

# I. Verwendung von Holzwerkstoffen in Fördertechnik der Automobilfertigung

Dr.-Ing. Sven Eichhorn, Dr.-Ing. Ronny Eckardt, Christoph Alt, Prof. Dr.-Ing. Klaus Nendel

TU Chemnitz, Institut für Fördertechnik und Kunststoffe, Professur Fördertechnik, Reichenhainer Str. 70, D-09126 Chemnitz,

E-Mail: [sven.eichhorn@mb.tu-chemnitz.de](mailto:sven.eichhorn@mb.tu-chemnitz.de), Tel.:+49 (371) 53135851

[www.holz-im-maschinenbau.de](http://www.holz-im-maschinenbau.de)

Abstract:

Aufbauend auf einer an der TU Chemnitz, Professur Fördertechnik, Forschungsgruppe Anwendungstechnik Erneuerbarer Werkstoffe entwickelten Holzbauweise für den Maschinenbau, wird die tragende Anwendung von Holzwerkstoffen innerhalb der Fördertechnik der Automobilfertigung aufgezeigt. Am Beispiel von Skidfördertechnik aus WVC (Wood Veneer Composite) bei der Volkswagen AG in Wolfsburg, wird der Transfer von Forschungsergebnissen thematisiert. Dabei wird die Entwicklung und Umsetzung verschiedener Skidförderer in Holzbauweise bis zur Serienanwendung dargestellt. Die Schwerpunkte der Darstellung sind ausgewählte, konstruktiv relevante Aspekte und ein Vergleich zu den tradierten metallischen Bauweisen.

**Schlüsselwörter:** Skidfördertechnik, Automobilproduktion, Maschinenbau, Holzwerkstoffe, WVC (Wood Veneer Composite)

## Einleitung

Die Fördertechnik in der Automobilfertigung ist ein Teilgebiet der Intralogistik. Der innerbetriebliche Materialfluss zum Transport von Gütern wird mit verschiedenen Arten von Fördersystemen umgesetzt. Sehr häufig werden Stetigfördersysteme, wie Rollenbahnen verwendet. PKW-Karosserien werden auf Werkstückträgern, den Skids, mittels Rollenbahn, dem Skidförderer bewegt.

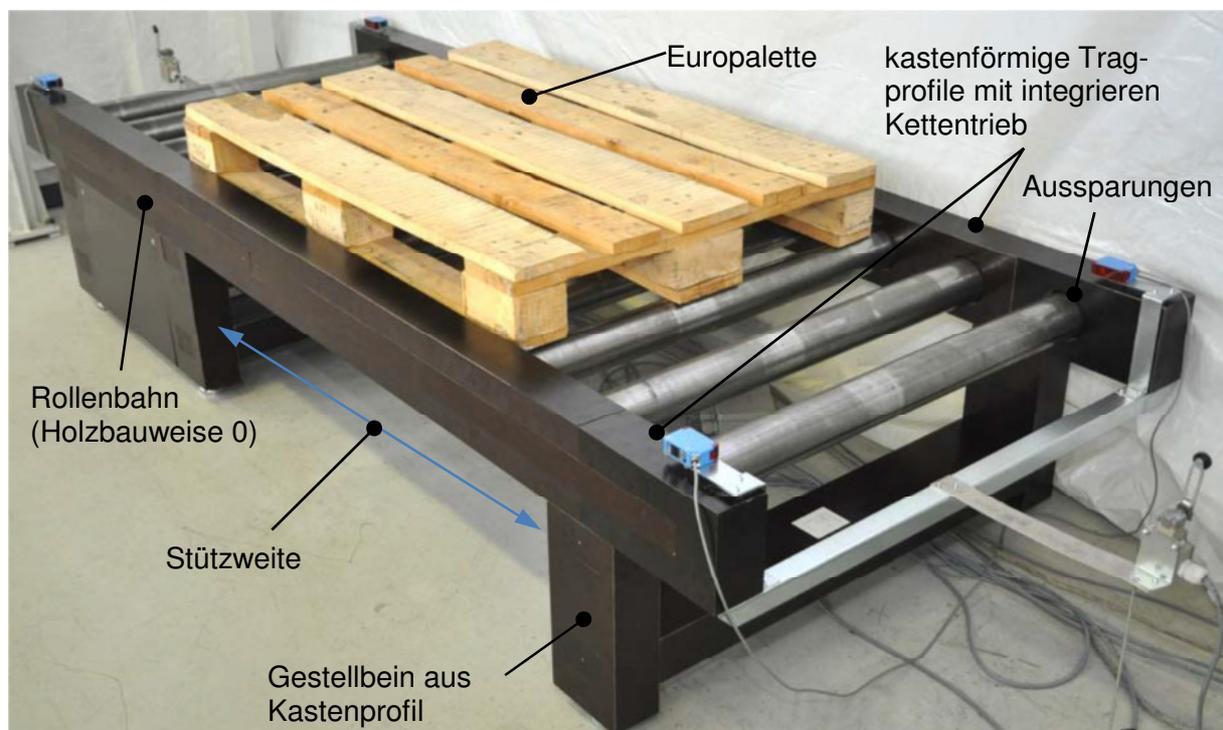
Der aktuelle Einsatz von Holz im Maschinenbau ist von vielen Vorurteilen bzw. sehr viel Skepsis und Zurückhaltung begleitet. Um diesen Vorbehalten zu begegnen, wurde ein Konzept zur technischen Nutzung von Holz in aktuellen, modernen Industrieanwendungen erarbeitet. Dessen Ziel ist es, den bionisch optimierten, anisotropen, porösen Leichtbauwerkstoff Holz so einzusetzen, dass dessen Stärken vorteilhaft genutzt werden. Für die Fördertechnik wird

dieses Konzept mit der sogenannten „Grünen Fördertechnik“ oder „Green Logistics“ beschrieben und in der Green Logistics Plant (GLP) veranschaulicht. Die Grundidee bei dem Konzept der GLP ist eine energie- und ressourceneffiziente Bauweise, die durch einen technischen Mehrwert ergänzt wird und dabei wirtschaftlich rentabel ist. (Eichhorn et al., 2012b) Der Vergleich erfolgt zu herkömmlichen, etablierten, metallischen Bauweisen. Der technische Mehrwert kann z. B. durch Massereduktion und Geräuschdämpfung ausgefüllt werden. (Eichhorn et al., 2012a) Das Konzept der GLP kann auf beliebige Anwendungen im Maschinen- und Anlagenbau übertragen werden.

## Entwicklung von Skidfördertechnik aus Holzwerkstoffen

### Basis der Entwicklung

Die Basis der Entwicklung bildet das Konzept der Green Logistics Plant (GLP) und des darin enthaltene modulare Baukastensystem. Dieses besteht aus für den Maschinenbau geeigneten Holzwerkstoffen (z. B. als plattenförmige Halbzeuge), Verbindungstechniken (z. B. Schrauben, Inserts), einfachen Strukturelementen (z. B. Kastenprofilen) und dem Wissen, diese einzelnen Teile in einer integrativen Strukturleichtbauweise vorteilhaft zu kombinieren.



**Abb. I-1:** Prototyp Stetigfördersystem Rollenbahn (Bauweise 0) aus WVC (Eichhorn, 2010, S. 91)

Aus geeignetem WVC (Wood Veneer Composite) wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes die Bauweise (Holzbauweise 0) für ein Stetigfördersystem entwickelt und erprobt. Abb. I-1 zeigt ein Modul des zum Transport von Europaletten konzipierten Prototyps einer Rollenbahn. Der Antrieb der Tragrollen ist in die kastenförmigen Tragprofile integriert. Die Tragprofile enthalten deshalb Aussparungen. Alle anderen Gestellelemente (z. B. Gestellbeine) sind aus einfachen Kastenprofil gefertigt. Die Grundlagen der Auslegung des Gestells sind für die Verbindungsstellen in Eckardt, 2013 und für die Strukturelemente in Eichhorn, 2013 dargestellt.

## **Entwicklung: Ziele, Schritte, Schwerpunkte**

### **Entwicklungsziele**

Primäres Ziel war der Forschungstransfer von Holzbauweisen in die Serienanwendung der industriellen Praxis. Damit wurde ein erster Schritt zur Realisierung der GLP angestrebt. Es sollte gezeigt werden, dass geeignete Holzwerkstoffe, in vorteilhaften Holzbauweisen moderne und konkurrenzfähige integrative Leichtbaulösungen ermöglichen. Folgende Punkte wurden im Vergleich zu den metallischen Bauweisen aus Baustahl S235JR für die Holzbauweise angestrebt: Kostenvorteil (in vergleichbarer Großserie), Massereduzierung, erhöhte Montagefreundlichkeit, reduzierter Wartungsaufwand, reduzierte Schwingungs- und Geräuschemissionen, ökologischer Bonus (geringeres CO<sub>2</sub>-Äquivalent, geringerer Energieaufwand) in der Herstellung und eine mindestens vergleichbare Zuverlässigkeit im Dauerbetrieb.

### **Entwicklungsschritte**

Bei der Entwicklung des Skidfördersystems wurde im ersten Schritt die Bauweise der Rollenbahn des Forschungsprojektes (Holzbauweise 0) so verändert, dass geometrisch vergleichbare Funktionsmaße zum Skidförderer aus Baustahl resultierten (Stahlbauweise 1). Dadurch wird ein schneller Austausch einzelner Fördermodule im innerbetrieblichen Materialfluss ermöglicht. Abb. I-2 zeigt die aus fünf Einzelmodulen umgesetzte Prototypenstrecke der Holzbauweise 1 im VW Werk Wolfsburg.

Die Holzbauweise 0 wurde dafür zur Holzbauweise 1 weiterentwickelt. Durch die Einzelmodule wurde ein Förderstrang mit ca. 30 m Förderstrecke in einem Pufferspeicher realisiert. Die Prototypenstrecke ist seit 02/2013 im Betrieb. Auf

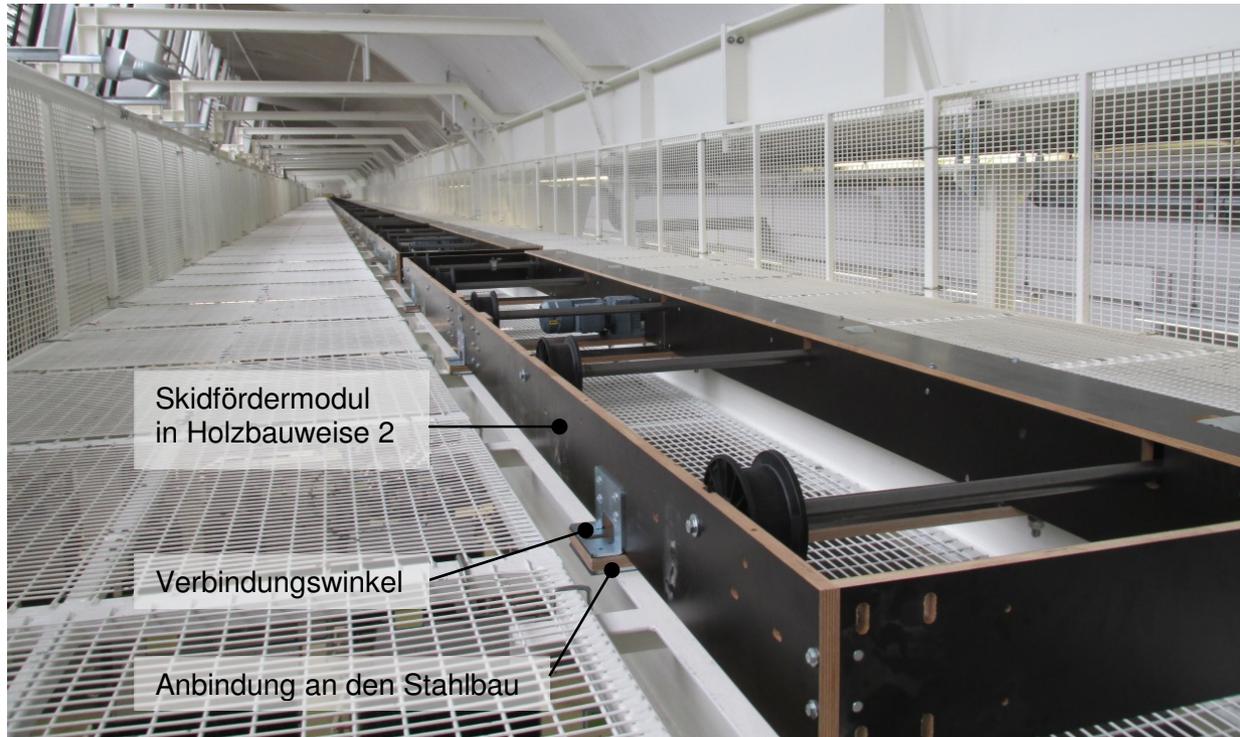
ihr werden Skids mit PKW-Karosserien in eine Förderrichtung transportiert. Skidfördermodule in Stahlbauweise 1 laufen parallel. Dadurch kann ein Vergleich der Bauweisen im laufenden Betrieb erfolgen. Für den Fall, dass Funktionsstörungen an den Skidfördermodulen in Holzbauweise auftreten wird der Förderstrang I außer Betrieb genommen. Der Pufferspeicher ist somit eingeschränkt weiter nutzbar. Der Antriebsstrang des Skidförderers (Motor, Zahnriemen, Tragachsen) wurde identisch zur Stahlbauweise ausgeführt.



**Abb. I-2:** Prototypenstrecke Skidförderer aus WVC (Holzbauweise 1), Transport von PKW-Karosserien in einem Pufferspeicher des VW Werkes Wolfsburg (VW AG aus Eichhorn, 2015, S. 9)

In einem zweiten Schritt wurde die Holzbauweise 1 weiterentwickelt und dabei an eine bestehende niedrigere Bauhöhe der Skidförderermodule in Stahlbauweise 2 angepasst. Es resultieren Skidförderer in Holzbauweise 2. Diese wurden in einer Kleinserie von 49 Stück produziert und als ca. 250 m lange „Direktläuferstrecke“ in mehreren Teilabschnitten im VW Werk Wolfsburg umgesetzt. Es wurden erhöhte Brandschutzbestimmungen beachtet, indem ein schwerentflammbarer B1 Holzwerkstoff zum Einsatz kam. Die Anlage ist seit 01/2016 im Betrieb. Auf ihr werden Skids mit PKW-Karosserien und Skidstapel in

beide Förderrichtungen (Reversierbetrieb) transportiert. Aufgrund der notwendigen, hundertprozentigen Verfügbarkeit, ist eine hohe Zuverlässigkeit der Holzbauweise besonders wichtig. Abb. I-3 zeigt den Montagezustand der Teilstrecke 1 Stand: 07/2015 vor der Inbetriebnahme. Die „Direktläuferstrecke“ wurde als Teil eines konventionellen Projektes im Industriemaßstab umgesetzt.



**Abb. I-3:** Serieneinsatz Skidförderer aus WVC (Bauweise 2) in einer Kleinserie als „Direktläuferstrecke“, Transport von PKW-Karosserien und Skidstapel über der KFZ-Montage des VW Werkes Wolfsburg, Montagezustand der Teilstrecke 1 Stand: 07/2015 (Bild: VW AG)

## Entwicklungsschwerpunkte

### 1. Allgemeines Vorgehen

Es existiert keine Norm oder Richtlinie, die für Bauweisen aus Holz im Maschinenbau angewendet werden muss. Die Richtlinie des konstruktiven Ingenieurholzbau, der Eurocode 5 (EC 5, DIN EN 1995-1-1, 2010) gilt für das Bauwesen. Durch seine Verwendung sind Leichtbaulösungen für den Maschinenbau nicht pauschal umsetzbar, weil sehr konventionelle Annahmen für die Sicherheit getroffen werden. Der EC 5 beinhaltet keine für den Maschinenbau nutzbare Analyse der Materialermüdung durch zyklische, schwingende, dynamische Beanspruchung. Der im EC 5 Teil für Brücken (DIN EN 1995-2, 2010, S 27- 29) informativ angegebene Nachweis ist zu ungenau. Aufbauend auf

dem Stand der Technik (z. B. EC 5) wurde ein spezielles Vorgehen (Berechnung, Konstruktion) in Vorbereitung des Forschungstransfers erarbeitet und parallel dazu die Holzbauweise entwickelt. Die Berechnungen wurden, soweit möglich, versuchsgestützt vereinfacht. Nachfolgend sind die wichtigsten Entwicklungsschwerpunkte der Holzbauweisen kurz dargestellt.

## **2. Konstruktion**

Bei der Konstruktion wurde schrittweise das beim Maschinenbauingenieur als k.i.s.s (keep it smart & simpel) bekannte Konstruktionsprinzip verfolgt. Auf Basis des modularen Baukastensystems und unter Anwendung des konstruktiven Strukturleichtbaus wurden die Bauweisen erarbeitet. Durch realistische Lastannahmen, den Kenntnissen zum Ermüdungsverhalten des Werkstoffes und dem Langzeitverhalten der Verbindungstechnik wurde in Summe eine Massereduzierung bei gleicher oder gesteigerter Belastung umgesetzt und die Holzbauweise vereinfacht. Vereinfachung meint eine Reduzierung der Anzahl der Einzelteile (Strukturbauteile, Verbindungsmittel) sowie deren Komplexität und Vielfalt (z. B. Verwendung eines Holzwerkstoffes).

## **3. Werkstoffauswahl**

Kriterien für die Eignung der Holzwerkstoffe sind in Eichhorn et al., 2015 ab S. 19 ausführlich dargestellt bzw. werden in Weber, 2016 auf dem 17. Holztechnologischen Kolloquium präsentiert. Hauptkriterium ist der kostengünstige Leichtbau. Dieser wird durch relevante, spezifisch-mechanische Kennwerte (Biegefestigkeit / Werkstoffdichte = spezifische Biegefestigkeit, Biege-E-Modul / Werkstoffdichte = spezifischer Biege-E-Modul) bezogen auf die Werkstoffkosten bestimmt. Beim Vergleich zu Metallen (z. B. Baustahl S235JR) ist zu beachten, dass das Verhältnis  $\text{Biege-E-Modul} / \text{Werkstoffdichte}$  mit  $210.000 \text{ N/mm}^2 / 7850 \text{ kg/m}^3 = 26752 \text{ Nm}^3/\text{kgmm}^2$  einen vergleichsweise hohen, schwer zu erreichenden Grenzwert für Holzwerkstoffe markiert. Bei einer Werkstoffdichte von  $1000 \text{ kg/m}^3$  entspricht dies für eine vergleichbare Leistungsfähigkeit zu Baustahl einem Biege-E-Modul von  $26752 \text{ N/mm}^2$ . Holzwerkstoffe haben häufig Vorteile bei der spezifischen Festigkeit.

Für das Verbindungsverhalten sind die Druckfestigkeit bis zu einer festgelegten Stauchung und der Druck-E-Modul relevante mechanische Kennwerte.

Ein weiteres Kriterium sind geringe Streuungen (geringer Variationskoeffizient) aller für die Bewertung verwendeten, relevanten mechanischen Werkstoffkennwerte. Die Werkstoffgruppe WVC bietet geeignete Holzwerkstoffe. Für alle drei Holzbauweisen (0 - 2) wurde ein WVC in Form von 20 mm dickem,

15-lagigem, osteuropäischen Birkensperrholz genutzt. Alle Bauweisen sind alternativ als schwerentflammbar (B1) ausführbar. Im Serieneinsatz der „Direktläuferstrecke“ wurde dies als Variante innerhalb der Holzbauweise 2 realisiert (vgl. Abb. I-3).

#### 4. Strukturbauteile des Holzgestells

Ein wichtiger Lastfall bei der Auslegung der Strukturbauteile des Holzgestells ist die schwellende Biegung mit Querkraftanteil (z. B. Dreipunktbiegung). Die Seitenwange ist das größte und wichtigste Strukturelement des Holzgestells. Deren Auslegung erfolgte nach Biegesteifigkeit und kritischer Verformung unter schwellender Dreipunktbiegung. Die Biegesteifigkeit  $EI$  als Produkt des Biege-E-Moduls  $E$  und des Flächenträgheitsmomentes  $I$  bietet die Möglichkeit, bei entsprechend verfügbarem Bauraum durch Erhöhung von  $I$  den Nachteil des absolut niedrigeren Biege-E-Moduls  $E$  gegenüber Metallen (z. B. Baustahl S235JR) auszugleichen. Aus Ashby, 2007 sind Ausführungen bekannt, die mittels „Designgerade“ die spezifischen Analysen zu Werkstoffen (E-Modul / Werkstoffdichte = spezifischer E-Modul) in eine speziellen Lastfall (z. B. Biegung) übertragen. Es kann graphisch in einem Diagramm E-Modul über Werkstoffdichte sehr schnell ermittelt werden, inwieweit ein Werkstoff Vorteile bietet. Für einen Balken unter Biegebeanspruchung resultiert zur Ermittlung der minimalen Bauteilmasse ein Verhältnis Biege-E-Modul  $E^{1/2}$  / Werkstoffdichte. Die „Designgerade“ im Diagramm hat dadurch eine veränderte Steigung. Für einige Holzwerkstoffe resultieren dadurch Vorteile gegenüber metallischen Werkstoffen. Einschränkungen dieser Analyse bestehen, weil Schubeinflüsse (Querkraftanteil) bzw. Stabilitätsprobleme (Knicken, Beulen) vernachlässigt werden und eine ideale Lasteinleitung in das Bauteil angenommen wird. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass ausreichend Bauraum für die Vergrößerung der Geometrie verfügbar ist. Im Konstruktionsprozess muss deshalb bei jedem Bauteil konkret geprüft werden, in welcher Größenordnung eine Masseinsparung mit Holzwerkstoffen realisiert werden kann.

Die Seitenwange wurde nach kritischer Verformung mittels Grenzverhältnis für Materialermüdung  $GV_{fat}$  nach Gleichung 1 ausgelegt.

$$GV_{fat} = \frac{\text{Stützweite } l}{\text{Verformung } u_{fat}} \geq 150 \text{ in mm/mm (1)}$$

Dieses Grenzverhältnis  $GV_{fat}$  wurde festgelegt. Erstens auf Basis von Ermüdungsversuchen unter schwellender Dreipunktbiegung bei einer Prüffrequenz von 5 Hz bis  $1e7$  Lastwechsel (vgl. Eichhorn et al., 2015 ab S. 94) für das Bir-

kensperrholz. Zweitens auf Basis des im Eurocode 5 (vgl. DIN EN 1995-1-1, S 58) vorgeschlagenen Grenzwerten für die Durchbiegung von Biegestäben (Grenzen der Gebrauchstauglichkeit). Dadurch resultieren drei wesentliche Vorteile. Erstens – die Verformungsgrenze wird versuchsgestützt abgeleitet. Zweitens – die Auslegung der Seitenwange erfolgt vergleichsweise einfach nach Ermüdungskriterien. Ein gesonderter statischer Nachweis kann deshalb entfallen. Drittens – der Ansatz des Grenzverhältnisses  $GV_{fat}$  impliziert, dass für Verformungen  $u_{fat} \leq \text{Stützweite } l / 150$  bis  $1e7$  Lastwechsel der E-Modul unverändert bleibt und keine Materialermüdung auftritt. Diese Verformungsgrenze entspricht, in eine Spannung übertragen, dem Grenzwert der „Dauerschwingfestigkeit“ im Maschinenbau, die der Werkstoff „unendlich oft“, ohne Bruch und unzulässige Verformung erträgt.

Weiterhin kann, durch Einbinden des EC 5 („Grenze der Gebrauchstauglichkeit“), mit einer richtlinienbasierten Auslegung argumentiert werden, wenn dies für die konkrete Praxisanwendung gefordert wird.

## **5. Verbindungstechnik**

Bei der Verbindungstechnik wurden gleitfest vorgespannte Schraubverbindungen (GV) als Durchsteck- und als Insertverbindung sowie Scherlochleibungsverbindungen (SL) mit Bolzen verwendet.

Die Anbindung der Skidförderer in Holzbauweise am vorhandenen Stahlbau der Fertigungsanlage erfolgte jeweils über den direkten Kontakt Stahl - Stahl, um eine in der Praxis etablierte Schnittstelle zu verwenden.

Bei der Verwendung von GV-Verbindungen mit Holzwerkstoffen ist zu beachten, dass die Vorspannkräfte in Anhängigkeit der Zeit absinken und in Abhängigkeit des Klimas, vordergründig der Holzfeuchte, schwanken. Weiterhin sind die für den Stahlbau bekannten Anziehungsmomente für GV-Verbindungen nicht direkt auf Verbindungsstellen mit Holzwerkstoffen übertragbar. Die konkrete Gestaltung der GV-Verbindungsstelle war von entscheidender Bedeutung.

## **6. Brandschutz**

Beim Brandschutz wird in Entflammbarkeit, Brandlast und Feuerwiderstandsdauer unterschieden. Die Regelungen zum Brandschutz unterliegen den einzelnen Bundesländern (Landesbauordnung, LBauO). Der Brandschutzbeauftragte des Anwenders entwickelt ein Brandschutzkonzept auf Basis der LBauO und der konkreten Brandschutzversicherung für das Objekt. Wichtige Punkte bei der Umsetzung der Skidfördertechnik in Wolfsburg waren die Entflammbarkeit nach DIN 4102-1 und die Brandlast nach DIN 18230-1. Die Brandlast

lässt sich wie in Gleichung 2 dargestellt ermitteln. Sie beinhaltet die Summe aller Einzelbrandlasten der brennbaren Materialien innerhalb eines Brandbekämpfungsabschnittes. Aus Gleichung 2 wird deutlich, dass die Werkstoffmasse und die Fläche des Brandbekämpfungsabschnittes einen großen Einfluss auf die Brandlast haben. Leichtbauweisen minimieren die Brandlast.

$$\text{Brandlast} = \frac{\sum(\text{Werkstoffmasse} \times \text{Heizwert} \times \text{Abbrandfaktor} \times \text{Kombinationsbeiwert})}{\text{Fläche des Brandbekämpfungsabschnittes}} \text{ in kWh/m}^2$$

(2)

## 7. Ökologie

Die ökologische Bewertung der Skidfördersysteme wurde für die Holzbauweise 1 (vgl. Abb. I-2) im Vergleich zur Stahlbauweise 1 auf Basis der Produktion pro 1 kg Werkstoff durchgeführt. Aufbauend auf Sekundärdaten wurden Mittelwerte der Werkstoffe in den Wirkungskategorien Treibhauspotenzial (CO<sub>2</sub>-Äquivalent) und Primärenergieaufwand bestimmt. Die Übertragung in die Bauweise erfolgte über die Werkstoffmasse (vgl. Feig und Eichhorn, 2015 a und b). Unterschiede in der Fertigung der Bauweisen bleiben unberücksichtigt. Die einfache Bearbeitbarkeit von Holzwerkstoffen generiert somit keine Vorteile. In Summe wird bei der Bewertung davon ausgegangen, dass der ökologische Vorteil der Bauweise aus Holz tendenziell unterschätzt wird.

## Vergleich der Gestellbauweisen der Skidfördersysteme

Tab. I-1 zeigt einen Vergleich der drei Holzbauweisen 0 bis 2. Als Basis wird die Holzbauweise 0 (Prototyp, Forschungsprojekt = 100%) gewählt. Es wird deutlich, dass die technische Leistungsfähigkeit (maximale Belastbarkeit, Modullänge, Stützweite der Seitenwange) der Holzgestelle deutlich gesteigert und dabei schrittweise die Struktur besser ausgenutzt wurde (vgl. Flächenträgheitsmoment des kritischen Querschnittes der Seitenwange). Die Masseerhöhung des Holzgestells ist vergleichsweise gering. Der Hauptanteil der Massenerhöhung der Gestelle der Holzbauweise 1 und 2 ist auf den gesteigerten Einsatz von Metallteilen für Verbindungsmittel (Schrauben, Verbindungswinkel) und die Anbindung an den Stahlbau zurückzuführen (vgl. Abb. I-3). Die um ca. 13% höhere Dichte des verwendeten B1-Holzwerkstoffes erhöht zudem die Masse.

Die Masse der Holzbauweise 1 beträgt ca. 52% der Masse der Stahlbauweise 1, exklusive aller identischen Bauteile (Motor, Tragachsen, Anbindung an den Stahlbau usw.). Die Masse der Holzbauweise 2 beträgt ca. 42% der Masse

der Stahlbauweise 2. Wird die Holzbauweise 2 in B1-Werkstoff umgesetzt steigt deren Masse auf ca. 48% im Vergleich zur Stahlbauweise 2.

**Tab. I-1: Normierter Vergleich der verschiedenen Holzbauweisen 0 bis 2**

<b>Merkmal / Bauweise</b>	Holzbauweise 0	Holzbauweise 1	Holzbauweise 2	
Entflammbarkeitsklasse		B2		B1
maximale Belastbarkeit	100%	180%		
Modullänge		192%		
Stützweite der Seitenwange		128%		
Flächenträgheitsmoment des kritischen Querschnittes der Seitenwange		142%	42%	
Masse des Holzgestells (ohne Motor, Rollen) incl. Metallteile		111%	108%	123%
Masse verbautes WVC		113%	87%	99%
Masse der Metallteile		233%	443%	

Die ökologische Bewertung der Gestelle der Skidförderer erfolgte für die Holzbauweise 1 in Vergleich zur Stahlbauweise 1 auf Basis der Ausführungen im Punkt Entwicklungsschwerpunkte 7. Ökologie. Es wurden zwei Szenarien unterschieden. In Szenario S1 wurde mit maximalen Vorteile für den Holzwerkstoff kalkuliert (vgl. Feig K, Eichhorn S (2015b), Tab. 3). In Szenario S2 wurden maximale Vorteile für den verwendeten Stahl angenommen (vgl. Feig K, Eichhorn S (2015b), Tab. 4). Aus Tab. I-2 wird deutlich, dass auch in Szenario S2 noch Vorteile für den Holzwerkstoff bestehen. Der ökologische Vorteil der Holzbauweise 1 wird durch beide Szenarien verdeutlicht.

**Tab. I-2: Ökologischer Vergleich der Gestelle in Holz- und Stahlbauweise**

<b>Bauweise / Wirkungskategorie</b>	Primärenergiebedarf		Treibhauspotenzial	
Szenario	S1	S2	S1	S2
Stahlbauweise 1 (Masse: 100%)	100%			
Holzbauweise 1 (Masse: 52%)	23%	74%	8%	38%

Die Holzbauweise 2 ist als Kleinserie in der schwerentflammbaren B1 Ausführung preislich vergleichbar mit der Stahlbauweise 2 aus deutscher Massenproduktion. Gegenüber osteuropäischer Massenproduktion existieren Kostennachteile von ca. 100%. Der B1-Holzwerkstoff ist um ca. 100% bis 150% teurer als ein vergleichbarer B2-Holzwerkstoff. Seine praktische Verfügbarkeit bleibt zudem hinter den Versprechen der Holzwerkstoffindustrie zurück. Eine erhöhte Montagefreundlichkeit ist durch die im Vergleich zur Stahlvariante reduzierte Masse gegeben. Die Förderer können leicht modulweise oder in Einzelteilen auf dem Stahlbau montiert werden. Reduzierte Geräuschemissionen der Holzbauweisen sind im Vergleich zu den Stahlbauweisen wahrnehmbar. Die Stahlgestelle verformen sich bei Temperaturänderungen, der Skid springt aus der Führung und der Förderprozess stoppt. Der reduzierte Wartungsaufwand ist z. B. durch eine reduzierte Temperaturdehnung der Holzgestelle gegeben. Dadurch wird auch die Zuverlässigkeit der Skidförderstrecke erhöht.

## Zusammenfassung und Ausblick

Es wurden die wesentlichen Punkte bei der Entwicklung von Skidfördertechnik aus Holzwerkstoffen für die Automobilproduktion aufgezeigt und die Holzbauweisen untereinander und mit den entsprechenden Stahlbauweisen verglichen. Es resultieren teilweise sehr deutliche Vorteile der Holzbauweisen. Der aktuell größte Nachteil der Holzbauweisen, sind die vergleichsweise hohen Kosten im Vergleich zur Stahlbauweisen aus osteuropäischer Produktion. Die Stahlbauweisen der Skidförderer sind über Jahrzehnte kostenseitig und fertigungstechnisch optimiert. Durch eine konstruktive Weiterentwicklung der Holzbauweisen ist eine Kostenreduzierung bei deren Herstellung realistisch. Eine Erweiterung der ökologischen Bewertung auf die Holzbauweise 2 und andere ökologische Wirkungskategorien ist geplant.

## Quellen

Ashby, M. F. (2007) Materials Selection in Mechanical Design: Das Original mit Übersetzungshilfen, Das Original mit Übersetzungshilfen. Easy-Reading-Ausgabe zur 3. Edition., S. 89 - 97

DIN EN 1995-1-1, Eurocode 5 (2010) Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau

DIN EN 1995-2, Eurocode 5 (2004) Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 2: Brücken

DIN 4102-1 (1998) Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

DIN 18230-1 (2010) Baulicher Brandschutz im Industriebau - Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer, S. 16

Eckardt R (2013) Untersuchungen an Verbindungselementen für Holzkonstruktionen im Maschinen- und Anlagenbau, Dissertation,

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-106287>

Eichhorn, S. Eckardt, R. Müller, C. (2012a): Integrative Bauweisen mit Holzfurnierlagenverbundwerkstoff (WVC) für den Maschinen- und Anlagenbau; holztechnologie, Ausgabe 3/2012, S. 10 - 16

Eichhorn S (2013) Berechnungsansatz für Strukturbauteile aus Holzfurnierlagenverbundwerkstoff– WVC, Dissertation,

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-106007>

Eichhorn, S. Eckardt, R Müller, C (2010) Schwingungs- und geräuschkämpfende Leichtbauelemente im Maschinenbau auf Basis von Konstruktionswerkstoffen aus Holz, Abschlussbericht Forschungsprojekt,

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-201000990>

Eichhorn, S Rasch, F Eckardt, R Sumpf, J Nendel, K (2012b) Nachhaltigkeit und Energieeffizienz in der Intra-logistik durch neue Systemkomponenten Tagungsband "Intelligent vernetzte Arbeits- und Fabriksysteme - VPP2012 - Vernetzt planen und Produzieren & Symposium Wissenschaft und Praxis", S. 239-248, ISSN 0947-2495,

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-99946>

Eichhorn, S Weber, A Feig, K Müller, C Krug, D (2015) Entwicklung von Qualitätshilfsmitteln aus Spezialholzwerkstoffen für Anwendungen im Maschinenbau und in der Fördertechnik, Abschlussbericht Forschungsprojekt,

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-188704>

Weber, A Eichhorn, S Krug, D Müller, S Feig, K (2016) Holzwerkstoffe für tragende Anwendungen im Maschinenbau, 17. HTK, Dresden

Feig, K Eichhorn, S (2015a) Partieller ökologischer Werkstoffvergleich von Holzwerkstoffen und metallischen Konstruktionswerkstoffen, Teil 1, holztechnologie; 02/2015, S. 37 - 42

Feig, K Eichhorn, S (2015b) Partieller ökologischer Werkstoffvergleich am Praxisbeispiel eines Skidfördersystems, holztechnologie, 03/2015, S. 44 – 48