

Hybridantrieb für den Ladekran einer Forstmaschine

Felix zu Hohenlohe¹, Chris Geiger² und Marcus Geimer²

1 Hohenloher Spezial-Maschinenbau GmbH & Co. KG (HSM), Neu-Kupfer, Deutschland

E-Mail: felix.hohenlohe@hsm-forest.com; Tel.: (+49)7944 9191 16

2 Teilinstitut Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima), KIT, Karlsruhe, Deutschland

E-Mail: chris.geiger@kit.edu; Tel.: (+49)721 608 48642

E-Mail: marcus.geimer@kit.edu; Tel.: (+49)721 608 48601

Kurzfassung

Der Ladevorgang eines Kranrückezuges bietet aufgrund des hohen Zeitanteils am gesamten Arbeitsprozess ein nennenswertes Potential für Energieeinsparung. Dabei soll der mechanische Aufbau des Ladekranes nicht modifiziert werden, um weiter mit Kranen arbeiten zu können, die in größeren Stückzahlen hergestellt werden. Mit Hilfe von zwei Hydro-Transformatoren mit konstanter Übersetzung wird ein Hybridantrieb aufgebaut, der sowohl die Lageenergie des gesamten Armsystems rekuperiert, als auch bei der parallelen Bewegung von Hub- und Wipparm die Lageenergie des abgesenkten Arms in den gehobenen Arm regeneriert. Die Potentiale der Energieeinsparung während der vertikalen und der horizontalen Bewegung der Kranspitze werden in diesem Bericht untersucht und abgeschätzt.

Schlagerworte: Mobile Arbeitsmaschine, Forstmaschine, Forwarder, Ladekran, Hybridantrieb, Hydro-Transformator, Hydro-Speicher, Rekuperation, Regeneration

1 Einleitung

Kranrückzüge oder Forwarder nach Abbildung 1.1 werden im Forst dazu eingesetzt, das geerntete Kurzholz mit einem Ladekran an der Rückegasse in den Rungenkorb zu laden und an der LKW-befahrbaren Forststraße auf Holzpolter abzuladen. Während des Arbeitsprozesses wird die Kranarbeit nur durch die Fahrbewegungen unterbrochen [1] [2] [3] [4].



Abbildung 1.1: Kranrückzug HSM 208F12

2 Stand der Technik

Die vereinfachte hydraulische Steuerung des Ladekranes nach dem Stand der Technik wird in Abbildung 3.1 (links) dargestellt [5].

Zur horizontalen Bewegung der Kranspitze wird hierbei einer der beiden Arme mit Energiebedarf gehoben und der andere Arm abgesenkt, wobei die

Lageenergie durch Drosselung an einer Steuerventilkante in Wärme gewandelt wird.

Zur vertikalen Bewegung der Kranspitze wird das ganze Armsystem mit dem Hubzylinder unter Aufwendung von Energie gehoben und anschließend die Lageenergie beim Absenken ebenfalls in Wärme gewandelt.

3 Hybridantrieb

Um den Wirkungsgrad des Ladekranes zu verbessern, bieten sich hier eine hydraulische oder mechanische Parallelführung von Haupt- und Wipparm, sowie eine Rekuperation der Lageenergie über einen Energiespeicher an.

Für einen Fahrzeugbauer, der von Spezialfirmen serienmäßig gefertigte Krane aufbaut, sind mechanische Änderungen am Kran mit großem Aufwand verbunden und logistisch sehr nachteilhaft.

Im Folgenden wird eine hydraulische Lösung nach Abbildung 3.1 (rechts) beschrieben, die über hydraulische Transformatoren eine hydraulische Parallelführung und eine Rekuperation der Lageenergie des ganzen Armsystems ermöglicht. Diese hydraulischen Transformatoren bestehen aus zwei Hydromotoren, deren Wellenenden mit einer Kupplung verbunden sind. Im vorliegenden Fall wurden ausschließlich Konstanteinheiten verwendet.

Bei der Horizontalbewegung der Kranspitze nach außen wird die Energie des einfahrenden Hubzylinders über den Hydro-Transformator dem Wipparmzylinder übergeben. In die Gegenrichtung wird Energie vom absenkenden Wipparm zum Hubarm transferiert.

Gesteuert wird die Parallelbewegung ausschließlich über das Wipparm-Wegeventil. Je nach der Geometrie des Armsystems und der Anlenkung der

Zylinder und deren Dimensionierung ergibt sich daraus eine ungefähr horizontale Bewegung, die über die Nenngrößen der Motore des Hydro-Transformators noch abgestimmt und optimiert werden kann.

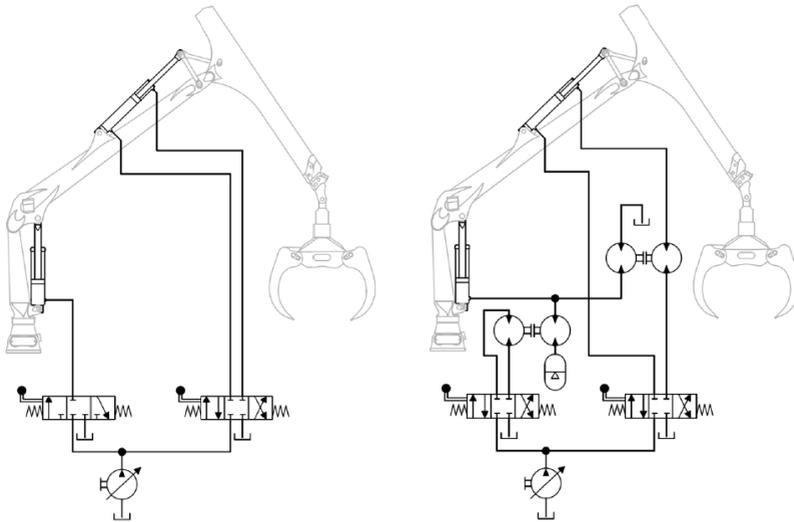


Abbildung 3.1: konventionelle Kransteuerung (links) und Hybridantrieb mit Hydro-Transformatoren (rechts) [5]

Bei der Vertikalbewegung der Kranspitze wird die Bewegung über das Hubarm-Wegeventil gesteuert. Beim Senken wird hierbei die Energie in einem Hydro-Speicher gespeichert und beim Heben diese Energie wieder eingespeist.

4 Energieeinsparung beim Laden und Entladen

Das Potential zur Energieeinsparung der hybriden Kransteuerung wird nachfolgend exemplarisch an den zwei Bewegungsabläufen der horizontalen und vertikalen Verschiebung der Kranspitze aufgezeigt. Hierfür wurden in ersten Versuchen selbige Trajektorien mit der in der Maschine verbauten hybriden Kransteuerung abgefahren. Die Auswertung der Messergebnisse und Berechnung der Leistungen, im Speziellen für die Serienmaschine, wurde mittels eines analytischen Simulationsmodells vorgenommen. Grundlage hierfür sind die aus den gemessenen Zylinderbewegungen berechneten Volumenströme und die gemessenen Drücke.

Abbildung 4.1 stellt im linken Graph einen Vergleich der hydraulischen Leistungen über die Zeit bei einer vertikalen Kranspitzenbewegung für ein Seriensystem und für das Forwarder2020 (F2020)-System dar. Der rechte Graph beschreibt die dazugehörige Zylinderbewegung sowie den Druckverlauf des Hydraulikspeichers. Der Leistungsbedarf der Serienmaschine ist mit dem roten Verlauf dargestellt. Vollführt der Hubarm eine Aufwärtsbewegung, vergleiche den Zeitraum 1 s bis 8 s, so wird mit der in Serienmaschinen verbauten Hydraulik eine maximale Leistung von 10,5 kW benötigt.

Beim Absenken des Hubarmes wird pumpenseitig bei der Serienhydraulik keine Leistung benötigt, vergleiche den Zeitraum zwischen 15,5 s und 20,5 s. Der Hubarm bewegt sich aufgrund der Gravitation nach unten, das abfließende Öl wird über die Ablaufkante gedrosselt und in den Tank geleitet. Genau in diesem Zeitraum liegt ein Potential zur Rekuperation vor. Der schwarz-strichliert gezeichnete Kurvenverlauf gibt ebendiese theoretische, maximale rekuperierbare Leistung an, welche mit dem neu entwickelten System nutzbar gemacht wird.

Der grüne Kurvenverlauf mit dreieckigen Markern gibt den Leistungsbedarf bei gleicher Bewegung für die im Forwarder2020 verbaute hybriden Kran-

steuerung an. Aufgrund des mit 60 bar initialisierten Speichers wird der pum-penseitige Leistungsbedarf bei der Aufwärtsbewegung reduziert. Bei der Abwärtsbewegung hingegen muss eine rotatorische Bewegung des Hydro-transformators vorliegen, wodurch ein sich aus der Zylinderbewegung erge-bender Volumenstrom von der Pumpe mit einem gewissen Druck gefördert werden muss. Hierdurch ergibt sich die benötigte Leistung der hybriden Kran-steuerung mit einem Maximum von 5,2 kW bei der Abwärtsbewegung. Unter der Annahme eines konstanten Wirkungsgrades von 85 % für jede Seite des Hydrotransformers ergibt sich ein um 13 % erhöhter Energiebedarf des hybriden Systems im Vergleich zum konventionellen System.

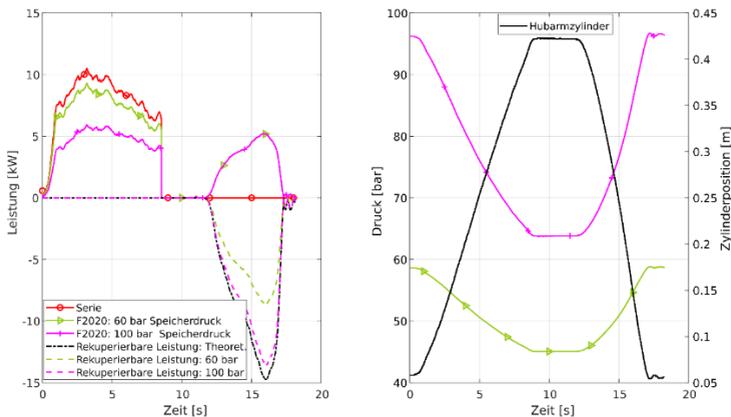


Abbildung 4.1: Leistungsdarstellung (links) und Speicherdruck (rechts) bei einer vertikalen Kranspitzenbewegung

Wird der initialisierte Speicherdruck auf 100 bar erhöht (vgl. magentafarbenen Verlauf), so sinkt die benötigte Leistung bei der Aufwärtsbewegung signifikant, da mehr im Hydraulikspeicher akkumulierte Energie zum Anheben

des Hubarmes genutzt werden kann. Der Leistungsbedarf bei der Abwärtsbewegung ist gleichbleibend. Somit kann eine Reduktion der benötigten Energie um 30 % erfolgen.

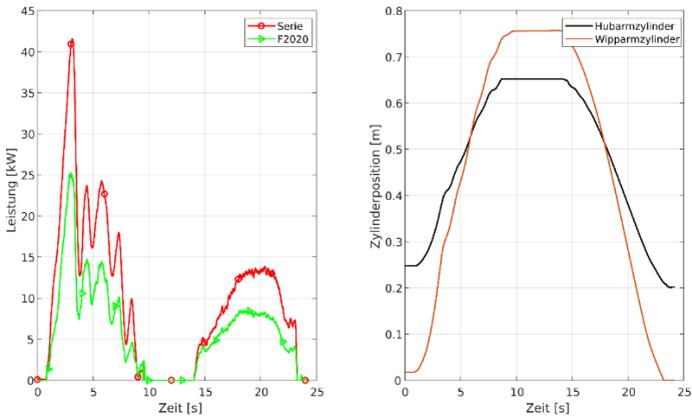


Abbildung 4.2: Leistungsdarstellung bei einer horizontalen Kranspitzenbewegung

Bei der horizontalen Kranspitzenbewegung werden in der hybriden Kransteuerung Wipparm- und Hubarmzylinder mittels des weiteren Hydrotransformators gekoppelt. Dadurch ist eine Leistungsübertragung zwischen beiden Zylindern möglich. Abbildung 4.2 stellt die benötigte Leistung (links) sowie die Zylinderbewegungen (rechts) bei einem horizontalen Ein- und Ausfahren der Kranspitze dar. Die benötigte Leistung der Serienmaschine ist wiederum in Rot mit runden Markern gezeichnet, die Leistung bei Verwendung der hybriden Kranhydraulik in Grün. Hier zeigt sich ein signifikant geringerer Leistungsbedarf im Vergleich zur Serie. Es liegt, mit den gleichen Annahmen bezüglich des Wirkungsgrades des Hydrotransformators wie oben beschrieben, ein Energieeinsparungspotential von 40 % bei der hier gezeigten horizontalen Bewegung vor. Der im Gegensatz zum Ausfahren erhöhte Leistungsbedarf beim

Einfahren, vgl. den Zeitraum zwischen 1 s und 10 s, ist aufgrund einer vertikalen Verschiebung des Gesamtmassenschwerpunktes zu erklären. Befinden sich Stämme im Greifer, so wird eine deutliche Verringerung dieses Effekts erwartet, da somit der Gesamtmassenschwerpunkt kaum in vertikaler Richtung verändert wird.

5 Ausblick

Während das Grundprinzip des beschriebenen Hybridantriebes relativ einfach auszuführen ist, stellt das Erreichen und Einhalten der maximalen Lastdrücke der verschiedenen Verbraucher ein komplexeres Problem dar. Die Lösung dafür wurde auf einem Versuchsträger erfolgreich getestet.

Bei Projektbeginn war das Ziel der Entwicklung eine Reduktion des Treibstoffverbrauches während des Be- und Entladens um 30 %.

Das Erreichen dieses Zieles wird im Laufe des Jahres 2018 sowohl für einen in [6] beschriebenen Referenzzyklus als auch über längere Zeitdauern überprüft.

Danksagung

Die geschilderte Entwicklung wird im Rahmen des Projektes FORWARDER2020 von den Projektpartnern Bosch-Rexroth, HSM, HYDAC und dem Karlsruher Institut für Technologie vorangetrieben. Die Europäische Kommission unterstützt das Entwicklungsvorhaben im Rahmen von HORIZON2020.

Literatur

- [1] Morales, D.: Increasing the Level of Automation in the Forestry Logging Process with Crane Trajectory Planning and Control. *Journal of Field Robotics* 31(3), 2014, p. 343-363.
- [2] Manner, J.: Automatic and Experimental Methods to Studying Forwarding Work. PhD thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, 2015.
- [3] Cacot, E.: Developing full-mechanized harvesting systems for broad-leaved trees: a challenge to face the reduction of the manual workforce and to sustain the supply of hardwood industries. 2006 Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: "Working Globally – Sharing Forest Engineering Challenges and Technologies Around the World" Coeur d'Alene, 22.07.-02.08.2006.
- [4] Manner, J.: Load level forwarding work element analysis based on automatic follow-up data. *Silva Fennica* vol. 50 no. 3, 2016.
- [5] Hohenloher Spezial-Maschinenbau GmbH & Co. KG. Gebrauchsmusterschrift DE 20 2014 006 861 U1, 2015.
- [6] Geiger, C.; Geimer, M.: Efficiency Optimisation of a Forestry Crane by Implement Hydraulics with Energy Recovery. 75th International Conference on Agricultural Engineering - LAND.TECHNIK AgEng, 2017.