

# Versuchsmuster Lastaufnahmemittel (LAM) – Krantraverse in Holzbauweise

Load handling equipment (LHE)  
– Crane traverse in timber construction

**Eric Penno**  
**Patrick Kluge**  
**Sven Eichhorn**  
**Markus Golder**

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

**D**ie Entwicklung einer Krantraverse in Holzbauweise soll gegenüber der herkömmlichen Stahlbauweise Vorteile in Bezug auf Ökologie, Energieeffizienz und Kosten generieren. Dies soll auf Basis erneuerbarer Werkstoffe, insbesondere Holzurnierlagenverbundwerkstoffen, in Form einer Traverse mit einer Tragfähigkeit bis zu 3 t realisiert werden. Dabei sollten gegenüber dem Stand der Technik das Handling verbessert, sowie die Masse und die Kosten reduziert werden. Es wurden analytische Berechnungen auf Basis verzerrungsbasierter Versagenskriterien in Kombination mit einem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept durchgeführt. In Experimenten und Praxistests der LAM wurden statische einachsige Belastungen sowie schwelende Belastungen als Hysterese- und Stufenversuche sowie ein Feldversuch mit einem Gabelstapler als Transportgut durchgeführt.

*[Schlüsselwörter: Krantraverse, Lastaufnahmemittel, Holz, erneuerbare Werkstoffe]*

**T**he goal of the crane traverse in timber construction is an energy efficient and cost effective construction. This is to be realized on the basis of renewable materials, in particular wood veneer composite materials, in the form of a traverse with a load-bearing capacity up to 3 t. The handling should be improved compared to the state of the art and the mass and costs should be reduced. Analytical designs were carried out under the semi-probabilistic safety concept, the distortion-based calculation and the determination of the proportionality limit. In experiments and practical tests of the LAM, static uniaxial loads and pulsating loads were carried out as hysteresis and step tests as well as a field test with a forklift as the transported good.

*[Keywords: crane traverse, load handling equipment, wood, renewable materials]*

## 1 LASTAUFNAHMEMITTEL

Lastaufnahmemittel (LAM) sind Vorrichtungen zum Aufnehmen und Abgeben von Lasten. Sie werden direkt oder über Anschlagmittel, wie z. B. Seile oder Ketten, mit den Tragmitteln der Hebezeuge verbunden (vgl. Abbildung 1). Sie gewährleisten den Transport von Stück- oder Schüttgütern sämtlicher Formen und Größen in der Förder- und Lagertechnik. Beispiele für LAM sind u.a. Greifer, C-Haken, Klemmen und Traversen. [1]

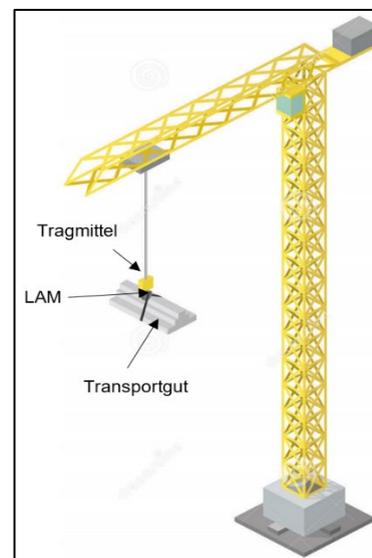


Abbildung 1. : Prinzipieller Aufbau eines Hebezeugs mit LAM und Transportgut am Beispiel eines Krans [2]

Traversen als Lastaufnahmemittel sind tragende Strukturen und werden soweit bekannt ausschließlich in Stahlbauweise ausgeführt. Sie besitzen standardmäßig je nach Bauform und Größe eine Tragfähigkeit im Bereich von ca. 0,5 – 10 t und in Sonderfällen bis zu 100 t. Die Traversen können starr oder verstellbar in verschiedenen Formen ausgeführt sein. Vertreter sind z.B. die

Einfachtraverse, die H-Traverse oder die Big-Bag-Traverse. Sie bestehen in der Regel aus den Teilsystemen Grundkörper (1), Aufhängung (2) und Tragmittel (3) wie in Abbildung 2 dargestellt. Beim Transport von Gütern werden die Grundkörper klassisch auf Biegung beansprucht. Für die Nutzung der vorteilhaften mechanischen Bauteileigenschaften der Traversen werden diese überwiegend als Doppel-T-Stahlprofile und Hohlprofile ausgeführt, um das hohe Flächenträgheitsmoment zu nutzen. Der funktionell überspannte Bauraum zwischen den Tragmitteln des Fördersystems ergibt die Stützweite und damit die Länge des Traversengrundkörpers. Diese hat großen Einfluss auf die notwendige Biegesteifigkeit und auf das Tragverhalten der Tragstruktur der Traversen. Die Elemente der Aufhängung und Tragmittel sind meist oberhalb und an den äußeren Seiten des Grundkörpers, wenn nicht verstellbar, befestigt. Deren Beanspruchungen sind überwiegend Zugbeanspruchung. Die Verbindungstechnik erfolgt, wie im Stahlbau üblich, stoffschlüssig durch Schweißen und/ oder kraftschlüssig durch Schraubverbindungen.

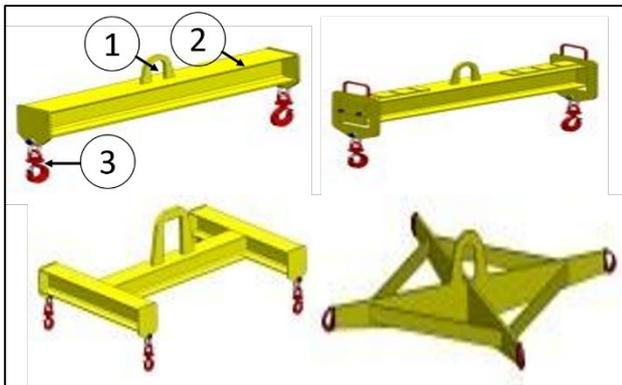


Abbildung 2. Verschiedene Ausführungen von Traversen (l.o. starre Balkentraverse; r.o. verstellbare Balkentraverse; l.u. H-Traverse; r.u. Big-Bag-Traverse)[3]

## 2 MOTIVATION

Das LAM in der klassischen Stahlausführung weist einige Nachteile auf, welche mit dem Einsatz von Holz- oder Holzwerkstoffen verbessert werden könnten. Der Werkstoff Stahl hat mit ca.  $7,85 \text{ g/cm}^3$  im Vergleich zu Holz- und Holzwerkstoffen ( $0,1-1,2 \text{ g/cm}^3$ )[4] eine hohe Dichte und bedingt dadurch ein hohes Eigengewicht. Holzwerkstoffe weisen mit  $8000-12000 \text{ MPa}$  zwar ein deutlich niedrigeres E-Modul gegenüber Stahl mit  $210000 \text{ MPa}$  auf., jedoch ist in der Kombination mit der geringen Dichte eine hohe spezifische Festigkeit vorhanden, sodass Holzwerkstoffe sehr gut für den Leichtbau geeignet sind. Große Massen, sind zu vermeiden, diese sorgen für einen höheren Energieaufwand bei den Hebezeugen. Bedingt durch das Gewicht ist das Handling z.B. bei Leerfahrten mit hoher Geschwindigkeit und/ oder Stößen durch unkontrollierte Pendelbewegungen erschwert. Ebenso birgt das Gewicht aus der Sicht des Arbeitsschutzes ein höheres Gefahrenpotential.

Des Weiteren sind die Stahlbauweisen meist Schweißkonstruktionen und schränken damit in ihrem Aufbau die Modularität ein. Bei Beschädigungen muss meistens das gesamte LAM ausgetauscht werden. Ebenfalls stellen die Schweißnähte potentielle Schwachstellen dar.

Besonders kritisch ist der Einsatz von Stahl-LAM in stark korrosiven Umgebungen wie z.B. mit Chemikalien wie Ammoniumsulfat oder Umgebungen mit starken elektrischen oder magnetischen Feldern. Durch Korrosionserscheinungen kann es zur Verkürzung der Lebensdauer kommen. Präventive Maßnahmen zur Verbesserung der chemischen Resistenz sind meist Einzelfallentscheidungen und kostspielig. Bei magnetischen oder elektrischen Umfeldern kann der Einsatz von Alternativen wie Holzwerkstoffen resultierende Nachteile vom Stahl wie die EMV-Unverträglichkeit kompensieren.

So ergeben sich zusammengefasst folgende Nachteile für Traversen in Stahlbauweise, deren Optimierung als Motivation dienen.

- Hohes Traversengewicht
- Problematische Handling
- Nicht geeignet für korrosiven Umgebungen
- Von elektrischen und magnetischen Feldern beeinflusst

## 3 ZIELE

Das Ziel war die Entwicklung eines modularen, energieeffizienten und kostengünstigen Baukastensystems (BKS) auf Basis erneuerbarer Werkstoffe. Dieser soll ein geringeres Gewicht, ein besseres Handling, einfachere De-/Montage und möglichst ein breiteres Einsatzspektrum als marktübliche Stahltraversen aufweisen.

## 4 RANDPARAMETER

Für die Umsetzung des Baukastensystems wurden klare zu erfüllende Parameter definiert. So sollte ein LAM in Form einer einfachen Traverse mit der maximalen Tragfähigkeit von 3 t erarbeitet werden. Dieses sollte aus Holz-furnierlagenverbundwerkstoff (WVC - Wood Veneer Composite)[8] in Form von Sperrholz umgesetzt werden, weil sich dieser Werkstoff durch die homogene Struktur, besser Festigkeits- und Steifigkeitswerte gegenüber zu Vollholz sehr gut für konstruktive Anwendungen im Bereich des Maschinenbaus eignet und eine gute korrosive Beständigkeit aufweist. [5] Durch den Einsatz von Holzwerkstoffen sollte die Masse gegenüber einer vergleichbaren Stahltraverse um mindestens 40 % reduziert und die Kosten durch eine modulare Bauweise um 20 % gesenkt werden.

## 5 GRUNDLEGENDER AUFBAU

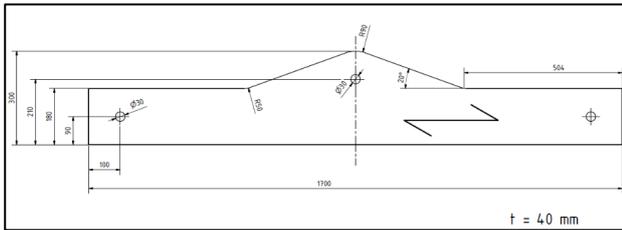


Abbildung 3. Geometrie des ersten mechanischen Modells

Für die Entwicklung eines beanspruchungsgerechten WVC-Halbzeuges und einer gewichtsoptimierten Konstruktion wurde eine beanspruchungsgerechte Profilkontur konzipiert. Sie ist dem Lastfall 3-Punkt-Biegung durch Zunahme der Profilhöhe zur Symmetrieebene hin angepasst. Dadurch erhöht sich die Flächenträgheit konstant entsprechend dem Biegemomentenverlauf und wird maximal im Bereich des größten Biegemoments an der Aufhängung zum Hebezeug. Die Stützweite zwischen den Tragmitteln beträgt 1500 mm. Anschließend erfolgte mit den ermittelten geometrischen Parametern der Sicherheitsnachweis bzgl. der einzelnen Lastfälle Biegung, Ermüdung, Kippen, Lochleibung sowie Schub. Als Material wurde BauBuche Typ Q von Pollmeier (BBQ) verwendet. BBQ besitzt bis zu Plattendicken von 50 mm nur zwei Querlagen, sodass sich dieser Werkstoff besonders für biegebeanspruchte Bauteile durch die vielen Längslagen entlang der Stützweite eignet. Der Aufbau ist dabei wie folgt: III-IIIIII-III (3 längs, 1 quer, 6 längs, 1 quer, 3 längs). [6]

Bei der Dimensionierung der LAM wurden die Sicherheitsnachweise bzgl. der einzelnen Lastfälle Biegung, Ermüdung, Kippen, Lochleibung sowie Schub durchgeführt. (vgl. Tabelle 1) Ausgangspunkt der Berechnungen sind bekannte Formeln der Technischen Mechanik sowie des EUROCODE 5. [9]

Tabelle 1. Ergebnisse der Sicherheitsnachweise für BBQ

Lastfälle	Last 30000 N		
	Einwirkung	Materialkennwert	resultier. Sicherheit
Verformung	5,10 mm	10 mm	1,96
Spannung	22,05 MPa	110 MPa	4,99
Ermüdung	22,05 MPa	44 MPa	1,99
Kippen	11250 Nm	28168,97 MPa	2,50
Lochleibung	30 kN	79,56 kN	2,65
Schub	5,9 N/mm <sup>2</sup>	11 N/mm <sup>2</sup>	1,85

## 6 LABORTEST

Es wurden Labortests an den Profilkonturen durchgeführt, die zur Ableitung von Bauteilkennwerten und des Bauteilverhaltens im anwendungsspezifischen Lastfall dienten. Es wurde versucht, mit den vorhandenen Prüflingen möglichst viele Erkenntnisse aus dem Materialverhalten im nachgestellten Einsatz zu erlangen. Aus diesem Grund wurden 3 Versuchsarten gewählt, die neben den statischen Eigenschaften auch Aussagen über das Ermüdungsverhalten liefern. Neben 3-Punkt-Biegeversuchen als statischen Versuch wurden ebenfalls dynamische Hysterese- und Stufenversuche durchgeführt. Bei den Hystereseversuchen wurden die Traversen in mehrerer aufeinanderfolgenden Lastzyklen mit steigender Kraft belastet. Der Versuch war kraft geregelt und der Kraftanstieg je Lastzyklus wurde auf 5 kN je Stufe eingestellt. Die Anzahl der Lastwechsel je Lastzyklus war  $n = 1$ . Deutlich mehr Aussagekraft besitzt der Stufenversuch, wie in Abbildung 4 beispielhaft aus den Versuchen dargestellt ist. Dort wurden die Traversen analog zum Hystereseversuch in verschiedenen Lastzyklen mit steigender Kraft belastet, jedoch ist die Lastwechselzahl je Lastzyklus mit  $n = 20$  größer.

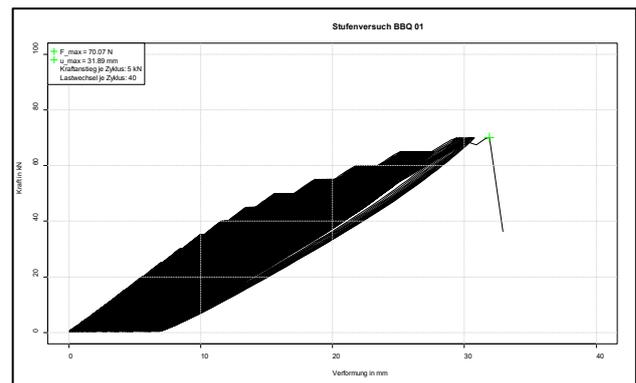


Abbildung 4. Kraft-Verformungskurve Stufenversuch BBQ

Die folgende Abbildung 5 zeigt den Versuchsaufbau für die erste Versuchsreihe. Es wurde bewusst auf einen freihängenden Aufbau verzichtet, um das mechanische Berechnungsmodell der 3-Punkt-Biegung abzubilden und vergleichbare Werte zu erzielen. [7] Die beiden Bohrungen an den Enden, welche für die Aufnahme der Lasten zuständig sind, wurden über Bolzen direkt mit den Prüfaufnahmen verbunden, sodass eine klassische Dreipunktbiegebelastung erzeugt wurde. Der Lastfall Kippen wurde bei der ersten Versuchsreihe nicht berücksichtigt.

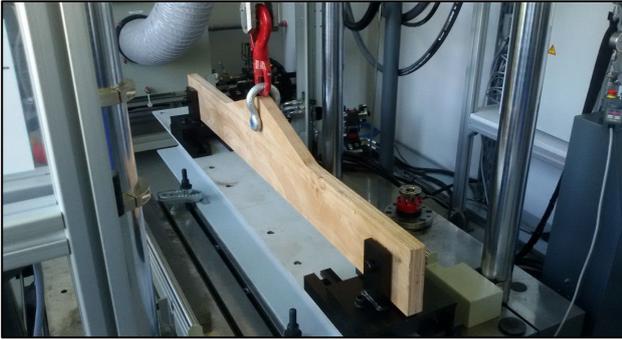


Abbildung 5. Versuchsaufbau Einfachtraverse

Unabhängig von der Versuchsart hat sich bei allen Profilen das gleiche Versagensbild gezeigt. Mit steigender Belastung kam es zu einer ersten Rissbildung im Übergang vom Bereich des konstanten Querschnitts zum Bereich mit steigender Höhe. Diese setzten sich mit steigender Belastung und Verformung zur Symmetrieebene hin fort, bis es zum Totalversagen kam. Die ersten Risse bildeten sich bei BBQ bei einer Laststufe von 45 kN. Die Initialstelle für die Rissbildung erklärt sich mit dem kurzen Hebelarm in der Kraftangriffsebene. Dadurch konnte die Kraft nicht weiter in das Material geleitet werden, wodurch das volle Potential vermutlich nicht ausgeschöpft wurde.



Abbildung 6. Rissbildung

## 7 ZWEITE ITERATIONSSTUFE

Auf Grundlage der vorangegangenen Erkenntnisse, einem effizientem Materialeinsatz und Vereinfachung der Fertigung wurde die Geometrie des Profils optimiert. Es wurde für die Optimierung eine vom Ende der Traverse zur Symmetrieebene hin konstante Querschnittserhöhung gewählt. Vorteile der Kontur sind ein geringerer Materialverschleiß bei der Fertigung durch eine geringere Gesamthöhe sowie ein größerer Hebelarm in der Kraftangriffsebene der Aufhängung, was als kurze Ausführung ein Versagen bei der vorangegangenen Umsetzung begünstigte. Die Abbildung 7 zeigt die geometrischen Parameter sowie das mechanische Modell und den Biegemomentenverlauf.

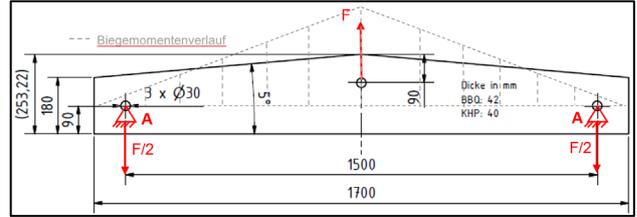


Abbildung 7. Geometrie der zweiten Variante

Tabelle 2. Sicherheitssteigerung zweite Variante

Lastfälle	Last 30000 N	
	Einwirkung	Sicherheit
Verformung	2,67	1,96
Spannung	3,45	4,99
Ermüdung	1,38	1,99
Kippen	1,94	2,50
Lochleibung	2,67	2,65
Schub	3,45	1,85



Abbildung 8. Versagensfall bei 70 kN bei der zweiten Variante bei fester Einspannung



Abbildung 9. Bruch bei 64 kN bei freier Aufhängung

Die Versuche haben gezeigt, dass die Traversen die geforderte Last von 30 kN deutlich übertreffen. Aus den Versuchsergebnissen und den Berechnungen konnte jedoch abgeleitet werden, dass die gemessenen Verformungen etwa um Faktor 2 über denen der Berechnung lagen.

Gründe dafür können zum Beispiel Verformungen aus dem Versuchsaufbau selbst sein. Die exakte Ermittlung der Maschinenkennlinie war durch die Größe des Aufbaus erschwert. Ebenso kann die Berechnung durch die ermittelten Werte und die Werte für den eingesetzten E-Modul entscheidend sein. Es ist bekannt, dass es einen Zusammenhang zwischen dem Stützweiten-Höhen-Verhältnis der Probe und dem E-Modul gibt. [8] Diese Erkenntnis ist jedoch anfangs noch nicht in die Berechnung mit eingeflossen.

## 8 WEITERENTWICKLUNG MIT VARIABLELER STÜTZWEITE

Auf der Basis der Testergebnisse der beanspruchungsgerechten WVC-Halbzeuge und der Grundidee eines BKS wurden WVC-Einfachtraversen mit einer Profilkonturmaterialstärke von 12 mm konzipiert, welche größtenteils lastableitende Steckverbindungen aufweisen. Der Fokus lag in der Entwicklung von Einfachtraversen mit einer festen oder variabler Stützweite und erhöhter Kippstabilität. Alle Teile wurden über Zapfenverbindungen positioniert und geklebt. Alle Einzelteile wurden aus Birkenperrholz mittels Laserstrahlschneiden hergestellt. Die Lastaufnahmen wurden zwischen zwei Abstandshalter gesteckt und formschlüssig fixiert. Zwar erzeugt das Kleben der Traversen höhere Fertigungsprozesszeiten durch das Aushärten des Klebstoffes, aber der Montage- und Bearbeitungsaufwand ist als sehr gering einzustufen. Eine Verbindung mit WVC- oder Stahlverbindungsmitteln bedingt neben dem Fertigen der WVC-Halbzeuge zusätzlich Bohrarbeiten, die darüber hinaus eine Querschnittsschwächung der Bauteile bedingen. Für Anwendungen, für die ein modularer Aufbau der Traversen erwünscht ist, kann dieser dennoch umgesetzt werden. Allerdings sollte von einer verminderten Tragfähigkeit ausgegangen werden. Die konstruierten und umgesetzten Traverse in Abbildung 10 und 11 sind für eine Tragfähigkeit von 10 kN ausgelegt und weisen eine Eigenmasse von 11,8 kg auf.

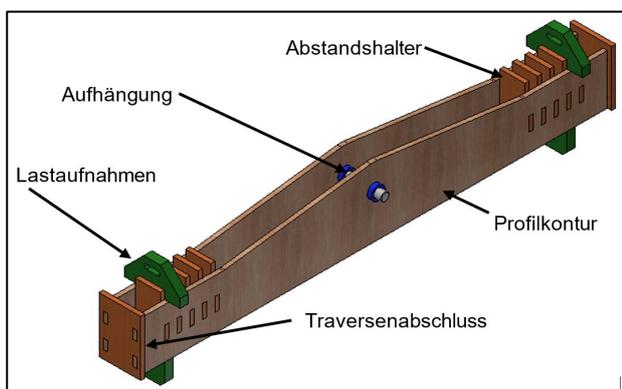


Abbildung 10. Entwurf verstellbare Traverse



Abbildung 11. Umsetzung der verstellbaren Traverse mit kraftschlüssig verbundenen Profilkonturabstandshaltern

Neben der verstellbaren Traverse wurde eine weiterentwickelte Einfachtraverse mit fester Spannweite und zur Stabilität mit schrägen und senkrecht zur Belastungsrichtung verlaufenden Verbindungselementen umgesetzt. Ihre Eigenmasse beträgt 11,2 kg und ist für eine Tragfähigkeit von 10 kN ausgelegt. Diese erreichte im Versuch eine Bruchkraft von 37,5 kN bei einer maximalen Verformung von 24,17 mm. Der Versagensfall trat in der Lochleibung in der Aufhängung auf und zeigt damit das Potential der Traverse in Holzbauweise.



Abbildung 12. Einfachtraverse

## 9 NEUE BERECHNUNGSWEGE

Auf Grundlage bisheriger Erkenntnisse aus vorangegangenen Forschungsarbeiten wird durch die Forschungsgruppe der Anwendungstechnik erneuerbarer Werkstoffe der TUC die Ansicht vertreten, dass ein verzerrungsbasierter Nachweis der maßgebende Sicherheitsnachweis ist. [8] Als Nachweisergebnis entstand eine Bauteilhöhe, welche vergleichsweise zu geringen Spannungen durch eine hohe Querschnittsfläche als im Vergleich zu Ergebnissen aus dem EUROCODE 5 [9] führt.

Das erarbeitete Berechnungsverfahren der TUC erzielt gegenüber dem EUROCODE 5 durch die geringere notwendige Bauteilhöhe bei gleicher Materialstärke eine bessere Materialausnutzung. Ebenfalls ist durch den Berechnungsansatz der TUC eine vereinfachte Anpassung der Sicherheitsfaktoren möglich. Des Weiteren wird ein angepasster E-Modul verwendet, welcher auf einem Längen-Höhen-Verhältnis basiert. Weiter basiert die kritische Verformungsgrenze auf Erkenntnissen von umfangreichen Materialuntersuchungen u.a. früherer Forschungsarbeiten. [10] Die Materialkennwerte wurden in eine Materialdatenbank überführt, welche auch zukünftig erweitert und

gepflegt wird. Diese ist zukünftig über [www.holz-im-maschinenbau.de](http://www.holz-im-maschinenbau.de) zu erreichen. [10, 11]

Als Grundlage für die Berechnung und Konstruktion eines LAM mit fester Stützweite in Holzbauweise (vgl. Abbildung 13; optimiert gegenüber Abbildung 10) wurde das semiprobabilistische Sicherheitskonzept für Holzwerkstoffe in Anlehnung an den EUROCODE 5 angewendet. [10]

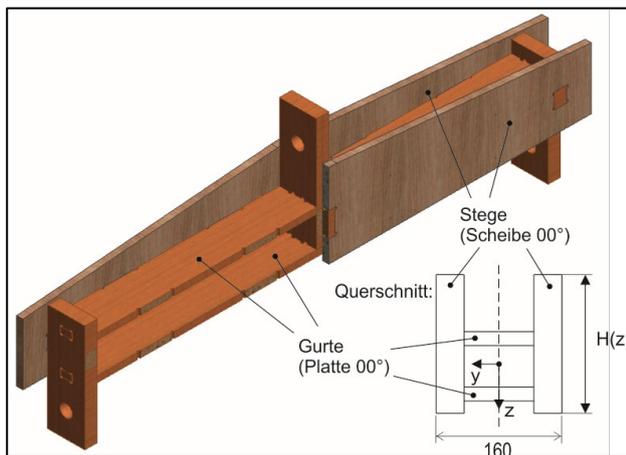


Abbildung 13. Lastaufnahmemittel in Holzbauweise

Mithilfe geeigneter Berechnungs- und Simulationskonzepte sollte das mechanische Verhalten von Bauteilen aus Holzwerkstoffen in Form von Kraft-Verformungs-Kurven möglichst genau vorhergesagt werden können. Abbildung 14 zeigt exemplarisch eine Kraft-Verformungs-Kurve sowie relevante Bereiche und Punkte entlang der Kurve. Die Grundlage für die Ermittlung der Kraft-Verformungs-Kurve eines Bauteils bilden je nach Modell die Materialkennwerte am Furnier, Vollholz und Lagenholz als Inputparameter. Ein geeignetes semiprobabilistisches Sicherheitskonzept generiert anschließend die Sicherheit des Bauteils, damit die Funktionalität des Bauteils über die geplante Lebensdauer mit ausreichend hoher Wahrscheinlichkeit sichergestellt werden kann. Damit wurde u.a. der Ansatz verfolgt, bestehende Konzepte, Formeln und Ansätze aus dem Ingenieurholzbau, dem Maschinenbau und der Technischen Mechanik auf Übertragbarkeit zu prüfen und für die Auslegung von Holzbauteilen zur Anwendung im Maschinenbau sinnvoll anzupassen. [10]

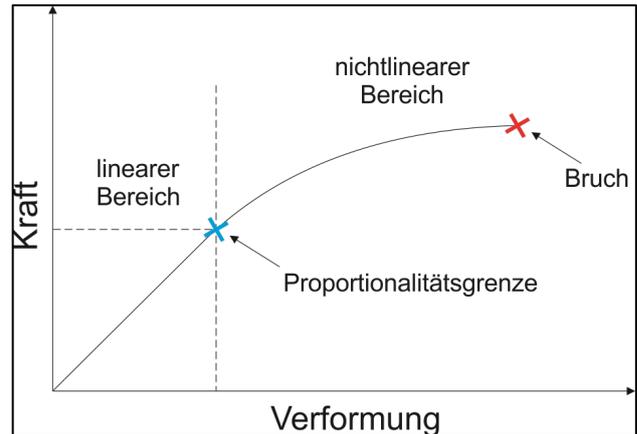


Abbildung 14. Kraft-Verformungs-Kurve zur Beurteilung des mechanischen Verhaltens eines Körpers/ Bauteils

Aus den Ergebnissen und der Konstruktion wurden die finalen Balkentraversen gefertigt (vgl. Abbildung 15; Wandstärke 20 mm). Die Einzelkomponenten sind aufgrund des Anspruchs einen BKS nicht stoffschlüssig, sondern ausschließliche kraft- und formschlüssig verbunden.



Abbildung 15. Finales LAM

Zur Bestimmung der Eigenschaften des LAM wurden Dreipunktbiegeversuche für einen statisch einachsigen Lastfall durchgeführt. Durch die in vorangegangenen Versuchen auftretenden Setzungen im grundlegenden Versuchsaufbau der Prüfeinrichtung wurde auf eine direkte optische Messung mit einem GOM-Kamerasystem in Zusammenarbeit mit der TUD zurückgegriffen. Der Vorteil dieser Messmethode ist die direkte Messung der Dehnung am Bauteil. Der Aufbau ist in Abbildung 16 zu sehen. In Abbildung 17 sind die Ergebnisse von drei Proben mit dem Kraft-Verformungsverlauf bis zu einer Kraftgrenze von 20 kN sowie zwei Proben bis zum Bruch bei einer Kraft von maximal 96 kN dargestellt. Aus diesen ergibt sich eine Proportionalitätsgrenze von 37,4 kN.

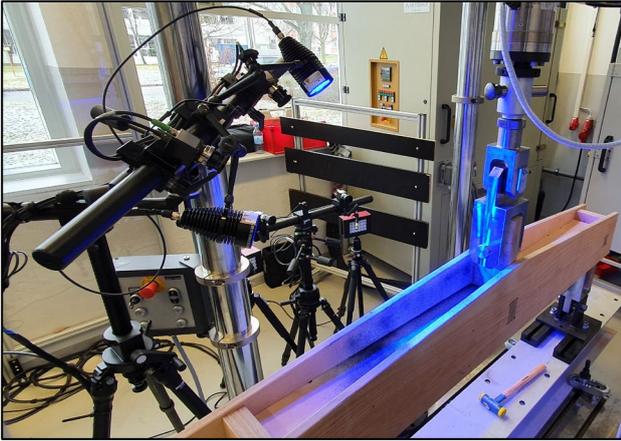


Abbildung 16. Versuchsaufbau zur experimentellen Untersuchung der Lastaufnahmemittel

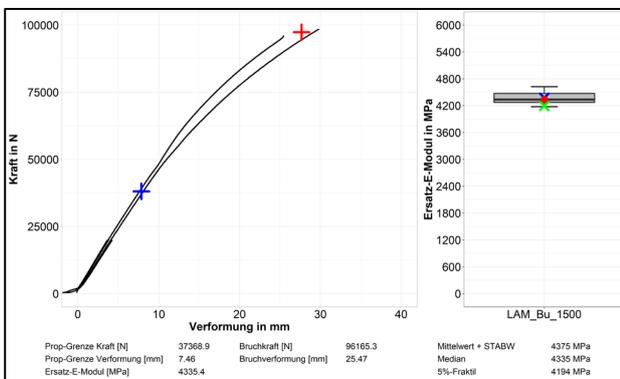


Abbildung 17. Auswertung der Zugversuche der finale LAM

## 10 VERSUCHSMUSTER KRANTRAVERSE

Das Versuchsmuster wurde für 3 t ausgelegt. Durch die Versuche und die Berechnung der Proportionalitätsgrenze bei 37 kN konnte im Vorfeld die ertragbare Last festgelegt werden. Die Gesamtmasse des Versuchsmusters liegt bei 25 kg. Es ist dabei anzumerken, dass es sich bei der Umsetzung lediglich um ein Muster handelt, welches das Potential einer solchen Konstruktion verdeutlichen soll und kein für den Markt zugelassenes LAM darstellt. Im Zuge eines Feldversuches wurde das LAM an einem Kran angebracht und ein Gabelstapler inkl. Batterie mit einer Gesamtmasse von 3 t wie in Abbildung 17 erfolgreich angehoben.

Die bisherigen Analysen behandeln nur den statisch einachsigen Lastfall (Lastwechsellzahl = 1). Für einen Einsatz in der Praxis sind weiterführende Analysen im Bereich der Dynamik erforderlich, um Aussagen über die Dauergebrauchstauglichkeit treffen zu können.



Abbildung 18. Feldversuch mit 3 t Gabelstapler

## 11 ERKENNTNIS

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass durch das semiprobabilistische Sicherheitskonzept, die verzerrungsbasierte Berechnung und die Ermittlung der Proportionalitätsgrenze gezielt eine Konstruktion mit sehr guter Aussagefähigkeit für das Gebrauchsspektrum einer Umsetzung in Holzbauweise getroffen werden kann.

Durch die mittels des GOM-Systems unterstützten Versuche konnten gezielt Aussagen zu Versagensmechanismen getroffen und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden (vgl. Abbildung 18). So zeigte sich, dass trotz der dehnungsbasierten Auslegung gerade im Bereich der gezapften Aufhängung und im Auge der Aufhängung (Übergang zur Prüfmaschine) die Flächen für die eingeleiteten Kräfte zu gering sind. Die Lochleibungsspannung ist für den Werkstoff lokal zu groß, sodass es zu plastischer Verformung oder zum Versagen kommt. Maßnahmen können zukünftig eine Flächenvergrößerung und damit eine Spannungsreduktion sein. Ebenso ist der Einsatz von Werkstoffen mit höherer Druckfestigkeit, einer lokalen Verdichtung [13], oder einer lokalen Imprägnierung möglich. Ebenso sind Querschnittsveränderungen im Bereich der größten Beanspruchung zu vermeiden, was jedoch in dem Falle der Krantraverse in Holzbauweise bedingt durch den Zapfen nicht möglich war.

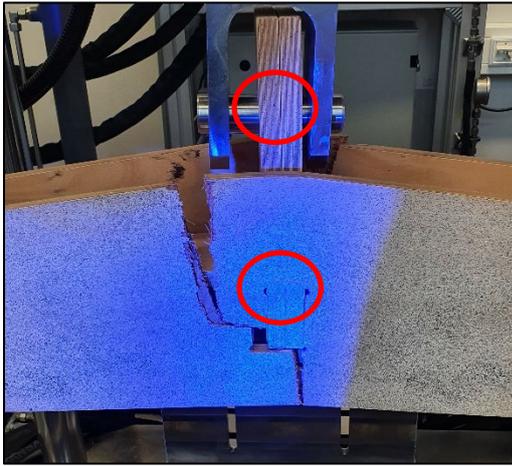


Abbildung 19. Bruch der Krantraverse

## 12 FÖRDERHINWEIS

Die widergegebenen Inhalte sind u.a. Ausschnitte von Ergebnissen des Förderprojekts „WVC-LAM – Modulare Lastaufnahmemittel aus WVC in Leichtbauausführung“ mit der Förderkennziffer KF2515386PK4 gefördert durch das Zentrale Innovationsprogramm des Bundesministeriums (ZIM) für Wirtschaft und Technologie. Des Weiteren wurden Inhalte aus dem Verbundprojekt „HoMaba – Holzbasierte Werkstoffe im Maschinenbau: Berechnungskonzept, Kennwertanforderungen, Kennwertermittlung“ mit der Förderkennziffer 22004418 widergegeben. Dieses Projekt 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.

## 13 UNTERSTÜTZUNG

Das Verbundprojekt HoMaba wurde dankenswerter Weise in enger Zusammenarbeit zwischen der TU Chemnitz, der TU München, der TU Dresden, dem IHD, der Papiertechnische Stiftung, der Georg-Augustin-Universität Göttingen, dem WKI Braunschweig, der TH Rosenheim, der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde bearbeitet.

## LITERATUR

- [1] Wagner, G., Scholten, J., „Hebezeuge und Krane“. in: Grote, KH., Feldhusen, J. (eds) Dubbel, Springer, Berlin, Heidelberg, U32-U44, 2011, doi: 10.1007/978-3-642-17306-6\_223
- [2] Dreamstime: Isometric industrial crane. Unter: <https://www.dreamstime.com/stock-illustration->

isometric-industrial-crane-construction-white-background-image62673642, Stand: 05.08.2022

- [3] Richert Industrietechnik GmbH: Lastaufnahmemittel und Hebezeuge. Unter: <https://www.richertindustrie.com/lastaufnahmemittel/#sonder>, Stand 05.08.2022
- [4] A. Wagenführ, F. Scholz; Taschenbuch der Holztechnik, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag München, 2018, S.86
- [5] Eichhorn, Sven; Kluge, Patrick; Müller, Christoph; Penno, Eric; Eckardt, Ronny; Feig, Katrin; Alt, Christoph; Schubert, Christine: Substitution energieintensiver Stahl- und Aluminiumwerkstoffe durch nachwachsende Rohstoffe in der Fördertechnik (SubSTANCE), Schlussbericht zum Forschungsprojekt der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Chemnitz, 2017
- [6] Pollmeier Massivholz GmbH & Co.KG: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Deutsches Institut für Bautechnik; Unter: <https://www.pollmeier.com/de/produkte/baubuche/baubucheplatte.html> ; Stand: 24.10.2017; Geltungsdauer Jun 2016 – Sep 2018; Zulassungsnummer: Z-9.1-838
- [7] Dankert, Jürgen; Dankert, Helga: „Technische Mechanik – Statik, Festigkeitslehre, Kinematik/ Kinetik“; Teubner-Verlag 2004 3. Auflage, ISBN: 3-519-26523-0; S. 244 Bild a\*; S. 257 - 270)
- [8] Eichhorn, Sven: Berechnungsansatz für Strukturbauteile aus Holzfurnierlagenverbundwerkstoff – WVC, Dissertation, TU Chemnitz, Professur Fördertechnik, 2012, unter: [http://www.qucosa.de/recherche/frontdoor/cache.off?tx\\_slubopus4frontend%5Bid%5D=10600](http://www.qucosa.de/recherche/frontdoor/cache.off?tx_slubopus4frontend%5Bid%5D=10600), 05.08.2022
- [9] DIN EN 1995 (2010) EUROCODE 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010
- [10] Kluge, P; Eichhorn, S; Penno, E., „Verzerrungsbasierter Berechnungs-/ Simulationsansatz für WVC“, Schlussbericht noch im Veröffentlichungsverfahren, Chemnitz, 2022
- [11] Mechanische Eigenschaften von Holzwerkstoffen-Kennwertkatalog, [www.holz-im-maschinenbau.de](http://www.holz-im-maschinenbau.de), 2022
- [12] Dankert, J., Dankert, H. (2013) Technische Mechanik – Statik, Festigkeitslehre, Kinematik/ Kinetik. Springer-Vieweg, Wiesbaden, 2013

- [13] Penno, E.; Alt, C.; Eichhorn, S.; Eckhardt, R.; Bauteil aus einem Werkstoff, der überwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen besteht, mit mindestens einem verdichteten Bereich und Werkzeug zum Herstellen des verdichteten Bereiches, Gebrauchsmusters Nr. 20 2019 104 241, 2020

---

**Eric Penno, M.Sc.**, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Förder- und Materialflusstechnik an der Technischen Universität

**Dipl.-Ing. Patrick Kluge**, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Förder- und Materialflusstechnik an der Technischen Universität

**Dr.-Ing. Sven Eichhorn**, Forschungsgruppenleiter Anwendungstechnik Erneuerbarer Werkstoffe

**Prof. Dr.-Ing. Markus Golder**, Leiter der Professur Förder- und Materialflusstechnik

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/sgfht/](http://www.tu-chemnitz.de/mb/FoerdTech/sgfht/)