

# Modulare Kransysteme aus Holzwerkstoffen

**Eric Penno,  
Sven Eichhorn,  
Tobias Schöneck,  
Markus Golder,**

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

**A**ktuell werden Krane fast ausschließlich in Metallbauweise ausgeführt. Die vordergründige Verwendung ist dabei Stahl. Für geringe Lasten (z.B. Kleinkransysteme) werden mitunter Aluminiumlegierungen genutzt. Kransysteme unter der Verwendung von dem ökologischeren Holzwerkstoff finden aktuell kaum bis keine Anwendung mehr. So entstehen die Forschungsfragen, welche Performance ein moderner Holzwerkstoff für den Einsatz erreichen muss, wie eine solche Umsetzung gestaltet werden könnte und welche weiteren kritischen Punkte sich aufzeigen. Ziel ist ein neues Forschungsfeld zur Anwendung von Holz und Holzwerkstoffen im Kranbau zu eröffnen und zu gestalten. Damit sollen die wissenschaftlichen Grundlagen gelegt werden, um Krananlagen und Komponenten in Holzbauweise technisch sinnvoll und sicher zu gestalten sowie wirtschaftlich, ökologisch und technisch vorteilhaft im Vergleich zu aktuell bestehenden Kranbauweisen auszuführen.

*[Schlagwörter: Krananlage, Portalkran, Brückenkran, Holz, erneuerbare Werkstoffe]*

## 1 MOTIVATION

Historische Quellen dokumentieren den Einsatz von Krananlagen, deren Trag- und Konstruktionskomponenten überwiegend aus Holzwerkstoffen gefertigt waren. Die damals verwendeten Holzmaterialien unterschieden sich jedoch hinsichtlich ihrer geometrischen Abmessungen und mechanischen Eigenschaften signifikant von den heute verfügbaren, technologisch optimierten Holzwerkstoffen. Mit der zunehmenden Etablierung von Stahl und Aluminium als Konstruktionsmaterialien im Bauwesen wurde Holz im Kranbau sukzessive verdrängt. [1] In jüngerer

Zeit erfahren Holzwerkstoffe aufgrund verbesserter mechanischer und technologischer Eigenschaften sowie ihrer ökologischen Vorteile eine erneute wissenschaftliche und industrielle Aufmerksamkeit. Dieser Entwicklung ist die Herausbildung des Forschungsfeldes Holz im Kranbau“ zuzurechnen. Erste dokumentierte Anwendungen moderner Holzwerkstoffe im Maschinen- und Logistikwesen finden sich insbesondere in der Skidfördertechnik sowie im Bereich der Lastaufnahmemittel. [2] [3]



*Figure 1: historischer römischer Polyspastos (Rekonstruktion, Bonn)*

## 2 KERNBEREICHE

Ausgehend von den Kernbereichen Grundlagenforschung, Material- und Systementwicklung sowie Erprobung und Evaluierung besteht das mittelfristige Ziel darin die konzipierten und konstruierten Krandemonstratoren zu realisieren, die als Brücke zwischen wissenschaftlichen Ergebnissen

und industrieller Anwendung fungieren. Dieser translationale Ansatz eröffnet vielfältige Potenziale hinsichtlich technologischer Innovation und Wissens- sowie Technologietransfer. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein solches Grobkonzept von der Anwendung im Bereich eines Portalkrans im Werkstattbereich.

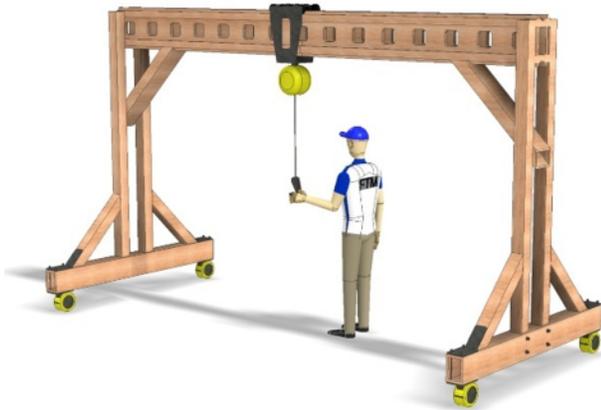


Figure 2: Grobkonzept eines Portalkrans unter der Verwendung von Holzwerkstoffen[4]

Die wissenschaftliche und technische Relevanz des Vorhabens liegt in der Konzeption und Etablierung eines neuartigen Forschungsfeldes mit ausgeprägter Praxisorientierung. Daraus resultiert eine Vielzahl grundlagen- und anwendungsbezogener Forschungsfragen, die einer systematischen Untersuchung bedürfen. Krane stellen hochkomplexe technische Anlagen dar und sind zentrale Schnittstellen innerhalb zahlreicher industrieller Prozessketten. Vor diesem Hintergrund ist die Entwicklung marktfähiger technischer Lösungen und Konstruktionsprinzipien für den Kranbau erforderlich, die bislang nicht verfügbar sind. Die geplante Forschung eröffnet für Hersteller und Anwender im Kranbau die Möglichkeit, natürliche und ökologisch optimierte Faserverbundwerkstoffe in Form moderner Holzwerkstoffe einzusetzen. Damit kann sich die Branche als innovationsorientierter und zukunftsfähiger Sektor verstärkt positionieren. Die ökonomische Bedeutung dieses Vorhabens wird durch das prognostizierte Marktvolumen des globalen Kranmarktes unterstrichen, das derzeit rund 22,5 Mrd. € umfasst und bis 2032, bei einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 6,9 %, auf etwa 40 Mrd. € ansteigen soll. [5] Der Kranbau als Teilsektor des Maschinen- und Anlagenbaus stellt damit einen bedeutenden Wachstumsmarkt dar. Die gesellschaftliche Relevanz dieses Forschungsansatzes liegt vor allem in den ökologischen Vorteilen von Holz- und Holzverbundkonstruktionen. Als nachwachsende Rohstoffe tragen diese Werkstoffe maßgeblich zur Kohlenstoffbindung bei und stellen damit einen wesentlichen Baustein zur Dekarbonisierung sowie zur nachhaltigen Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft dar. Die technische In-

tegration von Holzwerkstoffen führt zu einer Erhöhung der Holzbauquote“ und weitet den Einflussbereich dieses Werkstoffs über das Bauwesen hinaus auf den Maschinen- und Anlagenbau aus.[6]

### 3 SUBSTITUTIONSMÖGLICHKEIT

Das zentrale Ziel des Forschungsvorhabens besteht in der systematischen Untersuchung des Substitutionspotenzials metallischer Bauweisen durch Holzwerkstoffe im Kranbau. Der Fokus liegt dabei auf der Analyse der technischen Sicherheit sowie der ökonomischen und ökologischen Vorteile im Vergleich zu konventionellen metallischen Konstruktionen. Ein besonderer Stellenwert kommt der konstruktiven Ausgestaltung einzelner Komponenten zu, da diese entscheidend für die strukturelle Integrität und Funktionsfähigkeit der Gesamtsysteme ist. Im Rahmen der wissenschaftlichen Bearbeitung werden relevante Fragestellungen identifiziert, beschrieben und in einem methodisch fundierten Ansatz untersucht. Die Forschungsaktivitäten sind praxisorientiert ausgerichtet, um einen unmittelbaren Transfer der Erkenntnisse in industrielle Anwendungen zu ermöglichen. In der ersten Phase erfolgte die Analyse der Substituierbarkeit unterschiedlicher Kranbauarten, wobei der Schwerpunkt auf Portalkranen, Leichtkransystemen und Brückenkränen liegt. Brückenkrananlagen repräsentieren dabei die am weitesten verbreitete Bauform. Sie dienen der Handhabung von Stückgütern in Werkstätten, Produktionshallen und Lagerbereichen und finden sowohl im Innen- als auch im Außenbereich Anwendung. Die grundlegende Struktur dieser Anlagen umfasst die Kranträger mit dem Kranfahrwerk. [7] Die Krankatze

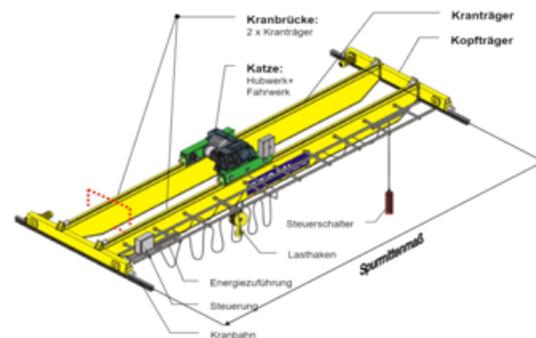


Figure 3: Aufbau eines Zweiträgerbrückenkrans [7]

verfährt auf einem oder zwei Kranträgern, welche auf den Kopfträgern aufliegen oder fest mit diesen verbunden sind (vgl. vorherige Abbildung). Die durch die Konstruktion bedingte Arbeitsfläche unterhalb des Krans ist rechteckig ausgebildet und aufgrund der Anfahrmaße der Katze in der Regel kleiner als die Fläche unter der gesamten Kranbahn. Ein wesentlicher Vorteil von Brückenkränen liegt in der vollständigen Bodenfreiheit des Arbeitsbereichs.

Demgegenüber stehen nach dem Stand der Technik vergleichsweise hohe Eigen- bzw. Totlasten. Kranbrücken mit einer Spannweite bis zu 12 m werden überwiegend als Walzprofile in I-Profil-Bauweise ausgeführt. Für größere Spannweiten kommen Stegblechträger oder Kastenträger zum Einsatz, wobei letztere aufgrund ihrer Bauweise die höchste Verwindungssteifigkeit gewährleisten [8]. Bezogen auf den Werkstoffeinsatz zeigt sich, dass Vollholz- und Furnierwerkstoffe sowie modifizierte Varianten, beispielsweise verdichtetes Buchensperrholz mit Kunstharzanteil (Kunstharzpressholz, KHP), grundsätzlich für die Umsetzung von Krananlagen geeignet sind. Kriterien wie chemische Beständigkeit, Umweltverträglichkeit (einschließlich CO-Kompensationspotenzial im Rahmen der Dekarbonisierung), Werkstoffkosten und Verfügbarkeit führen zu einer positiven Bewertung von Holzwerkstoffen im Vergleich zu metallischen Konstruktionswerkstoffen. Das Substitutionspotenzial unterschiedlicher Kranbauweisen wird zur Übersicht in der folgenden Abbildung dargestellt, dabei nimmt die Substituierbarkeit von links nach rechts ab.

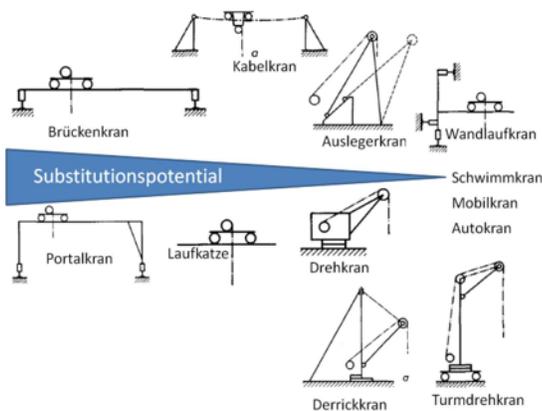


Figure 4: Substitutionspotential von Kranbauweisen (unter Verwendung DIN 15001, 1973) [9]

#### 4 SCHNITTSTELLE NORMUNG

Im Bereich des Holzbaus mit besonderem Fokus auf Tragwerke und Brücken sind verschiedene Normen relevant. Zentrale Grundlage bildet die EN 1990:2002 (Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung), die allgemeine Prinzipien für Tragwerke definiert. Ergänzend behandelt die DIN EN 1991-1 Einwirkungen wie Eigengewicht, Nutzlasten sowie Temperatur- und Brandeinwirkungen. Für den baulichen Brandschutz ist zusätzlich die DIN 18234 maßgeblich. Die EN 1995-2 Eurocode 5 regelt Bemessung und Konstruktion von Holztragwerken, insbesondere von Brücken und formuliert Anforderungen an Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Sie basiert auf Grenzzustandskonzepten und Teilsicherheitsbeiwerten, beinhaltet Spannungs- und Ermüdungsnachweise sowie

Biegebeschränkungen für die Dauergebrauchstauglichkeit ( $L/500$ ). Die Dauerhaftigkeit wird durch konstruktive Maßnahmen, ausreichender Belüftung und gegebenenfalls ergänzende Vorkehrungen wie geneigte Flächen, Kapillarverschlüsse oder Abdeckungen sichergestellt. Für den Kranbau sind neben europäischen Maschinenrichtlinien die DIN 15018 für die statische und dynamische Auslegung sowie die DIN 18800, Teile 2 und 3, für Stabilitäts- und Beulsicherheitsnachweise von Bedeutung. Es wurde untersucht, welche Berechnungs- und Auslegungsgrundlagen aus Holzbau und Kranbau übertragbar sind. Dabei ergab sich, dass für Krane, insbesondere Brückenkrane aus Holz, Spannungs-, Stabilitäts- und Betriebsfestigkeitsnachweise zu führen sind. Hierbei werden statische und dynamische Biegebeanspruchungen, dynamisches Heben und Fahren sowie Ermüdung über die Lebensdauer berücksichtigt. In der Schnittstellendefinition werden die Anforderungen des Holzbaus mit denen des Maschinen- und Kranbaus kombiniert. Während im Metallbau Schweißnähte kritische Punkte darstellen, sind bei Holzwerkstoffen Klebe- und Steckverbindungen und deren Festigkeit relevant. Bei Zweiträgerbrückenkränen sind zusätzlich Torsionsmomente, Steghöhen und Euler-Knickfälle zu analysieren. Ins-

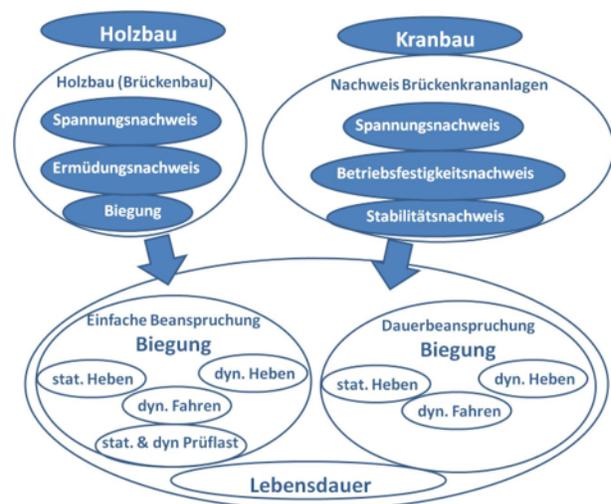


Figure 5: mögliche Nachweise aus der Kombination von Holz- und Kranbrückenanforderungen

gesamt zeigt sich, dass die Schnittstelle zwischen Holzbau und Kranbaunormen eine präzise Anpassung der Nachweiseführung erfordert. Die Normen bieten dafür ein konsistentes Regelwerk, das den sicheren und dauerhaften Einsatz von Holzwerkstoffen im Kranbau ermöglicht und somit das Innovationspotenzial nachhaltiger Tragwerkslösungen erschließt.

## 5 ANWENDUNG DER ÄHNLICHKEITSTHEORIE

Die Ähnlichkeitstheorie stellt ein etabliertes Konzept dar, welches in zahlreichen ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen zur Analyse, Entwicklung und Optimierung technischer Systeme und Prozesse eingesetzt wird. Insbesondere in der Strömungsmechanik sowie im Bereich der Konstruktion von Bauteilen und Baugruppen hat sie eine zentrale Bedeutung. Ihr wesentliches Potenzial liegt in der Reduktion des Entwicklungsaufwandes, indem entweder kleinere Vergleichsmodelle herangezogen oder geeignete Größenstufungen zur Realisierung ganzer Baureihen ermittelt werden. Zwei Systeme oder Prozesse gelten als physikalisch ähnlich, wenn sie durch identische Differentialgleichungen unter gleichen Anfangs- und Randbedingungen beschrieben werden können. In der Fachliteratur finden sich verschiedene Ansätze zur Herleitung dimensionsloser Kennzahlen, die eine unmittelbare Vergleichbarkeit von Systemen unterschiedlicher Maßstäbe ermöglichen. Klassische Beispiele hierfür sind die Reynolds- und die Mach-Zahl in der Strömungsmechanik sowie die Hooke- und die Froude-Zahl in der Konstruktionswissenschaft. [10] [11] [12] Gerade im Konstruktionsprozess ist daher eine präzise Analyse der relevanten physikalischen Einflussgrößen unabdingbar. Eine rein geometrische Größenstufung erweist sich in der Regel als unzureichend. Technische Systeme können erst dann als ähnlich betrachtet werden, wenn mindestens eine dimensionslose Kennzahl, die eine bestimmte physikalische Größe repräsentiert, sowohl im Grundentwurf als auch in den Folgeentwürfen (Maßstabsmodellen) konstant bleibt. [13] [14]

Zur systematischen Anwendung werden in der Konstruktionswissenschaft sogenannte Grundähnlichkeiten und spezielle Ähnlichkeiten unterschieden. Grundähnlichkeiten entsprechen elementaren dimensionslosen Kennzahlen, die häufig auch als Stufensprünge bezeichnet werden. Aus der Kombination mehrerer Grundähnlichkeiten lassen sich spezielle Ähnlichkeiten ableiten. So beschreibt beispielsweise die Verknüpfung des geometrischen Stufensprungs  $\phi_L$  mit dem kraftbezogenen Stufensprung  $\phi_F$  eine statische Ähnlichkeit, die durch die Hooke-Zahl charakterisiert wird. Werden zusätzlich zeitliche Stufensprünge  $\phi_t$  berücksichtigt, ergeben sich kinematische oder dynamische Ähnlichkeiten, die etwa in Form der Froude- oder Cauchy-Zahl Anwendung finden. Im Rahmen der Entwicklung modularer Kranträger aus Schichtholz wird die Anwendbarkeit der Ähnlichkeitstheorie auf relevante Kranprofile untersucht. Besonderes Augenmerk liegt auf den werkseitig definierten gestuften Plattendicken in mm (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 40) und den anisotropen Materialeigenschaften. Grundlage bildet die Erarbeitung der theoretischen Grundlagen, Anwendungskriterien sowie möglicher Fehlergrößen. Als Beispiel dient ein Brückenkran in verschiedenen Querschnittsausführungen. Ziel war es, aus auf dem Markt verfügbaren Plattenstärken skalierbare Faktoren und Stufensprünge abzuleiten.

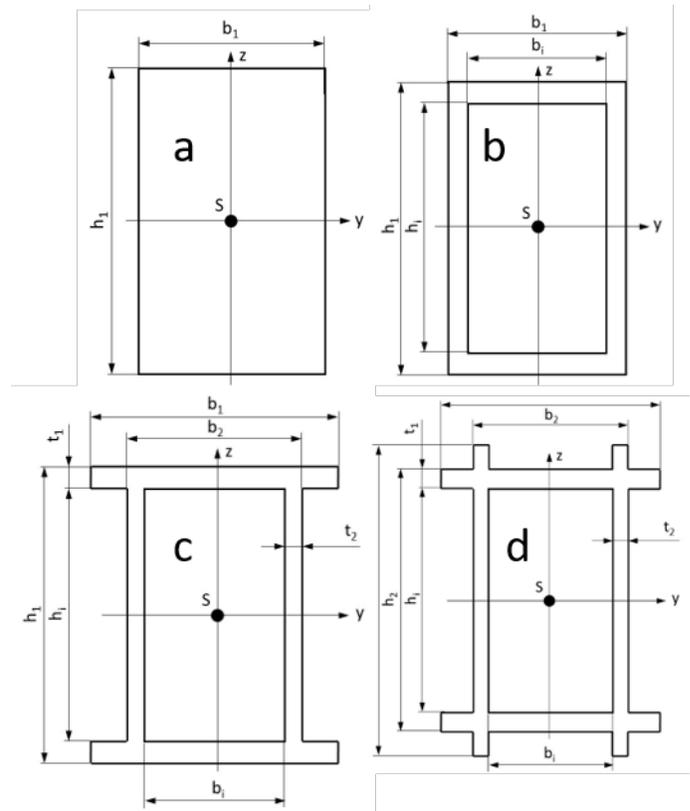


Figure 6: Kranprofile im mit a) Vollprofil, b) Hohlprofil, c) Kastenprofil 01 und d) Kastenprofil 02

Ein zentrales Ergebnis der Untersuchung der Anwendung der Ähnlichkeitstheorie für die Kranbrücken ist, dass bei konstanter Werkstoffausnutzung Trägheits- und elastische Kräfte quadratisch mit dem geometrischen Stufensprung skalieren ( $\phi_F = \phi_L^2$ ), während Gewichtskräfte kubisch zunehmen ( $\phi_F = \phi_L^3$ ). Technische Gebilde lassen sich daher nicht spannungskonstant skalieren, wenn Gewichtskräfte berücksichtigt werden müssen, was gerade bei horizontal verlaufenden Brückenkränen der Fall ist. Dies führt zu Abweichungen in der Werkstoffausnutzung und den Verformungswerten, sodass häufig nur Halbähnlichkeit erreicht wird. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft die Verläufe der Kraftstufensprünge.

Zusammenfassend ermöglicht die Ähnlichkeitstheorie bei der Entwicklung modularer Kranträger aus Schichtholz eine systematische Skalierung und Bewertung verschiedener Baugrößen. Sie ist damit ein wesentliches Hilfsmittel zur Effizienzsteigerung in der Konstruktion und zur Ableitung von Baureihen mit optimierter Material- und Ressourcennutzung.

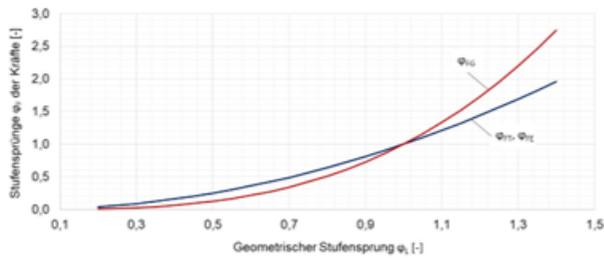


Figure 7: Stufensprünge der Kräfte in Abhängigkeit des geometrischen Stufensprungs

## 6 TARGET COSTING (VARIANTENVERGLEICH)

Das Projekt SUBSTANCE hat bereits nachgewiesen, dass Metallbauweisen kosteneffizient in Holzbauweisen überführt werden können, ohne dass funktionale Einschränkungen entstehen. [15] Die folgende Abbildung zeigt für eine Referenzspannweite von 10m bei einer angestrebten Traglast von etwa 5t verschiedene Holzwerkstoffe aus den Berechnungen zusammengefasst. Die Plattenstärken variieren, da die Kranbrücken je Werkstoff so ausgelegt wurden, dass mit minimalem Materialeinsatz die Traglast von 5t erreicht wird. Zum Vergleich ist eine Kranbrücke aus Birkenperrholz mit einer Plattenstärke von 40mm aufgenommen. Diese weist bei ähnlicher Traglast eine geringere Querschnittsgröße auf, zeigt jedoch ein deutlich höheres Eigengewicht und damit auch einen höheren Materialpreis. Die aufgeführten Materialpreise wurden Ende 2020 ermittelt. Obwohl sie aufgrund der Marktvolatilität nicht dem aktuellen Preisniveau entsprechen, spiegeln sie die relative Tendenz wieder. Für die Berechnungen wurden folgende Werte herangezogen: Stahl 0,68€/kg, Vollholzwerkstoff Fichte 1,8€/kg, Sperrholz Birke 1,5€/kg, Sperrholz BauBuche Q 1,5€/kg und Kunstharzpressholz (KHP) 3,5€/kg.

	Spannweite [m]	Plattenstärke [mm]	Höhe [mm]	Breite [mm]	Gesamtmasse [kg]	Traglast [t]	Materialpreis [€]	Bemerkung
Stahl		15	390	300	1710	5,00	1167	1-Träger, P32
Fichte Vollholz		-	800	400	2944	3,95	5299	
Birke (WVC)	10	21	450	690	5,82	767		2-Träger
Birke (WVC)			680	350	1034	5,50	1148	
BauBucheQ		40	580	300	1024	5,73	1536	
BauBucheS			520		947	5,72	1421	
KHP A840		21	570	320	997	5,84	2842	

Figure 8: Übersicht Werkstoffeinsatz Stahl vs. Holzwerkstoffe

Aus der Auflistung geht hervor, dass die bevorzugte Bauweise maßgeblich von Außendimension, Plattenstärke

und Materialart bestimmt wird. Bei vergleichbarer Tragfähigkeit (vgl. Abbildung) ist Birkenperrholz gegenüber einer konventionellen Stahlbauweise materialseitig kostengünstiger und weist ein geringeres Gewicht auf, allerdings bei größerer Bauhöhe und damit verändertem Aspektverhältnis. Ist diese Bauhöhe für die Substitution zulässig, bietet sich Birkenperrholz als Alternative an. Es sind sowohl BauBuche S als auch BauBuche Q aufgeführt. Beide unterscheiden sich in ihrem Schichtaufbau und damit in ihren mechanischen Eigenschaften. Bei BauBuche S verlaufen alle Furnierlagen parallel, während BauBuche Q etwa 15% querliegende Furnierlagen enthält, die von Herstellern insbesondere für flächige Tragelemente (z.B. Wandscheiben) oder zusammengesetzte Bauteile wie Hohlkastenträger und Rippenplatten empfohlen werden. Diese Querlagen liegen meist in der Nähe der Außenlagen und erhöhen Verzugstabilität sowie Maßhaltigkeit. Entsprechend unterscheiden sich auch die Elastizitätsmodule: BauBuche Q beträgt 12.800MPa, BauBuche S 16.800MPa. [16] Durch eine gezielte Modifikation des Schichtaufbaus, insbesondere durch die Lage der Querlagen näher zur Trägermitte, lässt sich eine werkstoffspezifische Optimierung für den Kranbau erreichen. Über eine maßgeschneiderte Anpassung der Materialstruktur, beispielsweise der Faserausrichtung oder des Lagenaufbaus, wie beim Kunstharzpressholz (KHP), können Bauhöhen weiter reduziert oder Traglasten bei gleicher Dimension erhöht werden.

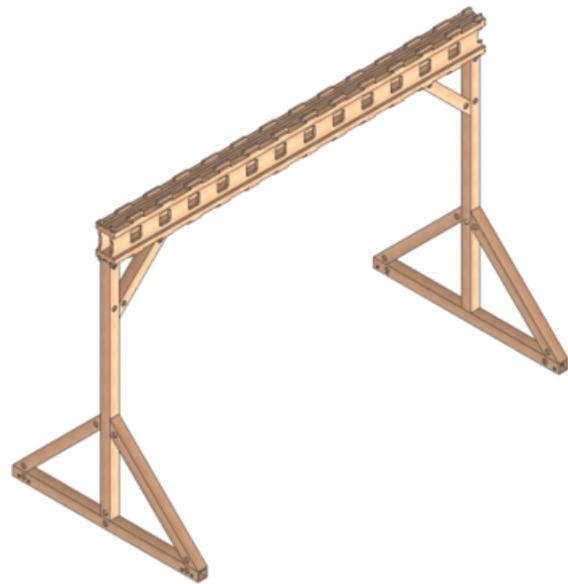
## 7 AUSLEGUNG UND UMSETZUNG

Holzwerkstoffe weisen aufgrund ihres geringen spezifischen Gewichts ein hohes Potenzial für den Leichtbau auf und bieten sich daher insbesondere für Anwendungen im Kranbau an, etwa zur Reduktion bewegter Massen. Durch den anisotropen Aufbau können die materialtypischen Eigenschaften, z.B. Zugfestigkeit und Steifigkeit in Faserrichtung, gezielt genutzt werden. Auf Grundlage einer geeigneten Werkstoffauswahl erfolgt die analytische und rechnerische Auslegung von Kranbrückenkonzepten unter Berücksichtigung von Spannungs-, Ermüdungs-, Betriebsfestigkeits- und Stabilitätsnachweisen. Die Anwendung der Ähnlichkeitstheorie hat gezeigt, dass eine geometrische Ähnlichkeit prinzipiell möglich ist. Aufgrund des verstärkten Einflusses der Gewichtskraft durch die horizontale Anwendung von Kranträgern resultiert jedoch eine halbähnliche Baureihe, da eine spannungskonstante Skalierung unter Berücksichtigung des Eigengewichts nicht gewährleistet werden kann. Zur Minimierung von Skalierungsabweichungen bezüglich der Gewichtskräfteinflüssen sollte das Prinzip der Verkleinerung von Modellzuständen (Downsizing) bevorzugt herangezogen werden. Zur Validierung wurden bereits Demonstratoren unterschiedlicher Baugrößen realisiert und erprobt. Dazu zählen ein Modellkranträger mit einer Spannweite von 2m, ein le-

ichter Portalkran für flexible Montageplätze mit einer Spannweite von 4m und einer Traglast von 1t sowie in der Umsetzung eine schienengebundene Kranbrücke mit einer Spannweite von 10m. Darüber hinaus werden strukturelle Gemeinsamkeiten in der Berechnung verschiedener Kranbauweisen identifiziert, um den Grad der Übertragbarkeit auf unterschiedliche Anwendungsfälle zu untersuchen. Damit werden die Grundlagen für maßstäbliche Untersuchungen von Krananlagen geschaffen und die Anwendbarkeit der Ähnlichkeitstheorie im Kranbau überprüft. Nach einer technischen Evaluierung anhand statischer und dynamischer Untersuchungen erfolgt eine Gegenüberstellung technischer, ökonomischer und ökologischer Kriterien im Vergleich zum Stand der Technik. Ziel ist es, die grundlegende Fragestellung zu beantworten, ob Holzwerkstoffe im Kranbau grundsätzlich eine technisch und wirtschaftlich vorteilhafte Alternative darstellen.



*Figure 9: CAD modularer Werkstattprotalkran mit Gesamtgewicht von 100kg und 0,5t Tragkraft, Hakenhöhe 2,3m, Fahrbreite 3m*



*Figure 10: CAD modularer Werkstattprotalkran mit Gesamtgewicht von 150kg und 1t Tragkraft, Hakenhöhe 2,3m, Fahrbreite 3m*

Forschungsfragen werden diese im Rahmen des aktuellen Projekts 2221HV103X mit Unterstützung der FNR und gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) vertiefend untersucht.

## 8 ZUSAMMENFASSUNG

Erste Ergebnisse und grundlegende Erkenntnisse belegen, dass der Einsatz von Holzwerkstoffen im modernen Kranbau prinzipiell realisierbar ist. Insbesondere bei der Verwendung von Furnierlagenwerkstoffen zeigt sich ein signifikantes Leichtbaupotenzial im Vergleich zu konventionellen Stahlbauweisen. Detaillierte Ausführungen hierzu finden sich u.A. in der Machbarkeitsstudie der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR, Projektnummer 2220HV060X). [17] Aufbauend auf den dort identifizierten



Figure 11: Aufbau modulare Doppelkranbrücke aus Birkenperrholz Eigengewicht von je 80kg und 2t Tragkraft, Hakenhöhe 3m, Fahrbreite 3,5m

## REFERENCES

- [1] E. Werner, "Fragen und antworten zu werkstoffen." 8. Auflage, Springer Vieweg, Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 2016.
- [2] D. Poll, "Leichter und nachhaltiger: Holz als trumpf im maschinenbau," in *Kostenreduzierung in der Intralogistik*. <https://www.produktion.de/technik/co2-neutrale-industrie/leichter-und-nachhaltiger-holz-als-trumpf-im-maschinenbau-675.html>, 2024.
- [3] P. Kluge, "Statisch-dynamische bauteilanalyse durch laststeigerungsversuche am bei-spiel von lastaufnahmemitteln in holzbauweise – teil 1 und 2 in holztechno-logie," in *Holztechnologie*, 2019.
- [4] "Fnr-projektbeitrag: Sichere, leichte, ökologische kransysteme aus holzwerkstoffen!" 2025.
- [5] G. M. Insights, "Kranmarktanalyse," 16.03.2024.
- [6] A. Purkus, "Charta für holz 2.0: Kennzahlenbericht 2019 forst holz." Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow-Prüzen, 2019.
- [7] M. Golder, "Ein beitrage zur kostenabschätzung für brückenkranträger in kastenbauweise auf basis ihrer bemessungsgrundlagen und dimensionierungsnachweise." Universität Karlsruhe, 2004.
- [8] P. Römisch, in *Materialflusstechnik*. Vieweg+Teubner Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden GmbH, 1986.
- [9] "Krane; begriffe, einteilung nach der bauart," in *DIN 15001-1 - 1973-11*, 1973.
- [10] J. Wiedemann, "Leichtbau. elemente und konstruktion," in 3. Auflage. Springer-Verlag Heidelberg Berlin New York, 2007.
- [11] T. Kohonen, "Strömungslehre," in *Vorlesungsskript. Lehrstuhl der Strömungsmechanik*. Technische Universität Chemnitz, 2006.
- [12] "Übungsaufgaben zur Ähnlichkeitstheorie." VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, 1970.
- [13] W. Pahl, G.; Beitz, "Methoden und anwendung," in *Konstruktionslehre*. 7. Neubearbeitete Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2006.
- [14] M. Breiing. A.; Flemming, "Theorie und methoden des konstruierens," in *Technical Report TKK-F-A601*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1993, 1993.
- [15] S. Eichhorn, "Substitution energieintensiver stahl- und aluminiumwerkstoffe durch nachwachsende rohstoffe in der fördertechne," in *Schlussbericht*. TU Chemnitz, 2017.
- [16] Pollmeier, "Baubuche produktdatenblatt," in *Technical Report TKK-F-A601*, 28.05.2021.
- [17] P. E, "Krananlagen in holzbauweise." TU Chemnitz, 2023.

---

**Dr.-Ing. Eric Penno**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Förder- und Materialflusstechnik der TU Chemnitz

**Dr.-Ing. Sven Eichhorn**, Forschungsgruppenleiter Anwendungstechnik Erneuerbarer Werkstoffe an der Professur Förder- und Materialflusstechnik der TU Chemnitz

**Dipl.-Ing. Tobias Schöneck**, Forschungsgruppenleiter Sichere Mechatronische Systeme an der Professur Förder- und Materialflusstechnik der TU Chemnitz

**Prof. Dr.-Ing. Markus Golder**, Professurleiter der Professur Förder- und Materialflusstechnik der TU Chemnitz

Address: Professur Förder- und Materialflusstechnik, Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz, Deutschland, Phone: +49 371 531-31558  
E-Mail: eric.penno@mb.tu-chemnitz.de