

Skalierbarer modularer Brückenkranträger in Segmentbauweise

A Scalable, Modular, Segmented Overhead Crane Girder

Steffen Bolender
Jan Oellerich
Meike Braun
Markus Golder

*Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL)
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Die Herstellung und der Transport von Brückenkränen stellen aufgrund der großen Dimensionen eine zeit- und kostenintensive Herausforderung dar. In diesem Beitrag wird ein neuartiges Konzept für einen modular aufgebauten Brückenkranträger vorgestellt. Diese Kranbrücke besteht hierbei aus kleineren standardisierten Einzelbauteilen, die in Massenfertigung hergestellt, auf Europool-Paletten an den Einsatzort transportiert und dort zusammengebaut werden können. Die Verbindung der Einzelteile wird über Zuganker realisiert, die nur an den Enden mit der Kranbrücke verbunden werden und somit die gesamte Kranbrücke verspannen.

Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Beschreibung der segmentierten Kranbrücke und des Funktionsprinzips. Weiterhin werden die ersten Untersuchungsergebnisse zu den statischen sowie dynamischen Eigenschaften des Trägers betrachtet.

[Schlüsselwörter: Brückenkranträger, Tragwerksstruktur, Segmentbauweise, Modularität, Fachwerk]

Manufacturing and transporting of overhead crane girders can be a time and cost-intensive challenge due to their large size. In this work, a new concept for a modularly constructed crane girder will be presented. This crane girder consists of small standardized pieces, which can be produced in a large scale, transported on Europool pallets to their destination and assembled on-site. The connection of the single parts is done via tie rods, which are connected to the ends of the girder and pre-load the crane bridge.

This contribution focuses on the description of the segmented crane girder and its functional principle. Furthermore, the first research results regarding the static and dynamic behavior will be presented.

[Keywords: Overhead crane girder, support structures, segmented construction, Modularity, Truss]

1 MOTIVATION

Brückenkrane sind die am meisten verbreitete Kranbauart für den Gütertransport in Werkhallen. Sie werden sowohl für den Umschlag von Stückgütern als auch für den Schüttgutumschlag mittels Greifern verwendet. Durch den quaderförmigen Arbeitsraum dieser Krane kann eine große Arbeitsfläche abgedeckt werden. Außerdem gibt es durch die aufgeständerte Bauweise keine Behinderung der Verkehrsfläche.

Die Herstellung und der Transport von Brückenkränen stellen eine zeit- und kostenintensive Herausforderung dar. Grund hierfür sind die großen Dimensionen der Kranbrücken, die heute als gewalzte Profil- oder geschweißte Kastenträger an einem Stück hergestellt werden. Zum einen benötigt die Herstellung viel Platz, zum anderen können die großen und schweren Kranträger oft nur über spezielle Schwerlasttransporte zu ihrem Einsatzort befördert werden. Insbesondere bei längeren Strecken stoßen diese Transporte unter Umständen an infrastrukturbedingte Grenzen, sowie auf bürokratische Hürden. [Gol04] [BSK15]

Diese Problematik wurde am IFL vertieft untersucht und daraufhin ein neuartiges Konzept eines modular aufgebauten Kranträgers im Baukastensystem entwickelt. Der modulare Aufbau aus standardisierten Einzelteilen lässt zugleich eine kostengünstige Fertigung der Kranbrücke als Massenprodukt zu. Der Transport gestaltet sich im Gegensatz zum herkömmlichen Kranträger als weniger aufwendig, da die Bauteile auf wenigen Europool-Paletten zum Einsatzort transportiert und direkt am Einsatzort zusammengebaut werden können. Beispielsweise kann eine 20 m lange Kranbrücke – im Gegensatz zu dem üblicherweise notwendigen Transport mittels Sattelschlepper oder Spezialtransporter – auf nur fünf Europool-Paletten (Abbildung 1) mit einem kleinen Lastkraftwagen an den Aufstellort befördert werden.

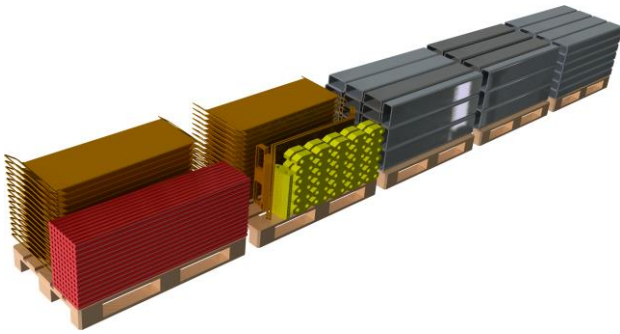


Abbildung 1. Transport einer 20 m langen Kranbrücke mit 16 t Traglast auf nur fünf Europool-Paletten

2 GRUNDLAGEN

Im folgenden Abschnitt werden die Grundlagen und der Stand der Technik für Brückenkranträger erläutert.

2.1 AUFBAU VON BRÜCKENKRANEN

Die zwei Hauptbestandteile eines Brückenkrans sind die Kranbahn und die Kranbrücke. Die aufgeständerte Kranbahn wird von der Hallentragkonstruktion aufgenommen, wodurch die Verkehrsfläche nicht behindert wird. Die Kranbrücke besteht aus ein oder zwei Kranträgern, zwei Kopfträgern und der Katze. Die Kopfträger befinden sich an den Enden der Kranträger und nehmen die Antriebs- und Laufräder auf. Die Katze verfährt wiederum quer zur Laufrichtung auf der Kranbrücke, an ihr ist das Hubwerk befestigt.

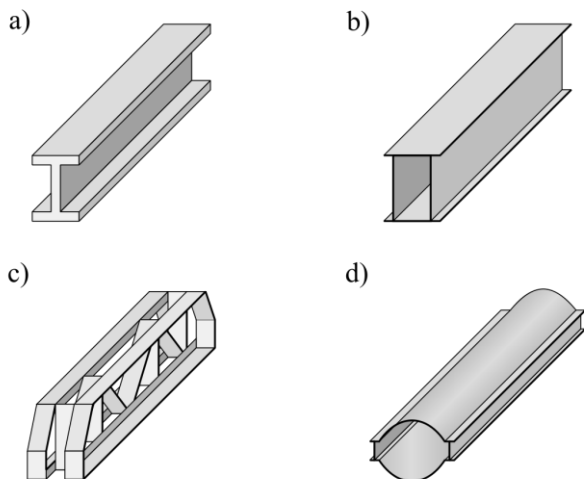


Abbildung 2. Bauformen von Kranbrücken: a) I-Profilträger b) Kastenträger c) V-Profilkran d) ovaler Kastenträger

Brückenkrane werden entweder als Einträger- oder als Zweiträgerbrückenkran ausgeführt. Einträgerbrückenkrane werden üblicherweise für geringe Lasten mit einer Hängekatze verwendet, während Zweiträgerbrückenkrane aus zwei Brückenträgern bestehen und damit für schwerere Lasten und größere Spannweiten geeignet sind.

Ein Großteil der Kranbrücken wird heute entweder als gewalzter I-Profilträger oder als geschweißter Kastenträger ausgeführt. Kastenträger sind insbesondere für höhere Spannweiten und Traglasten geeignet [Arn08]. In den letzten Jahren wurden weitere Ausführungen für die Kranbrücke untersucht und teilweise auch umgesetzt, wie beispielsweise der DEMAG V-Profilkran der Terex MHPS GmbH [Bar15] oder der von der Hans Künz GmbH patentierte ovale Kastenträger [Kla17].

2.2 NACHWEISE BEI KRANANLAGEN

Um den sicheren Betrieb eines Brückenkrans zu gewährleisten müssen die Vorgaben der gültigen Norm für Krananlagen EN 13001 [EN13001-1] [EN13001-2] [EN13001-3-1] berücksichtigt werden. Hierin werden der Nachweis der statischen Festigkeit, der Nachweis der elastischen Stabilität und der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit gefordert.

2.2.1 NACHWEIS DER STATISCHEN FESTIGKEIT

Für den Nachweis der statischen Festigkeit werden alle auftretenden Spannungen unter statischer und dynamischer Belastung der Kranbrücke betrachtet. Um die dynamischen Belastungen des Krans durch das Heben und Senken der Last abbilden zu können, werden Dynamikbeiwerte verwendet, welche das Verhältnis aus der maximal auftretenden dynamischen Last und der statischen Last abbilden. Des Weiteren werden Sicherheitsbeiwerte herangezogen um Toleranzen, Schwankungen von Materialeigenschaften und Rechenungenauigkeiten zu berücksichtigen. Bei der Auslegung des Krans wird auf die sogenannte *Methode der Grenzzustände* zurückgegriffen, wobei alle auftretenden Lasten einzeln mit dem jeweiligen Teilsicherheitsbeiwert und Dynamikbeiwert multipliziert werden. [EN13001-1] [EN13001-2] [EN13001-3-1]

2.2.2 NACHWEIS DER ELASTISCHEN STABILITÄT

Zum Nachweis der elastischen Stabilität werden drei Aspekte betrachtet [EN13001-3-1]:

- Durchbiegung
- Horizontale und vertikale Eigenfrequenzen
- Knicken und Beulen

Die vertikale Durchbiegung steht mit der Amplitude beim Schwingen der Kranbrücke und mit der Neigung der Kranbrücke in Zusammenhang. Zu hohe Amplituden stellen beim genauen Platzieren einer Last ein Problem dar, während zu große Neigungen der Kranbrücke beim Verfahren des Hubwerks auf der Kranbrücke hinderlich sein können. Maximal empfohlene Durchbiegungen für Brückenkrane werden im Anhang zur ISO-Norm 22986 „Cranes – Stiffness – Bridge and Gantry Cranes“ angegeben. Abhängig vom Einsatzgebiet des Krans sollen für einen

Brückenkran Durchbiegungen zwischen 1/250 und 1/1500 der Spannweite nicht überschritten werden [ISO22986].

Die minimalen Eigenfrequenzen der Kranbrücke müssen ebenfalls betrachtet werden z.B. um einen instabilen Betrieb aufgrund von Resonanzphänomenen zu vermeiden. Die in der ISO 22986 angegebenen minimalen Eigenfrequenzen für Brückenkranen bis zu einer Länge von 25 m und bei Antrieb über polumschaltbare Motoren betragen 2,4 Hz für vertikale Eigenfrequenzen und 1,8 Hz für die horizontalen Eigenfrequenzen [ISO22986].

2.2.3 NACHWEIS DER ERMÜDUNGSFESTIGKEIT

Um Schadensfälle durch Bildung und Ausbreitung von Rissen an kritischen Stellen der Kranbrücke zu vermeiden, muss die Ermüdungsfestigkeit der Konstruktion betrachtet werden. Hierfür wird zum einen auf die Schwingbreite (Differenz zwischen maximaler und minimaler Spannung in einem Spannungsspiel), zum anderen auf den charakteristischen Wert der Ermüdungsspannung von kritischen Stellen, wie beispielsweise Schweißnähte, zurück-

gegriffen. Liegen keine Angaben für die Ermüdungsspannung vor, müssen Versuche an realen Teilen durchgeführt werden um die charakteristischen Werte zu ermitteln.

3 DIE MODULARE KRANBRÜCKE

Die neuartige modulare Kranbrücke ist in Anlehnung an eine zweidimensionale Fachwerkkonstruktion aufgebaut – zusammengesetzt aus einem Ober- und Untergurt aus Hohlprofilen – welche über diagonale Bleche miteinander verbunden werden. Die Räder der Katze verfahren auf den äußeren Kanten der Hohlprofile des Untergurts. An den Knotenpunkten zwischen den Blechen und den Profilen werden entsprechende Verbindungselemente eingebaut, die die Bauteile gegeneinander abstützen.

Eine Besonderheit des Trägers besteht in der Verbindung der einzelnen Komponenten. Anstelle von Schweißnähten oder einzelnen Schraubverbindungen, wird die komplette Konstruktion durch Zuganker zusammengehalten, die über die komplette Länge der Kranbrücke verlaufen. Zur Montage werden die Einzelteile ineinandergesteckt und anschließend durch die Zuganker verspannt.

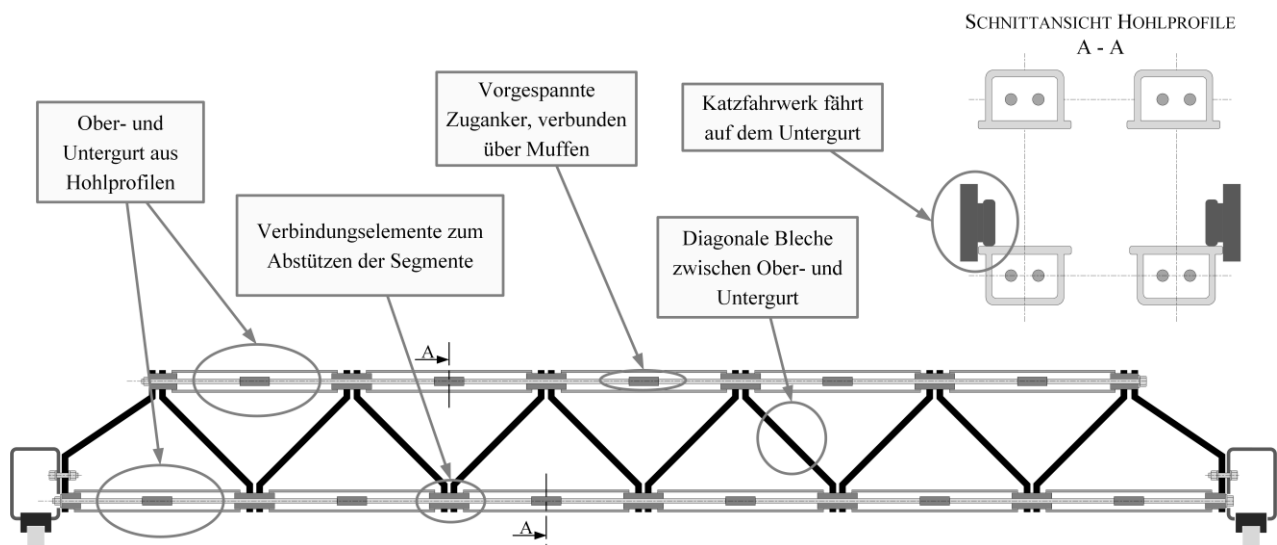


Abbildung 3. Prinzipskizze des neuartigen Kranträgerkonzepts

3.1 FACHWERKSKONZEPT

Der Verbund aus Blechen und Profilen kann zur Betrachtung der Kräfteverhältnisse vereinfacht als ebenes Fachwerk dargestellt werden.

Es wurden verschiedene Fachwerkkonzepte untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass ein Strebenfachwerk ohne Pfosten die auftretenden Kräfte durch die Last am Kran am besten verteilen kann. Insbesondere die Fachwerkstreben, die als gekantete Bleche ausgeführt sind, werden bei diesem Konzept geringer belastet. Abhängig von der Position des Hubwerks werden die Bleche entweder auf

Druck oder Zug belastet. Bleche, die in Richtung der Belastung zeigen, erhalten Zugkräfte, auf die anderen Bleche wirken Druckkräfte.

Unabhängig von der Stelle der Belastung durch die Nutzlast wird der Obergurt immer auf Druck belastet, im Untergurt treten dagegen im Lastfall immer Zugkräfte auf. Diese Zugkräfte im Untergurt müssen durch die Vorspannung der Zuganker kompensiert werden um ein Klaffen zwischen den Segmenten zu verhindern.

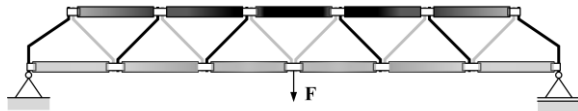


Abbildung 4. Zug (hell)- und Druck (dunkel)-Verteilung im Strebenfachwerk bei Angriff einer mittigen Last ohne Vorspannung

3.2 ANORDNUNG DER PROFILE

Die Profile, die den Ober- und Untergurt des Fachwerks bilden, bestehen aus Hohlprofilen. Deren Geometrie und Abmessungen wurden so gewählt, dass im Ober- und Untergurt jeweils gleiche Profile verwendet werden können. Es gibt jeweils zwei rechteckige Hohlprofile im Ober- und Untergurt. Diese sind aus einem U-Profil und einem darauf angeschweißten I-Profil zusammengesetzt. Somit ist der Träger symmetrisch aufgebaut und es können Gleichteile für den Ober- und Untergurt verwendet werden.

Die Durchbiegung und die Eigenfrequenz des Trägers werden hauptsächlich durch das Flächenträgheitsmoment des Trägerquerschnitts beeinflusst. Um den Einfluss der jeweiligen Abmessungen auf das Flächenträgheitsmoment zu untersuchen, wurde eine Parameteranalyse durchgeführt. Hierbei hat sich herausgestellt, dass die Steifigkeit des Trägers insbesondere durch die Höhe des Gesamtträgers verbessert werden kann bei gleichzeitig nur geringer Erhöhung des Trägergewichts.

3.3 DIE ZUGANKER

Es werden pro Hohlprofil zwei Zuganker eingesetzt. Damit gibt es insgesamt vier Zuganker im Untergurt und vier Zuganker im Obergurt. Die Zuganker werden benötigt um die gesamte Konstruktion zusammenzuhalten. Hierbei muss ein Klaffen verhindert sowie der Reibschluss an den Kontaktstellen sichergestellt werden um ein Verrutschen der Segmente zu vermeiden.

Die Zuganker werden als segmentierte Schraubverbindungen konstruiert, die aus einzelnen mit Muffen verbundenen Gewindestangen besteht. An den Enden werden die Zugankern über einen Schraubenkopf und eine Mutter an den Endblechen befestigt.

Wie in Abschnitt 3.1 dargestellt, treten bei Belastung im Untergurt Zugkräfte und im Obergurt Druckkräfte auf.

Um diese Zugkräfte im Untergurt zu kompensieren, werden die Zuganker im Untergurt stärker angespannt, als die Zuganker im Obergurt. Über die Vorspannung der Obergurtzuganker kann die Durchbiegung der Kranbrücke im unbelasteten Fall eingestellt werden.

3.4 ANPASSUNG DER LÄNGE

Da die Spannweite der Kranbrücke stufenlos variieren kann, muss eine Anpassung der Trägerlänge möglich sein. Die Herausforderung hierbei besteht vor allem darin, dass die individuelle Anpassung der Blechwinkel fertigungs-

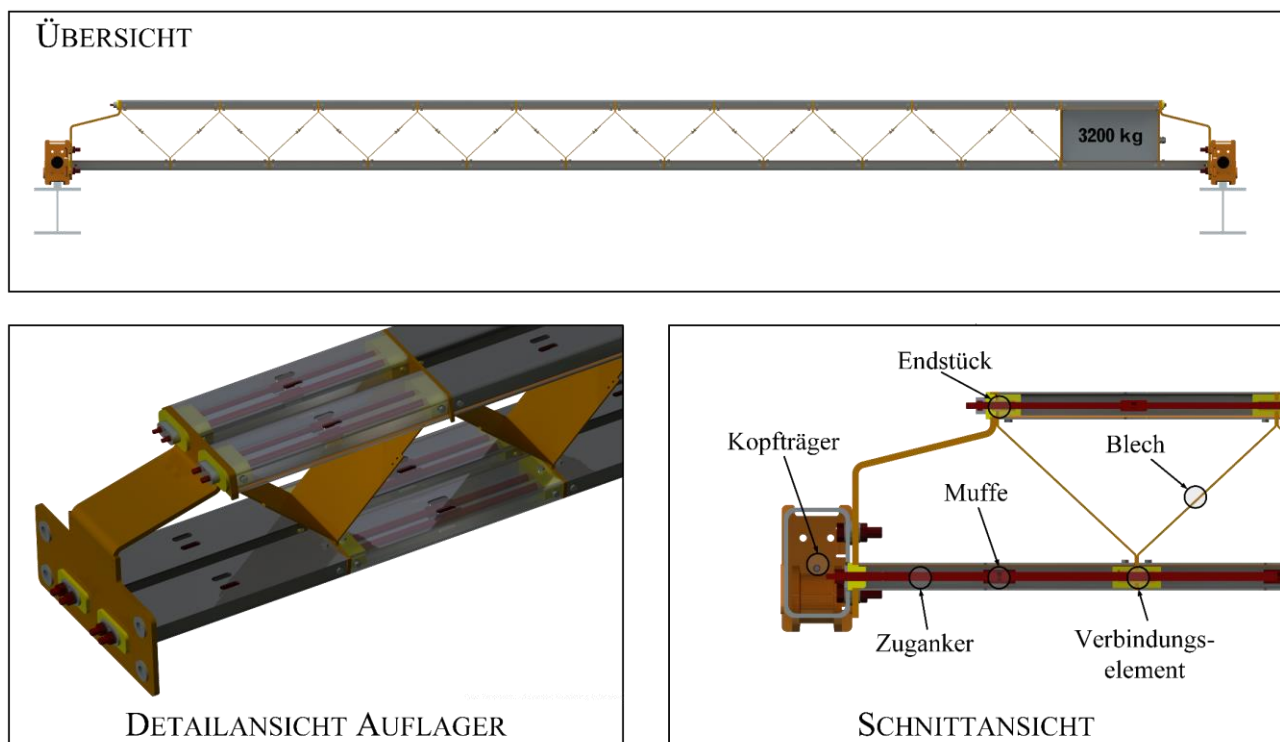


Abbildung 1. 3D-CAD-Darstellung einer Kranbrücke mit 6,1 m Spannweite und 3,2 t Traglast.

technisch nur unter hohem Aufwand realisierbar ist. Deshalb wird an einer Seite der Kranbrücke ein Kasten aus vier zueinander senkrechten Blechen hergestellt. Diese Bleche und die entsprechenden Hohlprofile sind damit die einzigen Komponenten die für jede Kranbrücke individuell hergestellt werden müssen, die anderen Bauteile können aus dem Baukasten entnommen werden. Der so entstehende Kasten kann als Schaltschrank zur Unterbringung der Spannungsversorgung und Steuerungstechnik verwendet werden.

3.5 UMSETZUNG DES KONZEPTS

Das Konzept wird zunächst für eine 6,1 m lange Kranbrücke mit einer Traglast von 3,2 t umgesetzt. Diese Kranbrücke hat eine Höhe von 360 mm und eine Breite von 300 mm, die Länge der einzelnen Segmente beträgt 500 mm. Die einzelnen Bauteile werden aus Stahl hergestellt, mit Ausnahme der Verbindungselemente, welche aus Aluminium bestehen. Das Gewicht der Kranbrücke ohne Kopfträger beträgt ca. 520 kg.

4 FINITE-ELEMENTE-SIMULATIONEN ZUM STATISCHEN VERHALTEN

Zur genaueren Betrachtung der Spannungen und der Durchbiegungen werden verschiedene Simulationen mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) durchgeführt.

4.1 DURCHBIEGUNG

Zunächst wird auf die Durchbiegung des Trägers eingegangen. Hierbei sollen die in Abschnitt 2.2.2 angeführten Maximalwerte berücksichtigt werden. Die Kranbrücke wird zunächst im eingebauten unbelasteten Zustand betrachtet, hierbei wirkt nur die Vorspannung der Zuganker und das Eigengewicht der Brücke. Anschließend wird die Durchbiegung unter einer mittigen Last behandelt.

4.1.1 KRANBRÜCKE OHNE LAST AM HUBWERK

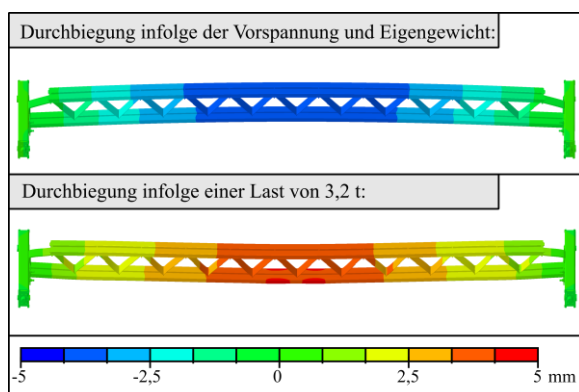


Abbildung 5. FEM-Simulation der statischen Durchbiegung unbelastet und bei einer Belastung mit 3,2 t.

Im unbelasteten Zustand biegt sich die Kranbrücke durch die unterschiedlichen Vorspannungen im Ober- und

Untergurt leicht nach oben. Die „negative“ Durchbiegung beträgt hierbei ca. 4 mm.

4.1.2 KRANBRÜCKE UNTER MITTIGER LAST AM HUBWERK

Im nächsten Schritt wird die Kranbrücke mit einer mittig positionierten Last von 3,2 t belastet. Hierdurch beträgt die absolute Durchbiegung unter Last 4,2 mm. Addiert man hierzu die Durchbiegung aus der Vorspannung von 4 mm ergibt sich eine Gesamtdurchbiegung von 8,2 mm, dies entspricht ca. 1/740 der Trägerlänge von 6100 mm. Die Durchbiegung liegt damit im Bereich der Empfehlungen in der ISO-Norm.

4.2 SPANNUNGEN

Für den Nachweis der statischen Festigkeit wird die von-Mises-Vergleichsspannung verwendet. Diese Vergleichsspannung berechnet aus den Hauptspannungen eine äquivalente Spannung, die direkt mit der Streckgrenze des verwendeten Materials verglichen werden kann.

Die Spannungen werden ebenfalls zunächst im eingebauten unbelasteten Zustand und anschließend unter Einwirkung einer mittigen Last betrachtet. Auf weitere untersuchten Katzpositionen wird im Rahmen dieses Beitrags nicht eingegangen.

4.2.1 KRANBRÜCKE OHNE LAST AM HUBWERK

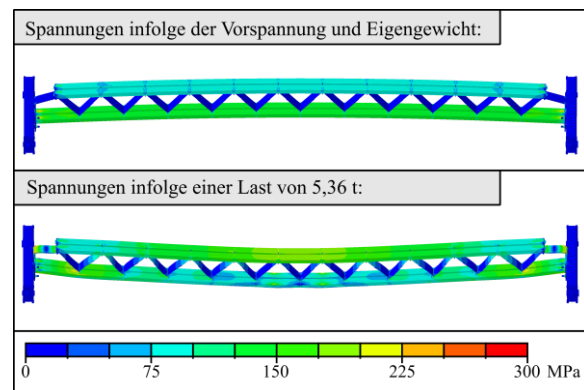


Abbildung 6. FEM-Simulationen der Spannungen unbelastet und bei einer Belastung von 3,2 t mit Dynamikbeiwert 1,25 und einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,34.

Die im unbelasteten Zustand auftretenden Spannungen bestehen zum Großteil aus Druckspannungen, die durch die Vorspannung der Zuganker hervorgerufen werden. Die Druckspannungen sind über die gesamte Trägerlänge konstant, wobei bedingt durch die unterschiedlichen Vorspannungen im Untergurt höhere Spannungen als im Obergurt auftreten.

4.2.2 KRANBRÜCKE UNTER MITTIGER LAST AM HUBWERK

Bei einer mittigen Belastung durch die Last von 3,2 t multipliziert mit einem Dynamikbeiwert von 1,25 und einem Sicherheitsbeiwert von 1,34 treten zusätzlich zu den Druckspannungen von den Zugankern Biegespannungen auf. Diese Biegespannungen wirken im Untergurt der Druckspannung entgegen. Im Untergurt sind die globalen Vergleichsspannungen in der Mitte der Kranbrücke dadurch geringer als im unbelasteten Zustand. Hierzu addieren sich noch die lokalen Spannungen durch den Radkontakt. Im Obergurt erhöhen sich hingegen die globalen Spannungen. Die maximal auftretenden Globalspannungen liegen im Bereich von ca. 200 MPa im Obergurt und damit unterhalb der Streckgrenze von beispielsweise Baustahl der Güte S355.

4.3 EIGENFREQUENZEN

Die Eigenfrequenzen der Kranbrücke wurden ebenfalls betrachtet. Diese betragen laut FEM-Analyse horizontal 5,8 Hz und vertikal 11,8 Hz und liegen damit weit oberhalb der in Abschnitt 2.2.2 angegebenen Grenzwerten.

5 DYNAMISCHES VERHALTEN

Neben der statischen Betrachtung der segmentierten Kranbrücke sollen im weiteren Verlauf des Projektes die dynamischen Eigenschaften untersucht werden. Insbesondere die Kenntnis der Eigenfrequenzen ist dabei für die spätere Anwendung von hoher Bedeutung. Die Grundlage hierfür bildet eine geeignete Modellierung der Tragwerksstruktur, durch welche zum einen die wesentlichen Elemente sowie Parameter erfasst werden und die zum anderen eine möglichst genaue Beschreibung des realen Schwingungsverhaltens ermöglicht. Aufgrund der Verbindung unterschiedlicher Module sowie durch die Einbringung einer zusätzlichen Vorspannung in die Struktur bietet es sich an, ein diskretes Modell der segmentierten Kranbrücke zu entwickeln. Dabei ist eine Reduktion der jeweiligen Systemkomponenten auf diskrete Elemente erlaubt, sofern sich diese durch das Vorherrschen einer bestimmten Eigenschaft, wie beispielsweise einer Trägheit oder einer Steifigkeit, auszeichnen. Weiterhin gilt es zu überprüfen, inwiefern das Schwingungsverhalten der segmentierten Kranbrücke durch die Annäherung an einen kontinuierlichen Balken beschrieben werden kann.

6 DAS BAUKASTENSYSTEM

Zunächst wurde der neuartige Träger nur für ausgewählte Spannweiten und Traglasten umgesetzt. Durch den modularen Aufbau der Kranbrücke kann diese vergleichsweise einfach als Baukastensystem realisiert werden. Ziel dieses Baukastensystems soll es sein, mit möglichst wenig

Varianten eine große Bandbreite an Spannweiten und Traglasten abdecken zu können. Durch eine Beschränkung der Variantenvielfalt ist eine Massenfertigung möglich, wodurch die Herstellkosten reduziert werden können.

Zur Festlegung der Baugrößen soll auf verschiedene Optimierungsalgorithmen zurückgegriffen werden. Die Zielfunktion beinhaltet hierbei zum einen die Kosten für Material und Herstellung der Einzelteile und zum anderen die Eigenschaften der Kranbrücke bezüglich Steifigkeit und Eigengewicht. Einflussfaktoren sind hierbei unter anderem die üblichen Abmessungen vergleichbarer konventioneller Kranbrücken, die notwendige Betriebsfestigkeit sowie die erwarteten Stückzahlen.

Ein Beispiel, wie ein solches Baukastensystem mit nur wenigen Varianten aussehen kann, ist in Abbildung 7 dargestellt. In dem Diagramm werden die Einsatzbereiche für verschiedene Segment- und Trägerabmessungen abgebildet. Es werden dabei verschiedene Trägerhöhen (H), Segmentlängen (L) und Hohlprofilabmessungen (Höhe h x Breite b x Blechstärke s) kombiniert.

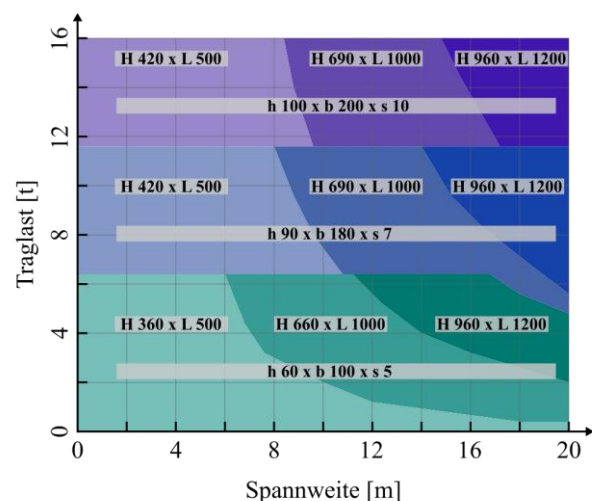


Abbildung 7. Mögliches Baukastensystem für Traglasten bis 16 t und Spannweiten bis 20 m.

7 VORTEILE DES NEUARTIGEN KRANTRÄGERS

Durch den Einsatz dieses neuen Tragwerkkonzepts ergeben sich vielfältige Möglichkeiten sowohl für Hersteller als auch für Nutzer von Krananlagen. Durch das Baukastensystem ist beispielsweise erstmals eine Massenfertigung von Kranbrücken möglich. Somit können die Herstellungskosten reduziert werden, da keine großen Hallen zum Fertigen von Profil- und Kastenträgern mehr benötigt werden. Weitere Vorteile ergeben sich in der Transportlogistik: Anstelle eines kosten- und zeitintensiven Schwertransports, können die Einzelteile der Kranbrücke auf Paletten geladen in einem kleinen Lkw transportiert werden. Durch die Produktion auf Lager und den Wegfall

der aufwendigen Transportplanung kann die Zeit zwischen Bestellung und Montage für den Kunden reduziert werden. Durch den kompakten Transport zeigen sich weitere Vorteile bei der Montage und Demontage von Kranbrücken an schwer zugänglichen Stellen, beispielsweise im Kraftwerks- oder Schiffsbau und an abgelegenen Orten z.B. im Gebirge. Des Weiteren kann die Kranbrücke wegen ihrer einfachen Montage, Demontage und Wiederverwendbarkeit auch für temporäre Krane z.B. auf Baustellen verwendet werden.

8 FAZIT UND AUSBLICK

Die bisherigen Untersuchungen des Kranträgers haben gezeigt, dass in dem neuartigen Aufbau ein großes Potential vorhanden ist. Für die bisher betrachteten Abmessungen konnten die notwendigen Nachweise nach den gültigen Normen erbracht werden.

Durch den modularen Aufbau ergeben sich große Vorteile sowohl in der Produktion als auch im Transport von Brückenkranträgern. Im nächste Entwicklungsschritt soll ein Prototyp aufgebaut werden zur Validierung des Montagekonzepts sowie des statischen und dynamischen Verhaltens der neuen Konstruktion. Anhand von realen Bauteilen soll die Betriebsfestigkeit des Krans untersucht werden.

9 FÖRDERHINWEIS

Dieses Projekt wird im Rahmen eines ZIM Kooperationsprojekts (Förderkennzeichen: ZF4251401LL6) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

LITERATUR

- [Arn08] Arnold, D., H. Isermann, A. Kuhn und H. Tempelmeier: *Handbuch Logistik* (3. Aufl.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008
- [Bar15] Barde, Sabine: *Krankonzept mit einem klaren Profil In: Logistik Journal Februar 2015*, Gilching: Henrich Publikationen, 2015.
- [BSK15] Ausschuss multimodaler Schwergutverkehr der BSK e.V.: *Masterplan Schwergut*; Frankfurt am Main: Bundesfachgruppe Schwertransport und Kranarbeiten 2015
- [EN13001-1] DIN EN 13001-1 *Krane – Konstruktion allgemein – Teil 1: Allgemeine Prinzipien und Anforderungen*. Deutsches Institut für Normung. Beuth-Verlag, Berlin, 2015
- [EN13001-2] DIN EN 13001-2 *Krane – Konstruktion allgemein – Teil 2: Lasteinwirkungen*. Deutsches Institut für Normung. Beuth-Verlag, Berlin, 2014
- [EN13001-3-1] DIN EN 13001-3-1 *Krane – Konstruktion allgemein – Teil 3-1: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Stahltragwerken*. Deutsches Institut für Normung. Beuth-Verlag, Berlin, 2013
- [Gol04] Golder, Markus: *Ein Beitrag zur Kostenabschätzung für Brückenkranträger in Kastenbauweise auf Basis ihrer Bemessungsgrundlagen und Dimensionierungsnachweise*. Dissertation, Universität Karlsruhe, Institut für Fördertechnik und Logistik, 2004.
- [ISO22986] *ISO 22986 Cranes – Stiffness – Bridge and gantry cranes*. International Organization for Standardization, Genf 2007
- [Kla17] Klapper, Georg: *Crane Girder for a Crane*. Patent, Hans Künz GmbH, United States Patent Application Publication US 2017/0081153 A1, 2017

M.Sc. Steffen Bolender, Research Associate at the Institute for Material Handling and Logistics (IFL), Karlsruhe Institute of Technology (KIT).

Steffen Bolender studied Mechanical Engineering at Karlsruhe Institute of Technology (KIT) from 2009 to 2015. Since 2015, he is a research associate in the department of Warehouse and Material Handling Technology at IFL.

E-Mail: Steffen.Bolender@kit.edu

M.Sc. Jan Oellerich, Research Associate at the Institute for Material Handling and Logistics (IFL), Karlsruhe Institute of Technology (KIT).

Jan Oellerich studied Mechanical and Process Engineering at the Technical University of Darmstadt from 2007 to 2015. Since 2015 he works as a research associate in the department of Fusion and Engineering at IFL.

E-Mail: Jan.Oellerich@kit.edu

Dr.-Ing. Meike Braun is working as head of the department of Warehouse and Material Handling Technology, Institute for Material Handling and Logistics (IFL), Karlsruhe Institute of Technology (KIT).

Meike Braun studied mechanical engineering Mechanical Engineering at Karlsruhe Institute of Technology (KIT) from 2006 to 2011. Since November 2011, she works at IFL, in July 2016 she graduated. Her research topics are simulation, measurements, improvement of overall energy efficiency of material handling systems.

E-Mail: Meike.Braun@kit.edu

Prof. Dr.-Ing. Markus Golder, head of the chair of Safe Mechatronic Systems for Intralogistics (SIMESI) at the Institute for Material Handling and Logistics (IFL), Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

E-Mail: Markus.Golder@kit.edu

Address: Institute for Material Handling and Logistics (IFL), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Gotthard-Franz-Straße 8, 76131 Karlsruhe,
Phone: +49 (0)721/608-48619,