

Portalstapler zum Suchen, Sortieren und Scannen von Containern

Tim Christopher Tadge, Elektrotechnik und Informationstechnik
 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Abstract— Das Projekt „Portalstapler“ entstand im Rahmen des „Lego-Mindstorms-Seminars“ und hatte das Ziel einen automatisierten Portalkran zu entwickeln. Dieser erlaubt das Erkennen, Aufnehmen und den Transport von Containern. Der „Portalstapler“ setzt sich aus Elementen eines Portalkrans und eines Gabelstaplers zusammen. Ein wichtiges bauliches Merkmal ist der seitlich angebrachte Lastschlitten, welcher dem Anheben der Container dient. Die Programmierung erfolgte in Matlab, unter Verwendung des Lego-Mindstorms NXT Toolkits der RWTH Aachen. Der Anwender hat die Möglichkeit Container zu suchen, sie zu sortieren oder deren Farben zu scannen. Die Erkennung der Container erfolgt über zwei hintereinander angebrachte Farbsensoren. Das Programm setzt sich aus aufeinander abgestimmte Teilprozesse zusammen, die sequentiell abgearbeitet werden.

Schlagwörter—Automatisierung, Container, Gabelstapler, LEGO NXT, Matlab, Portalkran

I. EINLEITUNG

IN der heutigen Zeit werden Roboter bzw. automatisierte Prozesse in allen Lebensbereichen immer wichtiger. So werden Arbeitsabläufe einfacher und effizienter. Deshalb entstand im Rahmen des Lego-Mindstorms-Praktikums die Idee einen automatisierten Portalkran mit Hilfe von Lego NXT zu entwickeln. Ausschlaggebend dafür ist, dass jährlich rund Neunzig Millionen Tonnen Container im Hamburger Hafen umgeschlagen werden [1]. Jedoch geschieht dies noch immer manuell durch Arbeitskräfte, welche den Portalkran steuern. Dadurch sind nur zwanzig bis dreißig Umschlagvorgänge pro Stunde durch einen Kran möglich. Dem entgegen steht jedoch ein weltweit steigendes Güteraufkommen, welches schnelles und präzises Umschlagen der Container erfordert. Auch aufgrund gesetzlicher Vorschriften ist ein automatisiertes Vorgehen in Deutschland bis jetzt nicht vorgesehen. Diese gesetzlichen Barrieren sind zu vergleichen mit selbstfahrenden Autos, welche auf deutschen Straßen noch nicht ohne Fahrer unterwegs sein dürfen.

Das Ziel besteht darin einen automatisierten Portalkran aus zu entwickeln, welcher das Suchen, Aufnehmen und Verbringen von Containern zum Ausgangsort ermöglicht. Es handelt sich also um drei voneinander getrennt zu betrachtende Prozesse, welche alle ein hohes Maß an Präzision erfordern.

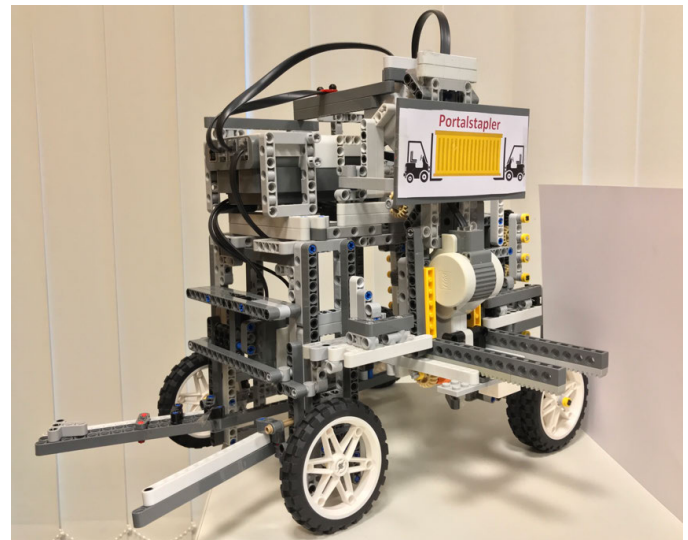


Abbildung 1: Gesamtansicht

II. VORBETRACHTUNGEN

Der Portalstapler setzt sich aus mehreren verschiedenen Komponenten zusammen, welche ihre Vorbilder in der Industrie und dem Warentransport finden. Dazu gehört einerseits der Portalkran und andererseits Elemente eines Gabelstaplers. Daraus setzt sich auch der Name Portalstapler zusammen.

A. Portalkran

Ein Portalkran besteht aus einem Gestell, welches den Arbeitsbereich wie ein Portal überspannt [2]. Er wird auf Güterumschlag- und Lagerplätzen eingesetzt. Der Kran fährt meist auf zwei parallelen Schienen. Die Bauweise entspricht der eines Fachwerks bzw. einer Rahmenbauweise aus Stahl. Zum Anheben und Bewegen der Ladung fährt längs der Konstruktion die Laufkatze mit dem Hubwerk [2]. Über Seile wird dann, z.B. der Container angehoben. Ein Portalkran ermöglicht es dadurch die Last in alle drei Richtungen zu bewegen. Aufgrund der Bauart ist es möglich sehr große Lasten zu heben, wobei in der Regel kein Gegengewicht notwendig ist [2]. Eine Sonderform stellt der gummierte Portalkran dar. Der sogenannte RTG (rubber tyred gantry crane) kommt ohne Führungsschienen aus [2]. Dadurch wird ein Spurwechsel ermöglicht. Bedient wird der Portalkran durch einen Kranführer, welcher meist oben in der Kranbrücke sitzt.

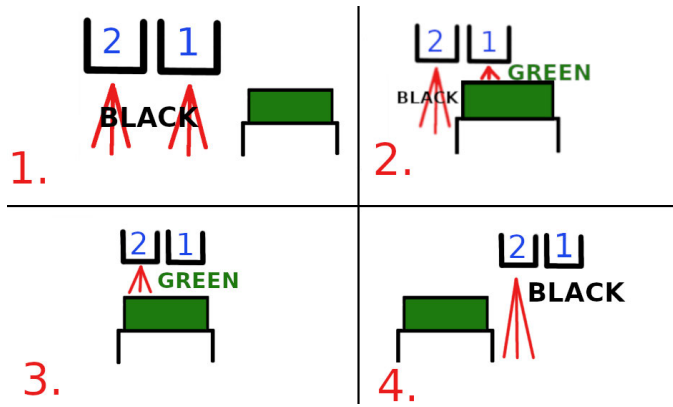


Abbildung 2: Schema der Containererkennung

B. Gabelstapler

Ein Gabelstapler dient dem innerbetrieblichen Warenumschlag und Transport. Ein wesentliches Element des Gabelstaplers ist die Hubeinheit, die aus Hubmast und Gabelträger zusammengesetzt ist [3]. Ausgelegt ist er insbesondere für den Transport von Paletten, das Prinzip der Warenaufnahme über Gabeln lässt sich jedoch auch anderweitig für den Warentransport implementieren. Der Gabelträger umfasst in der Regel zwei stählerne Gabeln, welche mittels Hydraulik vertikal bewegbar sind [3]. Auch Gabelstapler werden, wie ein Portalkran, durch mitfahrende Bediener gesteuert.

C. Automatisierte Fahrzeuge in der Industrie

Schon heute werden in der Industrie verschiedene Formen von automatisierten Fahrzeugen eingesetzt. Diese autonomen Logistikfahrzeuge dienen vorrangig dem Warentransport. Daraus ergeben sich eine Vielzahl wirtschaftlicher Vorteile, wenn es darum geht viele Güter umzuschlagen, oder andere sich wiederholende Logistikaufgaben auszuführen [4]. Hierfür gibt es Fahrzeuge im Einzelbetrieb oder im abgestimmten Flottenbetrieb [4]. Gerade hierbei spielt neben der Konstruktion auch die Software eine sehr wichtige Rolle. Durch die immer besseren technischen Möglichkeiten können so Gefahrensituationen schneller erkannt und Unfälle vermieden werden.

III. REALISIERUNG

Bei der Umsetzung des Projekts war es wichtig, die als Ziel gesetzten Anforderungen zu erfüllen. Dabei galt es mit Hilfe von Lego Mindstorms NXT und Matlab, welches der Programmierung dient, alle grundlegenden Funktionen eines Portalkrans zu realisieren.

A. Konstruktion und Mechanik

Der grundsätzliche Aufbau des entwickelten Portalstaplers entspricht dem eines Portalkrans. Es ist durch die Bauweise eines Portals problemlos möglich über die Container hinweg zu fahren. Hierzu wird mit Hilfe eines Motors der Antrieb realisiert. Aufgrund der baulichen Voraussetzungen muss dieser Motor im oberen Teil des Fahrzeugs liegen. Um die Energie dennoch auf die unten liegenden Rädern zu bringen, erfolgt die Übertragung durch seitlich liegende Zahnräder. Bei

den genutzten Rädern handelt es sich um eine Gummibereifung. Da nur ein Motor dem Antrieb des Portalstaplers dient, ist die Fahrweise trotzdem mit der auf Schienen zu vergleichen, welche bei einigen Portalkränen zum Einsatz kommt.

Der Unterschied des Portalstaplers zum echten Portalkran besteht darin, dass die Container nicht über Seile angehoben werden, sondern über einen Lastschlitten mit Gabeln, ähnlich denen eines Gabelstaplers. Als weitere bauliche Maßnahme befindet sich vorn und hinten am Fahrzeug ein Pflug, welcher dafür sorgt, dass die Container auf einer geraden Bahn beim Hubmechanismus ankommen. Den vorderen Pflug kann man in Abb. 1 sehen. Die Erkennung verschiedener Container wurde mit Hilfe von Lego derart angepasst, dass diese über verschiedene Farben realisiert wurde. Dazu sind vorn am Portalstapler zwei Farbsensoren angebracht. Diese befinden sich direkt hintereinander und nur rund einen Zentimeter über den Containern.



Abbildung 3: Weißer Container

Daraus ergeben sich letztlich konkrete Abmessungen für die Container, wodurch alle gleich genormt sind. Einen Container kann man in Abb. 3 sehen. Im Rahmen des Projekts wurden fünf Container in den Farben Blau, Gelb, Grün, Rot und Weiß gefertigt. Die Maße sind so gewählt, dass ein Container sich genau unter den Farbsensoren hindurch bewegt und außerdem es möglich ist mit einem angehobenen Container über einen anderen zu fahren.

Der Lego Mindstorms NXT dient dazu alle mechanischen Komponenten zu verknüpfen. Über diesen erfolgt die Ansteuerung der jeweiligen Motoren und die Auswertung der Farbsensoren.

B. Konstruktion und Erprobung des Lastschlittens

Die Konstruktion des Lastschlittens orientiert sich größtenteils an der Hubeinheit eines Gabelstaplers. Hierbei galt es jedoch neben der vertikalen Bewegung des Schlittens, also der Gabeln, auch das Ein- und Ausfahren zu ermöglichen. Ohne diese zusätzliche horizontale Bewegung wäre es nicht möglich mit den Gabeln unter die Container zu gelangen. So war es auch nötig zwei Motoren für die Konstruktion des Last-

schlittens zu verwenden. Der fertige Lastschlitten ist in Abb. 4 dargestellt. Über Zahnschienen wird der gesamte Lastschlitten gehalten und mit Hilfe eines Motors vertikal bewegt. Am Motor befinden sich zwei Zahnräder, welche in die Zahnschienen greifen und so den Lastschlitten entweder halten oder hoch bzw. herunter bewegen.

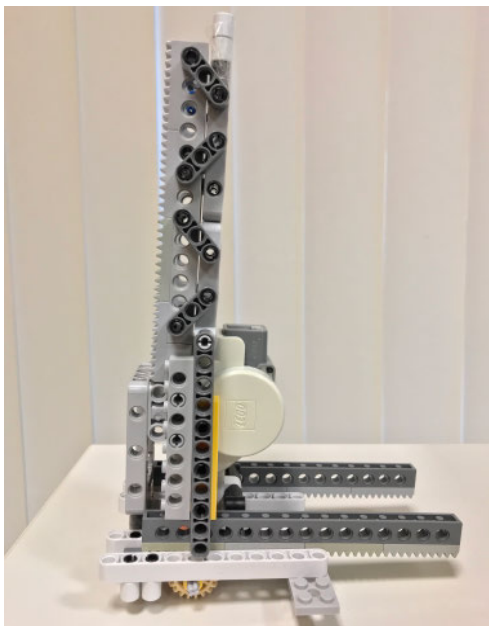


Abbildung 4: Lastschlitten

Am Lastschlitten selbst befindet sich ein weiterer Motor, welcher fest verbaut ist. Dieser dient dazu die zwei Gabeln vollständig heraus, also unter den Container zu fahren, oder wieder herein. Auch die Gabeln werden über Zahnräder, welche auf Zahnschienen laufen angetrieben. Bei der Erprobung des Lastschlittens erwies es sich, dass eine möglichst hohe Genauigkeit bei den einzelnen Bewegungsabläufen notwendig ist. So ist es möglich, sowohl die Hoch- bzw. Runterbewegung als auch das Hinein- bzw. Herausfahren präzise über die Umdrehungszahlen der einzelnen Motoren zu steuern. Die geforderten Umdrehungen haben sich durch die Anzahl der Zähne eines Zahnrades und der Aufnahme durch die Zahnschienen ergeben.

C. Programmierung

Die Programmierung des Roboters erfolgte vollständig in Matlab, unter Verwendung des Toolkits der RWTH Aachen. Um eine einfache und effiziente Ansteuerung des Portalstaplers für den Nutzer zu ermöglichen, erfolgt die Bedienung über eine graphische Benutzeroberfläche (GUI). Dazu wurden drei verschiedene Modi realisiert, welche vom Nutzer ausgewählt werden können. Dabei handelt es sich um das Suchen, Sortieren und Scannen von Containern. Im Folgenden wird hauptsächlich auf die Funktion des Suchens eingegangen und genauer erläutert.

Zuallererst wird es dem Nutzer ermöglicht aus einem Popup-Menü die gewünschte Farbe des Containers anzugeben und seine Auswahl dann zu bestätigen. Daraufhin fährt das

Fahrzeug los und scannt mit dem weiter vorne liegenden Farbsensor kontinuierlich, ob die gewählte Farbe sichtbar ist. Solange keine Farbe erkannt wird, also kein Container sich unter dem Portalstapler befindet, oder eine andere Farbe erkannt wird, fährt das Fahrzeug weiter. Der Wert des Farbsensors wird dabei jede zehntel Sekunde erneut abgerufen. Wird der vom Nutzer gewählte Farbwert gemessen, so schaltet sich der zweite, weiter hinten liegende Farbsensor ein. Auch dieser misst nun jede zehntel Sekunde den Farbwert. Hierbei ist es so, dass solange, dieser Sensor die gewünschte Farbe misst der Portalstapler weiter fährt. Denn erst, wenn die eingegebene Farbe nicht mehr gemessen wird, ist der Container unter beiden Sensoren hindurch gefahren. In diesem Moment befindet er sich genau mittig und kann aufgenommen werden. Nun bleibt das Fahrzeug stehen und misst die insgesamt zurückgelegte Strecke, welche sich aus den Motorumdrehungen ergibt. Der Prozess der Containererkennung mit Hilfe der Farbsensoren ist schematisch in Abb. 2 dargestellt.

Im nächsten Programmabschnitt folgt die Containeraufnahme. Diese ist immer ein automatisierter Prozess. Zuerst fährt der obere Motor den Lastschlitten nach unten, woraufhin durch den anderen Motor die Gabeln ausgefahren werden. Folglich wird der Lastschlitten nun wieder nach oben fahren. Durch festgelegte Werte sind dabei die benötigten Umdrehungen definiert, welche den Motoren über ein Tacholimit übermittelt wird. Dadurch handelt es sich immer um die gleichen Bewegungsabläufe.

Sobald die Containeraufnahme beendet wurde, fährt der Roboter anhand der vorher ausgelesenen Motorumdrehungen zurück zum Ausgangsort. Dort wird der Container abgestellt, wobei es sich erneut um einen festgelegten Ablauf handelt. Dieser verläuft ähnlich wie der des Aufnehmens, mit dem Unterschied, dass sich die Gabeln diesmal einfahren. Nun ist der Programmablauf, welcher in Abb. 5 dargestellt ist, beendet und der Nutzer hat die Möglichkeit einen neuen Befehl ausführen zu lassen.

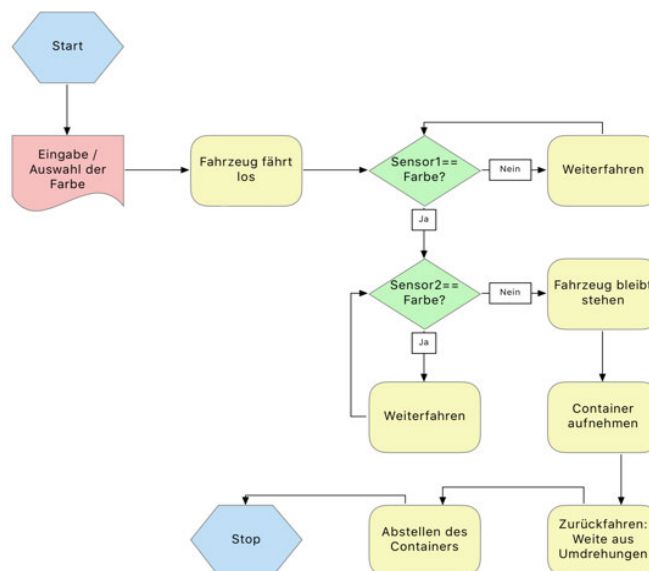


Abbildung 5: Programmablaufplan der Containersuche

Im Modus Sortieren kommt es zu ähnlichen Ablaufschritten mit dem Unterschied, dass der Anwender mehrere Containerfarben auswählen kann. Der Roboter holt dann einen Container nach dem anderen und stellt jeden ein wenig entfernt vom letzten auf. Beim Scannen wird die Bahn aus Containern einmalig abgefahren, woraufhin in der GUI die gemessenen Farben ausgegeben werden. Bei diesen beiden Modi wird vor dem Start jeweils mit Hilfe eines Popup-Menüs ausgewählt, wie viele Container in diesem Vorgang berücksichtigt werden sollen.

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Als Endergebnis ist ein voll funktionsfähiger, automatisierter Portalkran entstanden, welcher die Möglichkeit bietet unterschiedlich farbige Container zu suchen, aufzunehmen und zum Ausgangsort zu bringen. Diese grundlegenden Funktionen sind über drei Modi realisiert wurden. Letztlich funktionieren alle Funktionen zuverlässig.

Jedoch kam es während der Entwicklung des Roboters zu verschiedenen Problemen, auf welche im Folgenden eingegangen wird. So ergab sich zuallererst die Schwierigkeit, dass eine Aufnahme der Container mit Hilfe von Seilen nicht mit Lego und in den geplanten Dimensionen realisierbar ist. Dadurch entstand die Kombination des Portalkrans mit einem Gabelstapler.

Hieraus entwickelte sich jedoch das nächste Problem, die Konstruktion des Lastschlittens, welcher in der Lage sein sollte sich herauf und herunter zu bewegen, als auch die Gabeln herein und heraus zu fahren. Deshalb war es notwendig dafür zwei Motoren zu verwenden. Anhand des Lastschlittens ergaben sich dann auch die Dimensionen der Container.

Da an den Lego NXT nur drei Motoren angeschlossen werden können, konnte nur ein Motor zur Realisierung des Antriebs verwendet werden. Deshalb muss sich dieser Motor oben befinden und die Kraft mit Hilfe von Zahnrädern übertragen werden. Dabei kommt es durch die entstehende Reibung zu einem Verlust der mechanischen Energie. Dies hätte durch das mehrmalige Umlenken der Kraft minimiert werden können, würde die Konstruktion jedoch noch größer machen.

Des Weiteren stellte die Positionierung der Sensoren ein Problem dar, da sich daraus das entsprechende Timing zum Stoppen des Roboters ergibt. Hieraus folgte die Aneinanderreihung zweier Farbsensoren, wodurch die Messungen präziser wurden. Dies führt auch dazu, dass es nur noch einen sehr kleinen Spielraum zwischen dem Erkennen der Farbe und darauffolgendem Anhalten des Portalstaplers gibt.

Außerdem war es anfänglich eher zufällig bestimmt, ob die Container gerade im Fahrzeug ankommen. Dies konnte durch den angebrachten Pflug gelöst werden, wodurch die Container gerade im Roboter stehen. Der fertige Pflug ist in Abb. 1 links am Roboter zu sehen. Dabei musste dieser so konstruiert werden, dass er die Fracht nicht aufhält, die Container also hängen bleiben könnten.

Letztlich gab es auch ein Problem beim Vorgang des Sortierens. So lief das Programm immer nur bis zum ersten zu holenden Container ab. Ursache hierfür war eine zu kurze

Wartezeit zwischen den einzelnen Vorgängen. Außerdem stellte es sich als effizienter heraus, den Nutzer vor einem Sortiervorgang wählen zu lassen, wie viele Container betrachtet werden sollen.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Das Paper legt die Entwicklung eines Portalkrans mit Lego Mindstorms NXT und Matlab dar. Der beschriebene Roboter ermöglicht die Auswahl einer Containerfarbe über eine GUI und das Aufnehmen und den Transport des Containers zum Ausgangspunkt. Der Roboter orientiert sich am Vorbild eines Portalkrans. Es wurden jedoch einige Anpassungen in der Konstruktion vorgenommen. Dazu gehört vor allem die Kombination mit einem Gabelstapler, woraus der Lastschlitten des Roboters resultiert.

Es besteht jedoch die Möglichkeit den Roboter weiter zu verbessern. So würde ein vierter Motor es ermöglichen, dass auch Kurven gefahren werden könnten. Dazu wäre es jedoch notwendig einen weiteren NXT zu verwenden. Des Weiteren könnte man den Portalstapler so konstruieren, dass die Fracht auch übereinander gestapelt werden kann. Um dies zu realisieren müsste man den Roboter deutlich größer bzw. höher bauen, sodass ein Container auf einen anderen abgestellt werden kann.

Das Ziel, einen automatisierten Portalkran zu konstruieren, ist mit diesem Projekt erfolgreich gelungen. So ist es möglich zuverlässig und präzise Container anliefern zu lassen, sie zu sortieren oder die Containerfarben zu scannen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] PORT OF HAMBURG: Statistiken Hamburger Hafen. <https://www.hafen-hamburg.de/de/statistiken>. Version: 15.02.2019
- [2] WIKIPEDIA, THE FREE ENCYCLOPEDIA: Portalkran. <https://de.wikipedia.org/wiki/Portalkran>. Version: 18.03.2019
- [3] WIKIPEDIA, THE FREE ENCYCLOPEDIA: Gabelstapler. <https://de.wikipedia.org/wiki/Gabelstapler#Sicherheit>. Version: 18.03.2019
- [4] JETSCHKE: Automatisierte Fahrzeuge. <https://www.jetschke.de/de/Produkte/Automatisierte-Fahrzeuge/>. Version: 18.03.2019