasten auf einem Gerüstfeld zu verstehen. Die Norm DIN EN 12811-1 unterscheidet sechs Lastklassen, welche jeweils der Art der auszuführenden Arbeit entsprechen müssen. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** fast diese Klassen zusammen.

Tabelle 1. Übersicht der Lastklassen

Lastklasse	gleichmäßig verteilte Last in kN/mm ²	konzentrierte Last auf einer Fläche von 0,5 m x 0,5 m in kN	Verwendung
1	0,7	1,5	Inspektionstätigkeiten
2	1,5	1,5	Putz-, Anstreich-, Verfüg-, Wartungsarbeiten
3	2	1,5	Maler-, Dachdeckungs-, Fassadenbekleidungs-, Beschichtungsarbeiten
4	3	3	Maurer-, Putz oder Montagearbeiten mit höherem Materialanteil und Werkstofflagerung
5	4,5	3	
6	6	3	

Zusammengefasst aus DIN EN 12811-1

Ein weiterer Aspekt bezüglich der Flexibilität bezieht sich auf das Eigengewicht der Komponenten. Besonders

die Gerüstböden sind sperrig (L: 3 m; B: 0,6 m) und mit bis zu 24 kg pro Boden zu schwer für den händischen Transport und die Montage durch einen ausübenden Gerüstbauer. Sie müssen eigentlich durch zwei Personen bewegt werden – im Realbetrieb werden sie jedoch durch einen Arbeiter getragen, was langfristig zu schweren gesundheitlichen Beeinträchtigungen führt.

Gerüstsysteme sind meistens in mehreren Ebenen angeordnet. Fallen durch Spalte in den Trittplächen Kleinteile in eine untere Ebene, können sie dort Personen verletzen. Um dies zu verhindern und eine geschlossene Oberfläche zu erzeugen wird in der Praxis häufig zu rustikal Methoden gegriffen (vgl. Abbildung 3). Die dort ausgelegten Platten stellen wiederum Gefahrenquellen dar.



Abbildung 3. übliche Lösung zur Schließung von Lücken auf Arbeitsebenen

Die Gerüstböden der beschriebenen Systeme stehen im Fokus für die Anwendung im Logistikbereich. Dem Potential stehen jedoch auch Problemstellungen aus dem Stand der Technik gegenüber:

- **Hohes Eigengewicht I:** Die Gerüstböden sind zu schwer, um von einer Person transportiert oder montiert zu werden.
- **Hohes Eigengewicht II:** Viel zu bewegende Masse erhöht Transportzeit und Transportkosten
- **Geringe Steifigkeit / Hohe Durchbiegung I:** Eine wiederholte Überbeanspruchung durch starkes Durchbiegen reduziert die Dauergebrauchsfähigkeit der Böden
- **Geringe Steifigkeit / Hohe Durchbiegung II:** Nebeneinander liegende Böden biegen sich in Längsrichtung durch Belastung unterschiedlich stark durch, wodurch eine Störkante variabler Höhe über die komplette Länge des Segmentes entsteht

- **Fehlendes Dämpfungsvermögen:** Beim Laufen wirkt sich das fehlende Dämpfungsvermögen bei gleichzeitiger starker Durchbiegung der Böden negativ auf den Stützapparat des menschlichen Körpers aus
- **Geringe Belastbarkeit / schlechtes Verhältnis „Eigengewicht – Lastklasse“:** Bauartbedingt erreichen nach dem Stand der Technik leichte Böden auch nur geringe Lastklassen.
- **Keine geschlossenen Arbeits- und Trittplächen möglich:** Die Übergänge von Gerüstböden in Längs- und Querrichtung weisen meist große Spalte auf, durch die Kleinteile, wie Schrauben und Muttern, fallen können
- **Rutschsicherheit vs. Reinigbarkeit:** Zur Gewährleistung der Rutschsicherheit kommen häufig strukturierte Bleche (Riffel-, Loch- oder Tränenblech) zum Einsatz. Dort bestehen Hinterschnitte, welche das Reinigen der Böden stark erschweren. Hier wären glatte Oberflächen günstiger, was aber wiederum die Rutschsicherheit gefährdet.

Diese Problemstellungen werden durch die Entwicklung eines leichten, stabilen Gerüstbodens mit möglichst großer Lastklasse ausgeschöpft.

3 VORGESPANNTER LEICHTBAUBODEN

Wie bereits angedeutet, liegt der Fokus der Entwicklung auf einem innovativen Konzept für eine Art Gerüstboden in Leichtbauausführung. Hintergrund dieses Ansatzes ist die wesentliche Bedeutung der Böden im Systembau, sowie die erschließbaren Potentiale dieser Baugruppen besonders bzgl. des Eigengewichts-Belastungs-Verhältnisses. Nachfolgend wird die Entwicklung trotz der breiten Einsatzmöglichkeit für eine einheitliche Bezeichnung als „Boden“ bezeichnet. Die Decklagen des Bodens werden aus speziellen Holzwerkstoffen bestehen, die durch ihren Aufbau die auf sie wirkenden Zug- und Druckkräfte im Betrieb besonders vorteilhaft aufnehmen können. Ober- und Unterlage werden durch eine knicksicher auszulegende Kernstruktur verbunden, welche aus Aluminium- oder Holzwerkstoffen gefertigt wird. Es entsteht ein stabiler, aber außerordentlich leichter Boden. Wesentlich und herausfordernd ist hierbei die Ver- und Anbindung von Kern- und Decklage: die Komponenten sind nicht nur in Position zu halten, sondern leiten auch hohe Scherkräfte weiter. Externe Verbindungselemente, wie Schrauben, bedeuten zusätzliches Gewicht und sollen eingespart werden. Der Ansatz ist eine Kombination aus Stoff- und Formschluss. So werden die Lagen verklebt und die Stege oder Lamellen der Kernlage zusätzlich

in passende Rillen der Decklagen eingelassen. Hierdurch wird eine hochsteife Verbindung erreicht.

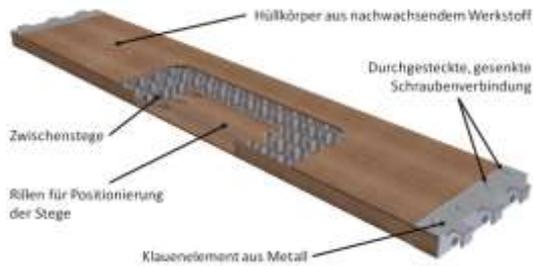


Abbildung 4. Schematische Darstellung der Sandwichstruktur

Dieses mechanische Potential gilt es bei der Kraftein- und -weiterleitung in das Systemgestell fortzuführen. Dazu werden an den Stirnseiten des Bodens haken- oder klauenförmige Elemente angebracht, mit denen dieser eingehängt und damit fixiert wird.

In der beschriebenen Konfiguration kann der Boden sich vor allem wegen der großen Stützweite von drei Metern noch immer stark durchbiegen. Zweiter Ansatz ist es deshalb, spezielle Zuganker in die Baugruppe zu integrieren, mit denen diese gezielt vorgespannt werden kann.

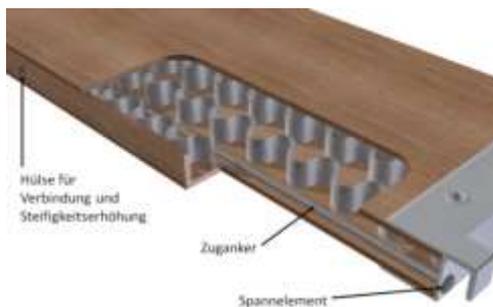


Abbildung 5. Integrierte Zuganker zur Steifigkeitserhöhung

Die folgenden Abbildungen zeigen schematisch die Wirkungsweise dieser Zuganker. Sie verlaufen deutlich unterhalb der Bauteil-Mittelebene (Neutrallinie), aber innerhalb der Sandwichstruktur. Im nicht vorgespannten Zustand liegen sie parallel zu den Decklagen und zur Neutrallinie.

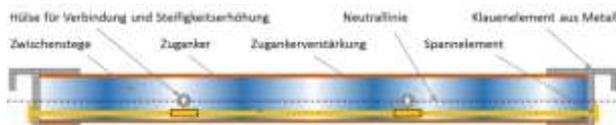


Abbildung 6. nicht vorgespannter unbelasteter Boden (Querschnitt)

Werden sie nun über Spannelemente von Außen mit einer Zugkraft beaufschlagt, entsteht eine Druckkraft in der unteren Decklage und spannt diese wie einen Druckstab (vgl. Euler'sche Knickung, Fall 2) vor. Das

ändert nichts an der Gestalt des Bodens, kann jedoch auch eine kaum wahrnehmbare Wölbung nach oben hervorrufen.



Abbildung 7. Vorgespannter, unbelasteter Boden (Querschnitt)

Wird der Boden mit einer Belastung beaufschlagt (vgl. Abbildung 8), so ergibt sich an der Oberseite in der Platte eine Druckkraft, an der Unterseite eine Zugkraft. Dies würde in Summe zum Durchbiegen führen. Die Druckvorspannung der unteren Decklage wirkt nun aber der eingeleiteten Zugkraft entgegen und kompensiert diese teilweise. Das führt zu einer deutlichen Verringerung der Durchbiegung und somit zu einer aktiven Steifigkeitserhöhung durch das Zusatzelement „Zuganker“. Wird der Boden wieder entlastet, so geht er in den vorgespannten, unbelasteten Zustand zurück.

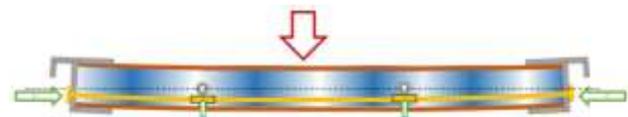


Abbildung 8. Wirkungsweise der Zuganker

Zur weiteren Steifigkeitserhöhung in einer gebildeten Fläche ist eine Verbindung benachbarter und parallel liegende Böden mit einander vorgesehen.

4 TECHNISCH RELEVANTE EIGENSCHAFTEN

Für einen problemlosen Transport und eine gute Montagefähigkeit wird das Zielgewicht eines Bodensegmentes der Maße 3 m x 0,6 m bei 16 kg liegen. Für den Transport und die Lagerung wird eine Stapelfähigkeit von mindestens 20 Gerüstböden möglich sein. Im Einsatz, gerade bei der Ausbildung einer zweiten Ebene in einer Halle ist auf die Geräuschemission zu achten. So soll der Trittschall 70 dB (A) nicht überschreiten. Des Weiteren müssen Robustheit, Rutsicherheit und Reinigbarkeit gegeben sein.

5 PROTOTYP

Es wurde ein erster Prototyp mit einer Dicke von 8 cm und einem Gewicht von 20 kg gefertigt. Die Decklagen und Seitenverkleidungen wurden mit einem Holzbearbeitungszentrum hergestellt und die Zwischenlagen aus Aluminiumwerkstoff aus einem vorgekanteten Halbzeug zugeschnitten. Die Komponenten der Decklagen, Seitenverkleidung und Stege wurden anschließend händig verklebt und montiert. Nach dem Abbinden wurden die Klauenelemente und Zuganker montiert. Die Vorspan-

nung wurde anschließend drehmomentengesteuert an den drei Zugankern aufgebracht (siehe Abbildung 9).



Abbildung 9. Verklebte Struktur mit noch offener Decklage

Der Prototyp zeigt das Potenzial und die Herausforderungen. So weist er für die Belastung der Lastklassen 1 bis 3 jeweils normgerechte Durchbiegungen nach DIN 4420 auf. Bei mehrmaliger Belastung traten allerdings abrupt Schädigungen auf. So löste sich die Leimverbindung der Decklage durch die Druckbeanspruchung und Verformung. Fehleranalysen zeigten, dass die Struktur den resultierenden Druckspannungen in der Ebene durch Verformung auswich. Die Schubspannung zerstörte sowohl die Leim- als auch die Zapfenverbindung. Verbindungsstellen in der Sandwichstruktur mussten überarbeitet werden.



Abbildung 10. Versagen der Verbindungen

6 SYSTEMVORTEIL GEGENÜBER DEM STAND DER TECHNIK

Im Falle eines totalen Versagens der Sandwichverbindung bringen die Zuganker zusätzliche Sicherheit. Ein Durchbrechen des Bodens und damit ein freier Fall sind kaum möglich. Die Zuganker verlieren die Aufgabe als Mittel zur Aufbringung der Vorspannkraft, erfüllen aber folgend den Zweck des Abfangens der Last. Die Zugfes-

tigkeit der Zuganker muss stets höher liegen als die Druckfestigkeit der Sandwichstruktur.

7 UNTERSUCHUNGEN ZUR KERNSTRUKTUR

Für eine zielorientierte Lösung ohne die Notwendigkeit der Fertigung der Böden wurden Versuche an verschiedenen Verbindungsvarianten vorgenommen und ausgewertet. Es wurden sowohl reine Verklebungen als auch unterschiedliche Kontaktflächen und Kontaktarten mit Zapfen oder Durchsteckverbindungen getestet (vgl. Abbildung 11). Als Leim kam ein leicht schäumender Montageleim aus dem Holzbau auf PU-Basis zum Einsatz. Durch den Aufbau konnten die Ergebnisse der Proben aus dem 3-Punkt-Biegeversuchen direkt miteinander verglichen werden.

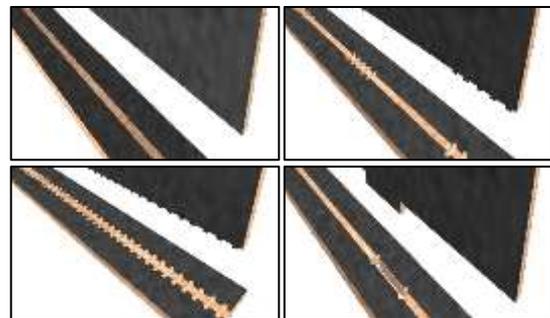


Abbildung 11. Verbindungsmöglichkeiten der Kernstruktur

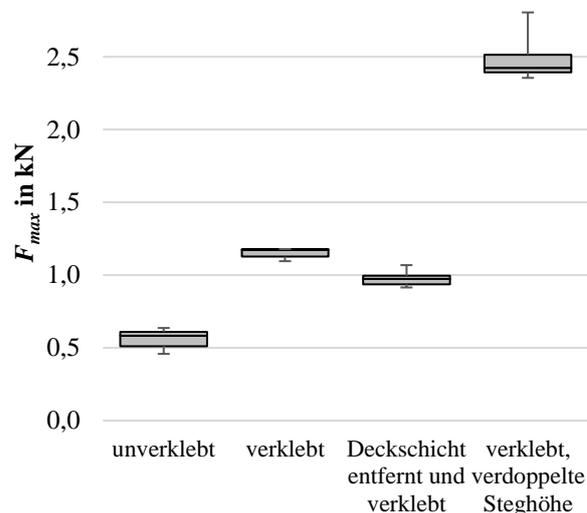


Abbildung 12. Ermittelte Maximalkraft ausgewählter Varianten

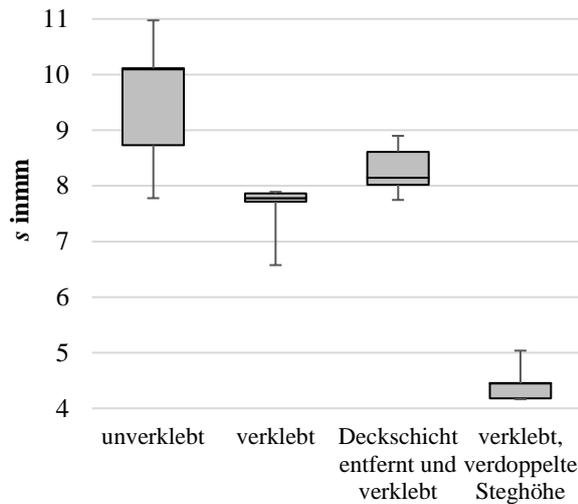


Abbildung 13. Verschiebung bei Maximalkraft durch 3-Punkt-Biegung

8 UNTERSUCHUNGSERKENNTNISSE

Aus den Versuchen ergab sich, dass die Verklebung gegenüber unverklebten Verbindungen eine Verdopplung der ertragbaren Maximalkraft ermöglicht. Die Entfernung der phenolharzbasierten Oberfläche ergab keine signifikante Verbesserung im Vergleich zu einer direkt verklebten Verbindung. So kann voraussichtlich auf diesen Arbeitsaufwand im Herstellungsprozess verzichtet werden. Einen wesentlichen Einfluss auf die ertragbare Last und die Durchbiegung hat die Steghöhe. Jedoch ist die Bauhöhe durch den Einsatz in einem Gerüst oder Regalsystem für den Logistikbereich, sowie durch den branchenübergreifenden angestrebten Einsatz u. a. im Bauwesen durch bauliche Umstände und Normen begrenzt.

9 FÖRDERHINWEIS

Das Forschungsprojekt „IGeL – Innovativer Gerüstboden in Leichtbauausführung“ mit der Förderkennziffer ZF4018666PK9 wird gefördert durch das Zentrale Innovationsprogramm des Bundesministeriums (ZIM) für Wirtschaft und Technologie.

LITERATUR

[Cet19] Cetrac- Gerüste und Schalungen, Artikel: Layher Gerüst für viele Gewerke entwickelt- wirtschaftlicher und sicherer Gerüstbau,

<https://www.geruest.com/layher-geruest-fuer-viele-gewerke-entwickelt>,

- [Eic13] Eichhorn, S.: Berechnungsansatz für Strukturbauteile aus Holz furnierlagenverbundwerkstoff – WVC, Dissertation, TU Chemnitz, 2013
- [Haa09] Haasis, H.-D.; Plöger, M.: Flexible Lagersysteme: Von der Bestandhaltung zur produktionssynchronen Versorgung, Frankfurt am Main, Peter Lang Verlag, 2009 – ISBN 978-3-6315-9367-7
- [Klu10] Klug, F.; Logistikmanagement in der Automobilindustrie: Grundlagen der Logistik im Automobilbau, Heidelberg, Springer Verlag, 2010
- [Lay18] Allgemeine Bauzeitung: Interview Layher Geschäftsführer Christian Behrbohm vom 31.08.2018, <https://allgemeinebauzeitung.de/abz/layher-geschaeftsfuehrer-wolf-christian-behrbohm-wir-koennen-die-sicherheit-im-geruestbau-nur-alle-gemeinsam-erhoehen-28992.html>, 2019
- [Lay19] Layher Allroundgerüst Katalog und Preisliste, Stand 2019
- [Sty04] Stypa, D.; Arbeits- und Schutzgerüste, Berlin, Ernst & Sohn Verlag, 2004

Eric Penno, M.Sc., wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dr.-Ing. Sebastian Weise, Forschungsgruppenleiter Baugruppen und Fördersysteme

Prof. Dr.-Ing. Markus Golder, Leiter der Professur

Institut für Fördertechnik und Kunststoffe
 Professur Förder- und Materialflusstechnik
 Reichenhainer Straße 70, 09126 Chemnitz
 Telefon +49(0)371 531 231 10
www.tu-chemnitz.de/mb/FoerdTech/