

16. Internationale Kranfachtagung 2008

Von
innovativer Krantechnik
bis
Virtual Reality

Reduzierung der Spieldauer bei Brückenkränen mit überlagerten Bedienbereichen

Dipl.-Wi.-Ing. Anke Könze, Dr.-Ing. Frank Schulze



Dipl.-Wi.-Ing. Anke Könze,

Dr.-Ing. Frank Schulze

Inst. f. Techn. Logistik u. Arbeitssysteme

01062 Dresden

Reduzierung der Spieldauer bei Brückenkränen mit überlagerten Bedienbereichen

Anhand eines Referenzmodells für ein automatisches Lager mit zwei Regalbediengeräten in einer Gasse wurde ein Algorithmus entwickelt, der für einen bekannten Auftragspool eine (Batch-) Optimierung und beim Einsatz von Mehrfachlastaufnahmemitteln zusätzlich eine Tourenoptimierung vornimmt. Die Spiele beider Geräte werden aufeinander abgestimmt, die Spielzeit wird minimiert. Es liegt ein Berechnungswerkzeug vor, mit dem die Spieldauer beim Einsatz von zwei Geräten und überlagerten Bedienbereichen ermittelt werden kann. Die Ergebnisse sind auf automatisierte Brückenkrane mit überlagerten Bedienbereichen übertragbar. Dazu wird ein Anwendungsbeispiel vorgestellt.

Das Forschungsvorhaben wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvorhaben (AiF) gefördert (AiF-Nr. 14923 BR/1) und im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik (BVL) ausgeführt.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Handel und Industrie bieten immer breitere Sortimente und kundenindividuelle Lösungen an. Eine Verringerung der Losgrößen in der Fertigung und der Sendungsgrößen in der Distribution ist zu beobachten. Auch von Lagern – Hochregallager oder Kranlager – werden in diesem Zusammenhang immer höhere Lagerdurchsätze verlangt. In Hochregallagern und automatischen Kleinteilelagern kommen zur Durchsatzsteigerung Mehrfachlastaufnahmemittel zum Einsatz. Eine weitere Maßnahme zur Leistungssteigerung ist der Einsatz von zwei Regalbediengeräten in einer Lagergasse. Anhand eines Referenzbeispiels wurden in einem Forschungsprojekt Möglichkeiten zur Spielzeitoptimierung durch optimierte Steuerungsstrategien untersucht. Die Ergebnisse des Projektes werden im folgenden auf automatische Krane übertragen. Die Automatisierung wird zunehmend zur Optimierung von Transport- und Umschlagvorgängen und zur Reduzierung der dynamischen Beanspruchung (vgl. z.B. [VDI3653], [LEO2005], [GÜN2003]) auch in Kranlagern eingesetzt.

Für die Dimensionierung von Lagern ist neben der Stellplatzkapazität der erreichbare Lagerdurchsatz von entscheidendem Interesse. Dieser wird aus der mittleren Spielzeit im Lager abgeleitet. Beim Einsatz von Mehrfachlastaufnahmemitteln oder dem Einsatz von Regalbediengeräten oder Kranen mit überlagerten Bedienbereichen ist dies aber nicht ohne weiteres möglich. Mit der FEM 9.851 und

der VDI 4446 liegen Berechnungsvorschriften zur Ermittlung der mittleren Dauer von Einzel- und Doppelspielen vor. Sie sind aber nur für den Einsatzfall *eines* Regalbediengerätes oder eines Kranes, ggf. mit einem Mehrfachlastaufnahmemittel, anwendbar.

Bei der Spielzeitoptimierung für zwei Regalbediengeräte oder Krane mit überlagerten Bedienbereichen spielen Methoden der kombinatorischen Optimierung und der Batchoptimierung eine Rolle. Diese müssen auch schon bei der Leistungsbemessung berücksichtigt werden.

1.2 Krane und Regalbediengeräte

Der im folgenden vorgestellte Algorithmus wurde für den Einsatz von zwei Regalbediengeräten in einer Gasse mit überlappenden Bedienbereichen und Mehrfachlastaufnahmemittel entwickelt. Die Ergebnisse der Untersuchungen für Regalbediengeräte lassen sich wegen der Gemeinsamkeiten in der Charakteristik der Bewegungen auf automatische Hänge-, Brücken- und Portalkrane mit überlappenden Bedienbereichen grundsätzlich übertragen. Die VDI-Richtlinie 3653 („Automatisierte Kransysteme“) definiert vollautomatische Krane als „Krane, bei denen alle Bewegungsabläufe einschließlich der Aufnahme und des Absetzens der Last programmgesteuert ablaufen. [...] Eingriffsmöglichkeiten sind nur durch Nothalt oder Umschalten auf manuelle Steuerung möglich.“

Hänge-, Brücken- und Portalkrane sind Krane mit quaderförmigem Arbeitsraum – im Gegensatz zu Drehkränen mit zylindrischem Arbeitsraum. Die zwei Hauptbewegungsachsen der Kranbrücke und des Katzfahrwerkes sind orthogonal zueinander angeordnet und werden unabhängig voneinander angetrieben.

Einer der wesentlichen Unterschiede zu Regalbediengeräten besteht in der Lage der Bewegungsebene. Diese liegt bei Kranen waagrecht und steht bei Regalbediengeräten senkrecht. Somit kann die Lastaufnahme und -abgabe bei Kranen auch nur auf einer Seite der Bewegungsebene erfolgen, während diese bei einem Regalbediengerät beidseitig stattfindet. Für die Durchsatzberechnung ergeben sich daraus jedoch keine Unterschiede. In der VDI-Richtlinie 4446 („Spielzeitermittlung von Krananlagen“) wird diese Analogie sogar betont. So beruht die Kranspielzeitberechnung auch auf Untersuchungen an Regalbediengeräten.

Ein weiterer Unterschied besteht in der variablen Hub- bzw. Senkbewegung während des Arbeitsspiels eines Kranes, die von der Höhe über der Lagerebene

abhängig ist, in der das aufzunehmende Lagergut gelagert wird. Wird diese durch die Katz- bzw. Brückenbewegungen überlagert und dauert sie auch nur in Einzelfällen länger als die Katz- bzw. Brückenfahrt, sind Einschränkungen notwendig. In der VDI 4446 wird der Hubweg für die Durchsatzberechnung über eine Ebene der repräsentativen Lagerpunkte (in Abhängigkeit vom durchschnittlichen oberen Lagerfüllgrad) bestimmt. Diese Definition ist auch bei der Benutzung des Berechnungstools für die Durchsatzberechnung mit 2 Kränen ausreichend. Soll der vorgestellte Algorithmus zur Bestimmung der (annähernd) optimalen Startzeitpunkte der Arbeitsspiele aber in Praxis für die Steuerung der Krane eingesetzt werden, muss er zuvor um variable Hub- und Senkzeiten zusätzlich zu den konstanten Übernahme- und Übergabezeiten bei der Lastaufnahme und Lastabgabe erweitert werden.

Die Durchsatzleistung in mit Brückenkränen betriebenen Blocklagern ist weiterhin abhängig von Lagerstrategien und notwendigen Umlagerungen, wenn jeweils nur das oberste Lagergut zugänglich ist, z.B. bei gestapelten Blechen, Spanplatten, aber auch gestapelten Containern. Dies wird hier nicht betrachtet.

2 Bestimmung der mittleren Spieldauer

2.1 Referenzbeispiel

Das Referenzbeispiel stellt ein Kranlager, z.B. für Spanplatten, Bleche o.ä. dar. Es wird durch zwei Brückenkrane bedient. Diese bewegen sich auf einer gemeinsamen Kranbahn. Bis auf die beiden sich jeweils am äußeren Ende der Kranbahn befindlichen Positionen, an denen die Übergabe der Last an das übrige Fördersystem außerhalb des Lagers stattfindet, überlagern sich die Arbeitsbereiche der beiden Krane vollständig (vgl. Bild 1). Die Krane verfügen über jeweils ein Lastaufnahmemittel.

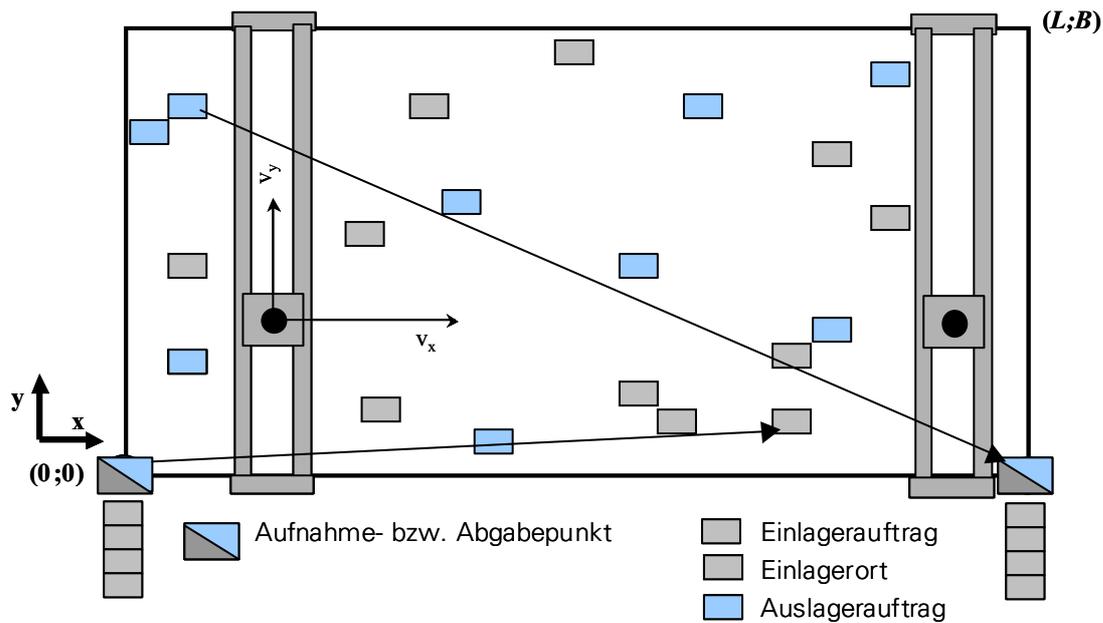


Bild 1: Referenzbeispiel

Das Lager und die Krane des Referenzbeispiels sind durch folgende technische Daten gekennzeichnet.

Beispiel Automatischer Brückenkran						
Lagerabmessungen						
L	[in m]	78	Fachanzahl	[Stk.]	n_x	30
B	[in m]	35		[Stk.]	n_y	25
H	[in m]	10	Lagerplätze	[Stk.]		750
l	[in m]	2,6				
b	[in m]	1,4	Formfaktor	[-]	b	1
Parameter Krane						
v_x	[in m/min]	160	Übergabe-/Übernahmezeiten inkl. Heben/Senken			
v_y	[in m/min]	70	$t_{\text{Lastaufnahme, Lager}}$	[in s]		25
v_z	[in m/min]	30	$t_{\text{Lastabgabe, Lager}}$	[in s]		25
a_x	[in m/s ²]	0,3	$t_{\text{Lastaufnahme, Übergabepkt.}}$	[in s]		45
a_y	[in m/s ²]	0,2	$t_{\text{Lastabgabe, Übergabepkt.}}$	[in s]		45
Spielzeit für ein Doppelspiel nach VDI 4446				[s]		217

Bild 2: Referenzbeispiel: Parameter für Kran und Lager

2.2 Vorgehen zur Berechnung der mittleren Spielzeit

Als Spielzeit bezeichnet man die Zeitdauer, die für die Ausführung eines Arbeitsspiels benötigt wird. Ein Arbeitsspiel besteht aus der Menge aller hintereinander auszuführenden einzelnen Arbeitsoperationen, die sich zyklisch wiederholen [GRO1984].

In der vorliegenden Anwendung wird nicht die Spielzeit eines einzelnen Arbeits-

spiels optimiert, sondern die Zeit, die für die Bearbeitung eines bestimmten Auftragsvorrates in mehreren Spielen durch zwei Krane benötigt wird. Um Vergleichbarkeit herzustellen, wird anschließend die mittlere Spielzeit pro Auftrag berechnet.

Um eine angemessene Rechenzeit gewährleisten zu können, wird die Optimierung für einen Auftragsvorrat durchgeführt, der in jeweils zwei Arbeitsspielen von beiden Kranen bewältigt werden kann.

Die Bestimmung der optimalen Auftragsreihenfolge erfolgt in zwei Schritten. Zunächst werden alle möglichen Zuordnungen der Auslageraufträge zu den Kranen (Assignment) ermittelt. Die Anzahl dieser möglichen Kombinationen für das Assignment lässt sich wie folgt berechnen:

$$K = \binom{n}{k} = \binom{n}{n-k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} = \frac{n(n-1)(n-2) \dots (n-k+1)}{k!}$$

mit k Anzahl Auslageraufträge für einen Kran
 n Anzahl aller (bekannten) Auslageraufträge.

Für das Beispiel, dass zwei Auslageraufträge für einen Kran aus einem Pool von vier Auslageraufträgen ausgewählt werden sollen, ergeben sich sechs Möglichkeiten:

$$K = \binom{4}{2} = \frac{4 \cdot 3}{2!} = 6.$$

Für jedes mögliche Assignment wird anschließend für jeden Kran separat die notwendige Zeit für die Bearbeitung des Auftragsvorrates ermittelt. Dann werden die Varianten untersucht, in welcher Reihenfolge die Krane ihre Arbeitsspiele ausführen können. Die Anzahl dieser kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$V = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n_{\text{Rbg}}} n_{\text{Spiele},i} \right)!}{\prod_{i=1}^{n_{\text{Rbg}}} (n_{\text{Spiele},i})!}$$

Arbeitsspiele		Variationen
Kran 1	Kran 2	
2	2	6
1	2	10
3	3	20
4	4	70

Außerdem werden, wenn notwendig, Wartezeiten zwischen den Arbeitsspielen eingefügt, um ein konfliktfreies Arbeiten der Krane im gemeinsamen Bedienbereich zu ermöglichen. Bild 3 zeigt dies beispielhaft:

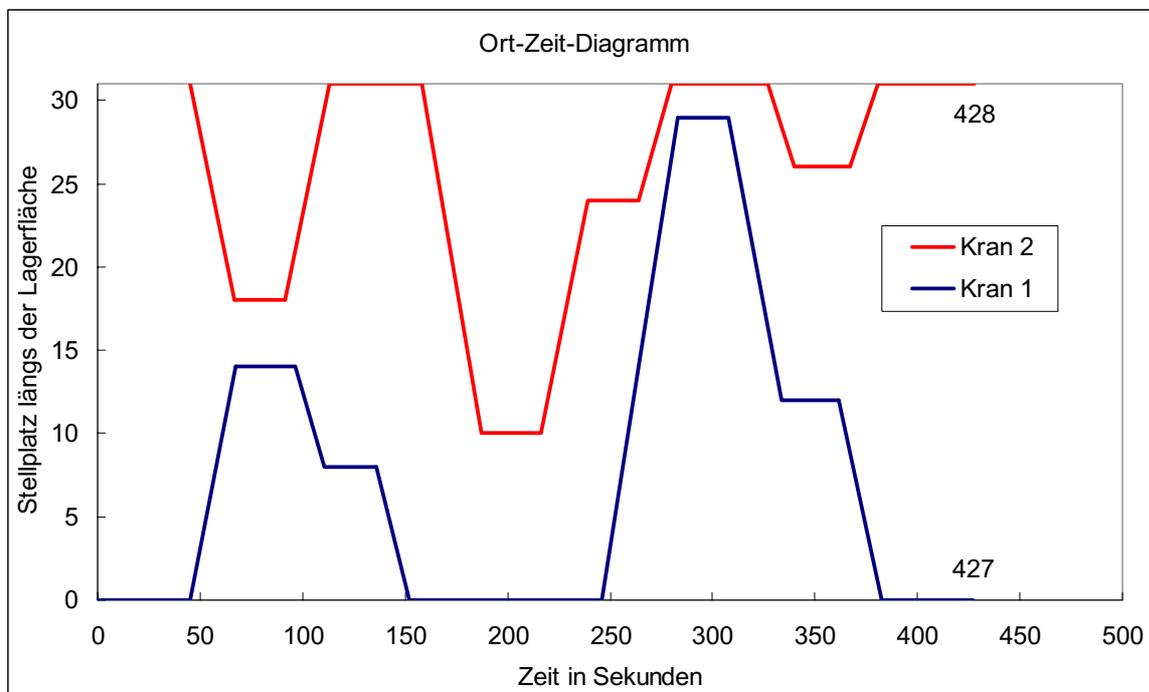


Bild 3: Ort-Zeit-Diagramm der Arbeitsspiele inkl. Wartezeiten

Schließlich werden die Auftragsreihenfolge, die Reihenfolge der Kranarbeitsspiele und die Startzeiten für diese Arbeitsspiele ermittelt, die eine minimale mittlere Spielzeit pro Auftrag für einen bestimmten Auftragsvorrat ermöglichen.

2.3 Ergebnisse der Experimente

Es wurden 1.000 Experimente mit unterschiedlichen Auftragsvorräten für das Beispiellager durchgeführt. Dabei wurde eine Gesamtbearbeitungszeit für den Auftragsvorrat von acht Aufträgen von 438,0 Sekunden ermittelt. Das ergibt eine mittlere Bearbeitungszeit pro Auftrag von 54,8 Sekunden.

Die Berechnung der Spielzeit für einen Kran nach VDI 4446 ergab für ein Doppelspiel mit zwei Aufträgen 217,0 Sekunden. Pro Auftrag ergibt sich so eine mittlere Bearbeitungszeit von 108,5 Sekunden. Durch den Einsatz eines zweiten Kranes auf einer gemeinsamen Kranbahn kann man in diesem Beispiel also eine Zeiteinsparung pro Auftrag von knapp 50 % Prozent erreichen.

3 Zusammenfassung

Für ein Beispiellager wurde eine Abschätzung des Optimierungspotentials durch den Einsatz eines zweiten Kranes gegeben. Die Auswertung der Experimente hat gezeigt, dass der Einsatz eines zweiten Kranes auf einer gemeinsamen Kranbahn zur Reduzierung der mittleren Zeit pro Auftrag um knapp 50 % führt.

Innerhalb des Forschungsprojektes ist ein Algorithmus entstanden, der auch für die Optimierung der Spielzeit für den Einsatz von zwei Kranen auf einer gemeinsamen Kranbahn mit überlappenden Bedienbereichen angewendet werden kann. Der entwickelte Algorithmus ist in ein Excel-basiertes Berechnungswerkzeug eingeflossen. Dieses erlaubt die Ermittlung der mittleren Spielzeit für gewünschte Lager- und Kranparameter. Außerdem ist damit die Darstellung der Spielzeitverteilungen möglich. Damit werden dem Planer schnell und einfach Informationen zum zu erwartenden Durchsatz des Lagersystems geliefert.

Das Berechnungswerkzeug liegt bislang als Prototyp vor. Es ist erhältlich unter www.tu-dresden.de/mw/tla. Die Benutzeroberfläche kann anwenderspezifisch angepasst werden kann. Das Berechnungswerkzeug kann auch für weitere Experimente genutzt werden. Neue Erkenntnisse würde z.B. die Untersuchung von Strategien zur Lagerplatzvergabe in Verbindung mit der Spielzeitoptimierung durch den entwickelten Algorithmus bringen.

Quellenverzeichnis

- [ARN2004] Arnold, Dieter; Furmans, Kai (2004): Materialfluß in Logistiksystemen – Technik, Springer-Verlag, Berlin.
- [FEM9851] Fédération Européenne de la Manutention (FEM), Sektion IX, Serienhebezeuge (2003): FEM 9.851 – Leistungsnachweis für Regalbediengeräte – Spielzeiten, 06.2003 (D).
- [GLA2002] Glass, Michael; Marquardt, Hans-Georg (2002): Einsatz von Mehrfachlastaufnahmemitteln – Tourenbildung und Spielzeitberechnung. In: Tagungsbeitrag zur 10. Internationalen Kranfachtagung in Magdeburg am 07.06.2002.
- [GRO1984] Großeschallau, Werner (1984): Materialflußrechnung – Modelle und Verfahren zur Analyse und Berechnung von Materialflusssystemen, Springer-Verlag, Berlin.
- [GÜN2003] Günthner, Willibald A.; Schubert, Ingomar (2003): Sicherheitsleitlinien für automatisierte Krananlagen im personenzugänglichen Umfeld, Forschungsbericht zum AiF-Projekt 12932 N/1, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München, www.fml.mw.tum.de/PDF/Abschlussbericht_AiF_12932N1.pdf, 17.01.2008.
- [LEO2005] Leonhardt, Thomas (2005): Effekte durch die Kranmodernisierung – Dargestellt am Beispiel eines Brückenkrans, Wissensportal baumaschine.de 1(2005), http://www.baumaschine.de/Portal/Archive/1_2005/Wissenschaft/kranmodernisierung/kranmodernisierung.html, 17.01.2008.
- [VDI3653] VDI (Hrsg.) (1998): VDI-Richtlinie 3653 – Automatisierte Kransysteme, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [VDI4446] VDI (Hrsg.) (2004): VDI-Richtlinie 4446 – Spielzeitermittlung von Krananlagen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [VDI4480] VDI (Hrsg.) (1998): VDI-Richtlinie 4480 Blatt 1 – Durchsatz von automatischen Lagern mit gassengebundenen Regalbediensystemen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.