

# Echtzeitfähiger Vorsteuerungsentwurf für eine Mehrseil-Krananlage Real-Time Capable Feedforward Control for a Multi-Cable Crane

E. Hildebrandt, C. Woernle, Universität Rostock, Lehrstuhl für Technische Mechanik / Dynamik, 18059 Rostock, Deutschland, {erik.hildebrandt, woernle}@uni-rostock.de

T. Handreg, P. Froitzheim, W. Flügge, Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP, 18059 Rostock, Deutschland, {tobias.handreg, pascal.froitzheim, wilko.fluegge}@igp.fraunhofer.de

## Kurzfassung

Während die Automatisierung und der Einsatz von Steuerungen und Regelungen in vielen Bereichen der konventionellen Krantechnik weit fortgeschritten ist, steht die Automatisierung von Mehrseil-Krananlagen erst am Anfang. Das charakteristische Merkmal jeder Mehrseil-Krananlage ist die Mehrseilführung der Nutzlast, die auf effektive und kostengünstige Weise neben der translatorischen Positionierung auch die rotatorische Orientierung der Nutzlast im Arbeitsraum ermöglicht. In Kombination mit einer geeigneten Kransteuerung und Sensorik verbinden Mehrseilkrananlagen in vorteilhafter Weise die Beweglichkeit von Robotern mit der für Krane typischen Handhabung schwerer Nutzlasten in großen Arbeitsräumen.

Die hinter den vorliegenden Untersuchungen stehende technische Anwendung ist die automatisierte Fertigung zweidimensional gekrümmter Stahl- oder Aluminiumplatten durch kaltplastische Umformung mittels einer hydraulischen Portalpresse. Solche Platten werden u. a. im Schiff- und Flugzeugbau eingesetzt. Abbildung 1 zeigt das in einem aktuellen Forschungsprojekts aufgebaute Funktionsmuster, der an der Portalpresse eingesetzten Krananlage mit vier Kettenhubwerken. Zur Positionierung unter dem Umformwerkzeug (1) werden die großen, flexiblen Platten (2) an vier Lastketten (3) angeschlagen. Die dazu gehörenden Kettenzüge sind auf den Laufkatzen (4) eines Brückenkrans, bestehend aus zwei Brücken (5) mit je zwei Laufkatzen, montiert. Zum Schutz der Hubwerke vor den Prozesskräften sind die unteren Rollenblöcke (6) mit Federn versehen. Das für den Vorsteuerentwurf abgeleitete mechanische Ersatzmodell der Krananlage zeigt Abb. 2. Als vereinfachende Annahme werden hier die Massen der Ketten gegenüber der Nutzlast vernachlässigt. Damit stellt das Handhabungssystem eine Vierseilkrananlage dar. Um die statische Unbestimmtheit der vorliegenden Vierseilführung aufzulösen, wird die Nutzlast als eine an ihren Eckpunkten aufgehängte Kirchhoff'sche Platte mit einem elastischen Freiheitsgrad, der der Torsionsauslenkung entspricht, modelliert. Dieser Verformungsfreiheitsgrad hat den größten Einfluss auf die Verteilung der Kettenkräfte.

Durch Einprägen des Umformschwertes in die Matrize verformt die Umformpresse das zwischenliegende Blech in einem lokalen Bereich. Die gewünschte Plattenverformung wird durch eine Folge von Umformschritten entlang einer Reihe von Bearbeitungspunkten erhalten. Zwischen den einzelnen Umformschritten wird die Platte durch das Mehrseil-Kransystem von der Ist- in die neue Gleichgewichtslage bewegt, wobei möglichst kleine Lastpendelschwingungen auftreten sollen. Um das Werkstück trotz der auftretenden elastisch-plastischen Verformungen in der korrekten Höhe und Neigung unter dem Umformwerkzeug zu positionieren, ist auch die Orientierung gezielt zu steuern. Die gewünschten räumlichen Trajektorien zwischen den einzelnen Ruhelagen des Werkstücks werden durch den Prozess-Scheduler vorgegeben [1]. Zur Verfolgung dieser Trajektorien wurde eine flachheitsbasierte Vorsteuerung in [2] entwickelt und in [3] experimentell validiert, die auf den nichtlinearen Bewegungsgleichungen des Kransystems und einer globalen Optimierung beruht. Bedingt durch die numerischen Berechnungen wies der bestehende Ansatz allerdings zu große Rechenzeiten für die Implementierung auf industriellen Prozesssteuerungen auf. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags wird daher ein weiterentwickeltes, echtzeitfähiges Verfahren vorgestellt, welches auf den linearisierten Bewegungsgleichungen und der Formulierung eines konvexen Optimierungsproblems basiert.

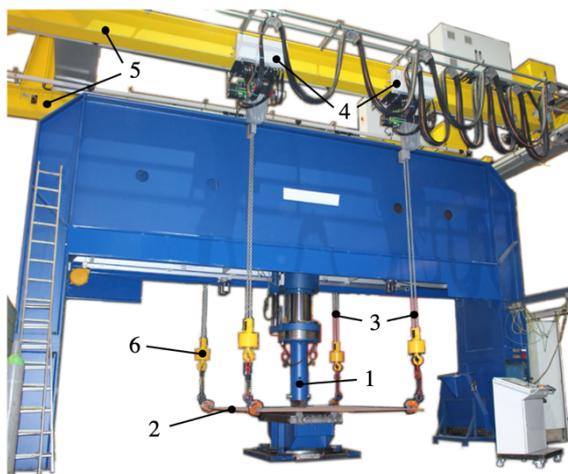


Abb. 1 Mehrketten-Krananlage für die kaltplastische Umformung.

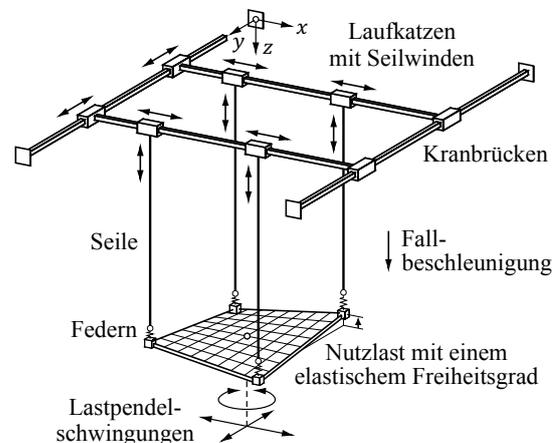


Abb. 2 Mechanisches Ersatzmodell der Mehrseil-Krananlage.



## Literatur

- [1] P. Froitzheim, M. Stoltmann, N. Fuchs, C. Woernle, W. Flügge: *Prediction of Metal Sheet Forming Based on a Geometrical Model Approach*. International Journal of Material Forming. (2019), ISSN 1960-6214, S. 829-839.
- [2] M. Stoltmann, P. Froitzheim, N. Fuchs, C. Woernle: *Flatness-Based Feedforward Control of a Crane Manipulator with Four Load Chains*. In: B. Corves et al. (Eds.) EuCoMeS 2018, S. 61–68. Springer, Cham (2018).
- [3] E. Hildebrandt, T. Handreg, P. Froitzheim, W. Flügge, C. Woernle: *Validation of Flatness-Based Feedforward Control for a Four-Chain Crane Manipulator*. In: D. Pisla et al. (Eds.) EuCoMeS 2020, S. 86-94. Springer, Cham (2020).

# DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

ub | universitäts  
bibliothek

## In: Siebte IFToMM D-A-CH Konferenz 2021

Dieser Text wird über DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

**DOI:** 10.17185/duepublico/74061

**URN:** urn:nbn:de:hbz:464-20210217-134056-3



Dieses Werk kann unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4. Lizenz (CC BY-NC-SA 4.0) genutzt werden.