

**Langfassung zum Fachvortrag auf dem
8. Internationalen Symposium „Werkstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen“
Sektion 4 “Holzwerkstoffe“, 10.09.2010, 11:00 Uhr**

Titel:

"Konstruktion und Erprobung modularer Maschinengestelle aus Holzfurnierlagenverbundwerkstoff (WVC)"

Autoren:

Dipl.-Ing. Ronny Eckardt / Dipl.-Ing. Sven Eichhorn
Professur Fördertechnik, Institut für Fördertechnik und Kunststoffe, Fakultät für Maschinenbau, Technische Universität Chemnitz

Kontakt:

ronny.eckardt@mb.tu-chemnitz.de
sven.eichhorn@mb.tu-chemnitz.de

Kurzfassung:

Durch die Entwicklung der vorgestellten modularen Bauweise ist es möglich, Maschinengestelle aus Holzfurnierlagenverbundwerkstoff (WVC) einfach herzustellen und technisch sinnvoll einzusetzen. Die modulare Bauweise kann sowohl für statische als auch dynamische Beanspruchungen im Allgemeinen Maschinenbau angewendet werden. In einem Baukastensystem werden Maschinenteile aus WVC durch geeignete Verbindungsmittel lösbar zusammengesetzt. Damit ist es möglich, eine hohe Flexibilität in der späteren Nutzung mit einer hohen Variantenvielfalt des Aufbaus durch entsprechend verschiedene Bauteile zu kombinieren.

Im Vortrag werden die verschiedenen Belastungen des Holzverbundes im Maschinenaufbau charakterisiert und auf Probleme bei der Konstruktion eingegangen. Abschließend werden Ergebnisse zu Daueruntersuchungen der Verbindungstechnik und des gesamten Maschinenaufbaus vorgestellt und diskutiert.

Abstract:

The development of the presented modular construction allows to manufacture wood veneer composite (WVC) machine racks easily in a technical reasonable way. The modular construction can be used for both static and dynamic loading conditions in mechanical engineering. In the modular construction system the WVC machine components are connected detachable with adequate fasteners. This leads to high flexibility during the construction and assembly process of machine components. In the current presentation the different loading conditions of WVC profiles are characterized and the problems during construction described. Finally the results of the long term testing of the connection technique are presented and the complete machine system is discussed.

1. Motivation

Der Maschinen- und Anlagenbau stellt im Vergleich zu eher statisch dominierten Anwendungsbereichen wie beispielsweise dem Bauwesen höhere Anforderungen an Gestellsysteme, vor allem hinsichtlich auftretender dynamischer Beanspruchungen. Diesen Anforderungen wird nach derzeitigem Stand der Technik vorwiegend durch die Verwendung von Metallwerkstoffen Rechnung getragen (Aluminium im Niederlastbereich sowie bei eher geringeren Abmessungen; Baustahl bzw. legierte Stähle bei höheren Lasten bzw. größeren Abmessungen). Dieser Umstand resultiert aus den vergleichsweise hohen Festigkeits- und Steifigkeitswerten dieser Werkstoffe. Andersartige Systembelastungen, wie beispielsweise aggressive Umwelteinflüsse oder tribologische Belastungen, werden durch die bewusste Implementierung hoher Abnutzungsvorräte in die Gesamtstruktur kompensiert, wobei hier weder ökologische noch ökonomische Gesichtspunkte im Vordergrund stehen.

Die Verwendung von Holz bzw. Holzwerkstoffen bietet im Gegensatz dazu die Möglichkeit, in ausgewählten Teilbereichen des Maschinen- und Anlagenbaus zumindest eine Teilsubstitution dieser Metallwerkstoffe vorzunehmen. Vor allem im Bereich der Grundstoff- und Kaliindustrie stellen Holzwerkstoffe sinnvolle Alternativen zu Metall dar, da aggressive Güter bzw. Umgebungsbedingungen deutlich besser kompensiert werden können. Weiterhin stellt Holz als nachwachsender Rohstoff, neben seinen guten spezifisch-mechanischen Eigenschaften (mechanische Festigkeiten / Steifigkeiten bezogen auf die Dichte), auch ökonomisch sowie ökologisch eine sinnvolle Alternative dar¹. Diese Zielstellung setzt allerdings voraus, dass das unter statischen Gesichtspunkten erforschte Gebiet der Holzwerkstoffe (Anwendungen im Bauwesen) um dynamische Betrachtungen erweitert wird. Gestelle und Gestellsysteme, die eine reine Tragfunktion unter statischer bzw. quasistatischer Last haben, sind in der Technik bekannt (Ingenieurholzbau). Eine Erweiterung dieses Anwendungsspektrums auf dynamisch belastete Anwendungen ist jedoch nicht ohne weiteres möglich.

2. Ausgangspunkt

Grundlage des hier vorgestellten Systems bildet ein rechteckig ausgeführtes Hohlkammerprofil (Vgl. dazu mit Bild 1) auf Basis plattenförmiger Halbzeuge. Als Material wird ein Holzurnierlagenverbundwerkstoff (WVC²) verwendet, wobei über die Einzellage bzw. deren Ausrichtung eine Eigenschaftsteuerung des Profilkörpers möglich ist. Das Profil ist in sich verklebt (D4 nach DIN EN 204) und mittels einer speziellen Eckverbindung ausgeführt. Üblicherweise ist die Hauptbelastung dieser Träger Biegung, dementsprechend erfolgt auch die Auslegung. Sollen nun die im Maschinenbau- und Anlagenbau traditionellen Metallwerkstoffe zumindest teilsubstituiert werden, muss bei der Verwendung von Holzwerkstoffen die Anisotropie des Werkstoffs in die Betrachtungen einbezogen werden. Unter diesem Gesichtspunkt wird dem Werkstoff Holz sehr viel Skepsis entgegengebracht, da in der Auslegungphase ein erhöhter Betrachtungsaufwand vorliegt.

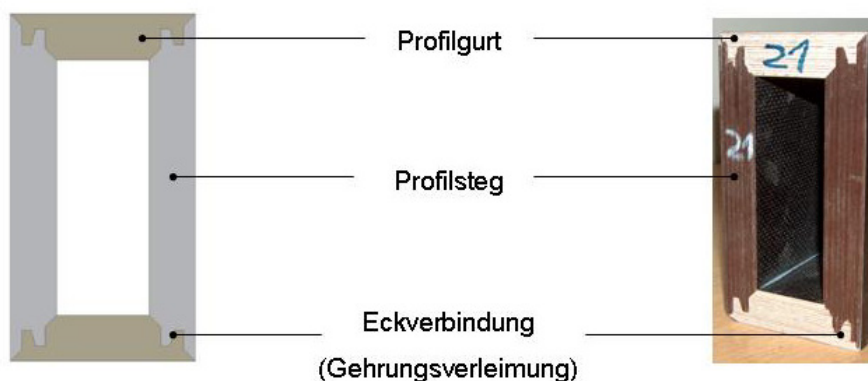


Bild 1: Querschnitt des Grundprofils

Eine der Hauptanforderungen für Gestellsysteme im Maschinen- und Anlagenbau ist die modulare Anwendbarkeit dieser im Einsatzfall. Deshalb sind beim Gestellaufbau lösbare Verbindungsarten solchen, die nicht zerstörungsfrei lösbar sind, prinzipiell vorzuziehen (stoffschlüssige Verbindungen, beispielsweise Kleben, der Strukturelemente eines Gestellsystems sind bezüglich der Modularität sehr unvorteilhaft). Lösbare Verbindungen sind im einfachsten Fall form- bzw. kraftschlüssig ausgeführt, beispielsweise durch Schraubverbindungen. Statische und dynamische Untersuchungen haben gezeigt, dass u.a. metallische Gewindeeinsätze diesem Anforderungsprofil gerecht werden.

3. Gestellumsetzung

Das beschriebene Grundprofil wird nun als Strukturelement unter Zuhilfenahme von metallischen Verbindungsmitteln (Gewindeeinsätze und Schrauben) in einem Gestellsystem angewendet (s. Bild 2).

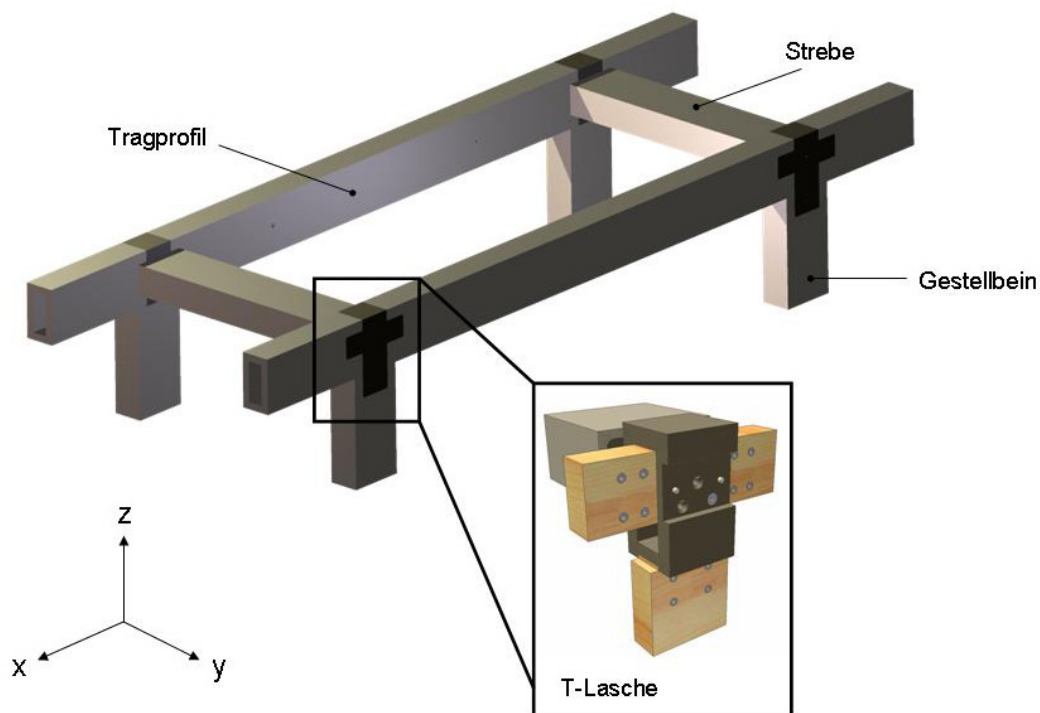


Bild 2: Gestellsystem

Die Verbindung der Einzelsegmente untereinander erfolgt im einfachsten Fall über eine T-Laschen-Verbindung, die eine Verschraubung der Träger untereinander ermöglicht. Das oben bereits beschriebene Grundprofil mit Rechteckquerschnitt findet sich als Wiederholteil in allen dargestellten Teilkomponenten - dem Hauptträger, den Gestellstreben sowie den Gestellbeinen - wieder. Auf den Anwendungsfall bezogen bedeutet dies jedoch, dass ein und dieselbe Profilstruktur auf sehr unterschiedliche Art und Weise belastet wird. Die Hauptlast des Gestells ist Biegung (um die y-Achse) infolge der wirkenden Gewichtskraft. Üblicherweise handelt es sich dabei um eine auf beide Hauptträger wirkende Flächenlast, im ungünstigsten Fall um eine trägermittig wirkende Einzelkraft (Dreipunktbiegung). Die Gestellbeine sind hauptsächlich auf Druck beansprucht, ab einer kritischen Höhe ist zusätzlich nachzuweisen, dass keine Knickung auftritt. Aber auch hier tritt eine Biegebeanspruchung auf, die in Form eines einseitig eingespannt Kragträgers modelliert werden kann (Biegung um die y-Achse bei Beschleunigungskräften in Richtung der Trägerachse bzw. Biegung um die x-Achse bei Querkräften). Die Gestellstreben dienen grundsätzlich zur Versteifung des gesamten Systems, ihre Hauptbelastung erfolgt auf Zug. Die in der Abbildung dargestellte T-Lasche bildet den Knotenpunkt des Gestells und ermöglicht die lösbare Verbindung der Einzelkomponenten über Schraubensets im Grundwerkstoff. Im Betriebszustand können die Einzellasten kaum losgelöst voneinander betrachtet werden, vielmehr findet eine Überlagerung selbiger statt. Problematisch erweist sich in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass die Verschraubungen im Laschenkörper nicht gemäß ihrer ausgelegten Hauptlastrichtung (Zug bei Verschraubung in Richtung der Stiftachse) beansprucht werden. Weiterhin muss beachtet werden, dass Holzwerkstoffe unter statischer Last zum Kriechen, d.h. zu einem Abfall der Vorspannkraft (zeitabhängige Zunahme der Formänderung unter konstanter Last³), neigen. Diese Erscheinung bewirkt im Wesentlichen eine Lockerung der Schraubverbindungen zwischen den Einzelkomponenten (Setzerscheinungen im Werkstoff). Konstruktiv kann das durch die Berücksichtigung möglichst großer Übertragungsflächen kompensiert werden, oder aber durch die Verwendung bereits vorverdichteter Holzwerkstoffe (beispielsweise Kunstharzpressholz).

4. Umsetzung der Bauweise

Das hinsichtlich seines Aufbaus sowie seiner Belastungen klassifizierte Gestell soll im Folgenden als Tragstruktur einer Transportmaschine in Form einer Rollenbahn näher erläutert werden. Die Anforderungen an das zu untersuchende Transportmodul orientieren sich am Gestellaufbau: die maximale angestrebte Förderlast beträgt 1.000 kg bei der maximalen Fördergeschwindigkeit von 0,5 m/s. Der Antrieb der Rollen erfolgt einseitig über eine Tangentialkette. Der Gesamtantrieb erfolgt gekapselt innerhalb der Struktur (geschlossene Bauweise, konstruktiver Korrosionsschutz der Metallteile). Auch die Rückführung der Antriebskette erfolgt innerhalb des Profils. Die Erprobung des Gestells erfolgte im Revierbetrieb, was eine zusätzliche dynamische Belastung selbigen nach sich zieht (Anfahr- und Abbremsvorgänge bedingen Beschleunigungskräfte in der x-Richtung, siehe Bild 3).

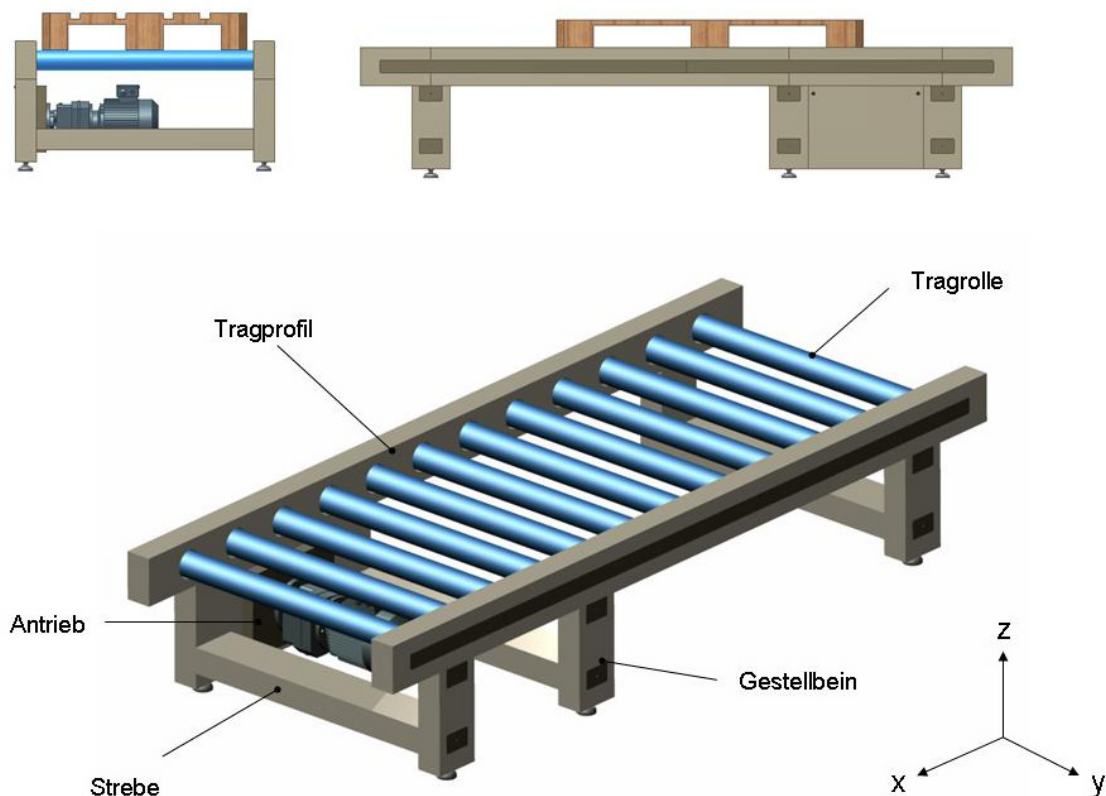


Bild 3: Rollenbahn

Aus konstruktiven Gründen war es zunächst erforderlich, den Profilquerschnitt des Hauptträgers zu modifizieren. Damit sollte eine Anbindung der Tragrollen unter Beibehaltung der geschlossenen Bauweise ermöglicht werden (Vgl. dazu mit Bild 4). Die Profilaußenabmaße wurden nicht verändert, wohingegen die Außenwandung verstärkt wurde. Dies hatte zwei Gründe: einerseits sollte so die verringerte Tragfähigkeit des inneren Gurtes, durch die Aussparung merklich verringert, kompensiert werden, andererseits wurde so die Möglichkeit der Strukturverstärkung mit Hilfe einer durchgängigen Lasche aus Kunstharzpressholz (Dichte: $1,4 \text{ g/cm}^3$) geschaffen. Dies war erforderlich, da die Lasteinleitung in diesem speziellen Anwendungsfall komplett über den so verstärkten Profilaußenbereich realisiert wird. Auf eine T-Lasche, wie oben beschrieben, konnte somit verzichtet werden.

Die im vorherigen Abschnitt angesprochene Problematik des Kriechens des Holzwerkstoffes wurde durch die Verwendung der Kunstharzpressholzschiene berücksichtigt. Die erforderliche Verspannung der Tragrollen im Gestell erfolgt auf diese Art und Weise großflächig und vor allem ohne zusätzliche Nachverdichtungen des Grundmaterials (Folge: deutlich verminderte Setzerscheinungen). Die Anbringung der Tragrollen erfolgt in Richtung der Rollenachse mittels Verschraubung in selbiger. Die hierfür verwendeten Senkkopfschrauben können mit Hilfe einer durchgängigen Schiene in der Außennut abgedeckt werden. Die Funktion der Gestellstreben wird im oberen Fördererteil durch die Tragrollen selbst übernommen, eine zusätzliche Verstrebung im Unterbereich ist zwar aufgrund der seitlichen Lasteinleitung empfehlenswert (Erhöhung der Gesamtsteifigkeit des Gestells), jedoch nicht zwingend erforderlich. Die Lasteinleitung in die äußere Profilstreife bedingt eine zusätzliche Systembelastung durch Torsion des Tragprofils um seine eigene Achse (x-Achse, siehe Bild 2).

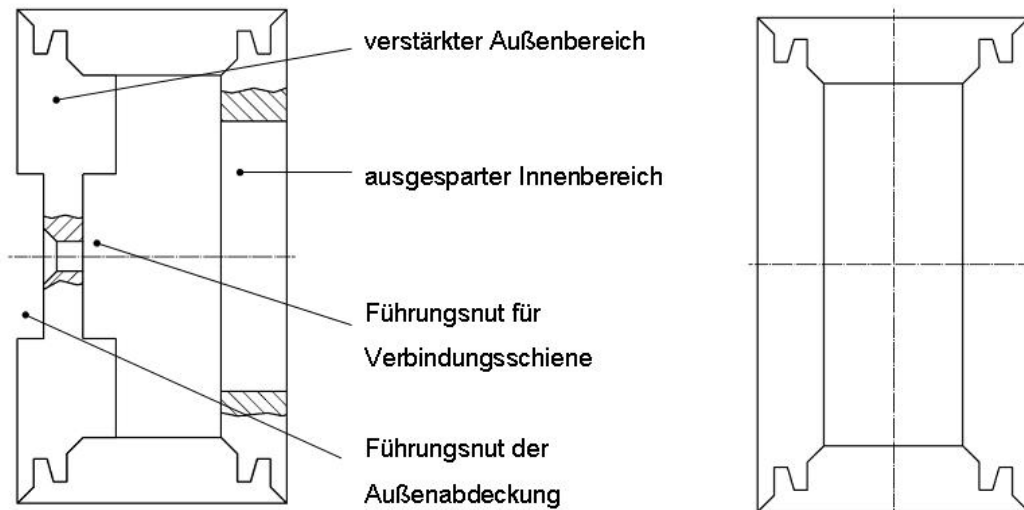


Bild 4: Modifiziertes Rollenbahnprofil und Grundprofil im Vergleich

Der Antrieb erfolgt durch einen Stirnradgetriebemotor in Form eines so genannten Omega-Antriebes (alternativ dazu ist auch ein Kopfantrieb direkt am Hauptprofil möglich). Die Befestigung des Motors ist eine wichtige Schnittstelle im System zwischen klassischem Maschinenbau und Konstruktion mit Holzwerkstoffen. Die hohe Masse des Antriebs in Kombination mit der Erregerfrequenz führen bei starrer Verschraubung direkt im Holzwerkstoff zu Setzerscheinungen im Material. Aus diesem Grund kommen in den Werkstoff passgenau eingearbeitete Stahlschienen zum Einsatz, die wiederum eine großflächige Lastverteilung im Holz bewirken. Dabei gilt es zu beachten, dass Passungen direkt im Holzwerkstoff eine sehr hohe Fertigungsgenauigkeit erfordern, um eine entsprechende Kraftübertragung realisieren zu können. Das Hauptaugenmerk bei der Dimensionierung des Antriebes wurde auf eine hohe Systemsteifigkeit gelegt, da eine lastbedingte Verformung (Verkanten) der Hauptantriebswelle unweigerlich zum Funktionsausfall führen würde (bedingt durch die Tatsache, dass das Antriebskettenrad direkt auf der Motorwelle montiert ist). Den Aspekt der im Vergleich zu Metallen reduzierten Steifigkeit⁴ des Basiswerkstoffs ist in allen Strukturbereich des Förderers vorhanden und kann im einfachsten Fall durch geometrische Anpassungen (Strukturleichtbau) kompensiert werden.

5. Versuche

Die Erprobung des Gestells untergliedert sich in drei wesentliche Abschnitte. Der erste Punkt umfasst Einzelerprobung der Komponenten, wie beispielsweise Profilträger oder der Verbindungstechnik. Der zweite Bereich hat die Untersuchung der Gestellstruktur zum Inhalt. Hierfür wurde das Basisgestell dynamisch an einer mehrachsigen Prüfmaschine (4-Punkt-Biegung bei 10kN Last und einer Prüffrequenz von 0,3 Hz) bis 10^6 Lastwechsel untersucht.

Im Ergebnis dieser Untersuchungen wurde deutlich, dass das konzipierte Gestell den Belastungen standhielt. Die Holzstruktur wies über die Dauer des Versuches eine geringfügig steigende Durchbiegung auf, die allerdings immer unter der geforderten Maximaldurchbiegung von 5 mm lag und mit dem Entlasten des Gestells wieder verschwand (Verformungen im elastischen Bereich). Bei der anschließenden Demontage des Moduls, verbunden mit der Überprüfung aller Einzelteile, konnten keine wesentlichen Strukturschädigungen festgestellt werden. Auch ein Betrieb im Überlastbereich (15 kN) zog im untersuchten Bereich bis 10^5 Lastwechsel keine Strukturschädigungen nach sich.

Die Erprobung der konzipierten Rollenbahn orientierte sich an eher praktischen Einsatzbedingungen. Der Dauerversuch erfolgt mit einer Fördermasse von 1.000 kg im Revierbetrieb. Dieser Betriebszustand stellt generell sehr hohe dynamische Anforderungen an die Maschine, da durch permanente Anfahr- bzw. -bremsvorgänge hohe Beschleunigungskräfte in Richtung der Förderachse wirken. Das Geschwindigkeitsprofil selbst ist trapezförmig. Der Versuch dauert zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch an, jedoch konnten noch keine signifikanten Strukturschädigungen festgestellt werden (nach bisher ca. 10^5 Lastwechseln).

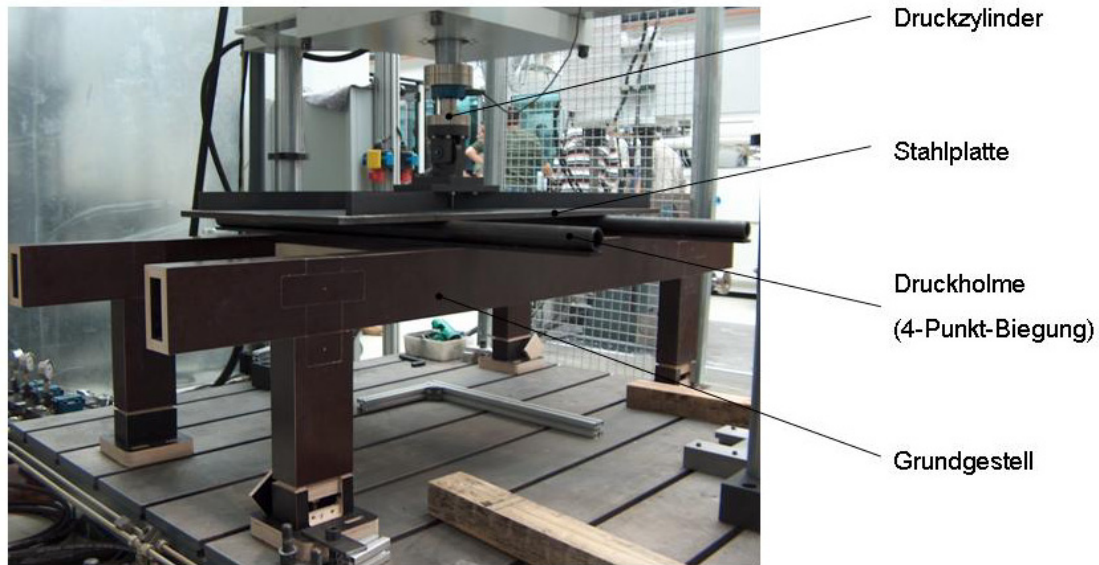


Bild 5: Dynamische Gestellerprobung (4-Punkt-Biegung)

6. Zusammenfassung

Holz furnierlagenverbundwerkstoffe (WVC) stellen im Maschinen- und Anlagenbau eine gute Alternative zu den dort traditionellen Werkstoffen, wie Stahl oder Aluminium, dar. Üblicherweise beschränkt sich die Verwendung von Holz vorwiegend auf bautechnische Bereiche mit einem quasistatischen Anforderungsprofil. Wegen ihrer guten spezifisch-mechanischen Eigenschaften sowie der ökonomischen bzw. ökologischen Vorteile kann dieses jedoch auch auf den Maschinen- und Anlagenbau erweitert werden. Ein modulares Gestellsystem auf Basis dieser erneuerbaren Schichtwerkstoffe trägt durch die vorgestellte Bauweise diesem Aspekt Rechnung. Konstruktive Besonderheiten und Möglichkeiten wurden anhand einer Transportmaschine in Form einer Rollenbahn aufgeführt. Statische und dynamische Untersuchungen, sowohl am Grundgestell wie auch an der Rollenbahn, haben die grundlegende Eignung der Bauweise für Anwendung mit dynamischem Anforderungsprofil gezeigt.

7. Literatur

- ¹ Eichhorn, S. / Eckardt, R. / Müller, C.: Einblick in die Geschichte der Holzwerkstoffe im Maschinen- und Anlagenbau und aktuelle Möglichkeiten der angemessenen technischen Nutzung. 8. Internationales Symposium „Werkstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen, 2010
- ² Definition des Begriffs WVC s. Eichhorn / Eckardt / Müller
- ³ Wagenführ, A. / Scholz, F.: Taschenbuch der Holztechnik. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. Dresden / Rosenheim, 2007. S. 102f
- ⁴ E-Modul von Stahl: 210.000 N/mm², zur Auslegung genutzter E-Moduls des WVC: 5.000 N/mm²; effektiv ist somit der Materialsteifigkeitsunterschied größer als Faktor 40