

Konstruktion eines autonomen Portalstaplers

Niklas Ritz, Elektrotechnik und Informationstechnik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Abstract—In deutschen Häfen müssen Container von Brückenfahrzeugführern umgeschlagen werden. Dieser Umstand ist analog zum autonomen Fahren zu sehen und kann mithilfe von autonom agierenden Fahrzeugen verbessert werden.

Im nachfolgenden Beitrag wird auf Basis der baulichen Eigenschaften eines Portalkrans eine technische Lösungsmöglichkeit dargestellt, die autonom agierend diese Umschlagvorgänge durchführt. Der dabei entstandene Portalstapler wird über eine GUI angesteuert und ist in der Lage, Container selbstständig zu Transportieren, zu Scannen und zu Sortieren.

Schlagwörter—Automatisierung, Autonom, Container, Portalkran, Transport

I. AUSGANGSSITUATION

Im Folgenden Abschnitt wird die Situation beschrieben, die zur Entwicklung des Portalstaplers geführt hat. Außerdem werden die konkrete Umsetzung und die verwendeten Komponenten aufgeführt.

Eine vom Hamburger Hafen im Jahr 2018 herausgegebene Statistik führt die pro Jahr umgeschlagene Anzahl an 20-Fuß-Standardcontainern seit 1990 auf [4]. Dabei werden sowohl Import, als auch Export berücksichtigt und auch gesondert gelistet. Interessant ist hierbei, dass sich die absolute Anzahl an Gesamtumschlägen, also die Summe aus Import- und Exportumschlägen im Vergleich zu 1990 mehr als verdreifacht hat. So wurden 1990 insgesamt 1.968.986 20-Fuß-Container umgeschlagen, 2018 hingegen waren es 8.726.442 Container. Dazwischen stiegen die Umschlagszahlen bis 2007 auf ein Maximum von 9.889.792, bevor sie sich konstant um den nun auch 2018 erreichten Wert gruppierten. So blieb diese Umschlagszahl seit 2015 weitestgehend konstant.

A. Problemstellung

Diese Umschlagvorgänge von Containern in deutschen Häfen müssen aufgrund gesetzlicher Vorschriften von einem Brückenfahrzeugführer vorgenommen werden. Dies zwingt die Hafenverwaltung dazu, alle Vorgänge mithilfe von Personal abzuwickeln, was ein Risiko für den reibungsfreien Ablauf im Hafen darstellt. Da immer größere "Ultra Large Container Ships" mit Kapazitäten von bis zu 21.000 Containern gebaut und eingesetzt werden, müssen immer schnellere und effizientere Warenumschläge realisiert werden, was auf Dauer allein durch Personalaufstockung nicht zweifelsfrei gewährleistet werden kann.

Ein modernes Containerschiff kann je nach Bauart mehrere sogenannter 20-Fuß Containereinheiten (TEU) laden. Diese

müssen dann möglichst schnell und effizient in den Häfen umgeschlagen werden, um einen reibungsfreien und profitablen Ablauf zu gewährleisten. In der Regel werden dafür Portalkräne (PK) verwendet, um Container zu Entladen und zu Sortieren. Anschließend können die Behälter von Portalhubwagen (PHW) zu Lagerplätzen, Lastkraftwagen oder Zügen abtransportiert werden. PK und PHW müssen jedoch laut gesetzlicher Verordnung in Deutschland von einem Brückenfahrzeugführer bedient werden und dürfen nicht autonom agieren. Dadurch sind jedoch nur circa 20 bis 30 Umschlagvorgänge pro Stunde bei einem PK möglich. Hinzu kommt auch der Risikofaktor Mensch: Durch Ermüdung, Stress und Ablenkung können schwere Unfälle oder Verladefehler entstehen, im Falle einer Krankheit oder Rente muss Ersatz gefunden werden und es sind bestimmte Arbeitsschutzmaßnahmen und Ruhezeiten einzuhalten.

B. Lösungsansatz

Dies lässt sich mithilfe eines autonom agierenden PHW's optimieren, da er keinen Kranführer benötigt und ohne Pause Umschlagvorgänge durchführen kann. Das Ziel des Projekts ist es, ein Fahrzeug zu konstruieren, welches sich geradlinig auf Rädern bewegen kann und die Bauart eines Portalkrans, beziehungsweise Portalhubwagens übernimmt. Es soll dem Fahrzeug möglich sein, Container anhand ihrer Farbe zu Erkennen und diese dann aufzunehmen und zu Sortieren. Weiterhin soll das Fahrzeug nicht benötigte Container mit und ohne aufgenommene Last geradlinig "überfahren" können.

C. Umsetzung

Diese Zielstellung wird mithilfe eines Lego-Technik-Bausatzes der Lego-Reihe "Lego-Mindstorms" realisiert und über eine MATLAB-Erweiterung der RWTH Aachen programmiert. Dafür werden ein Lego-NXT-Baustein, zwei Farbsensoren und drei Lego-Motoren verwendet.

Der NXT-Baustein fungiert als Schnittstelle zwischen dem Computer und den eingebauten Sensoren und Motoren.

Zur Erkennung der Container werden zwei Lego NXT 2.0 Farbsensoren des Lego-Mindstorms-Sets verwendet, welche bei Erkennung eines Wertes die Ausgabe "BLUE", "YELLOW", "RED", "GREEN" oder "WHITE" liefern. Wird keine Farbe in Reichweite erkannt oder ist der Gegenstand sehr dunkel, wird "BLACK" ausgegeben.

Den drei Motoren sind die Aufgaben Antrieb, Heben/Senken und Gabel ein- und ausfahren zugeordnet. Motor A sorgt für die Vorwärts- und Rückwärtsbewegung des gesamten Fahrzeugs, Motor B hebt und senkt den Lastschlitten, welcher die Container aufnimmt und Motor C fährt die Gabeln ein und

aus, die die Behälter anheben. Damit sind alle Motorschnittstellen am NXT-Stein belegt.

Als Container werden aus den Lego- Standardfarben Rot, Blau, Weiß, Grün und Gelb Quader gefertigt, die auf einem Gestell aus Lego-Technik Elementen befestigt sind, sodass die Farbsensoren eine optimale Erkennung der Farbwerte liefern.

II. STAND DER TECHNIK

Es erfolgt nun eine kurze Darlegung der aktuell verwendeten und eingesetzten Systeme und die daraus entstandene Bauart des Projektes.

A. Reale Vorbilder

Portalkräne und Containerbrücken werden hauptsächlich im Freien eingesetzt, um große oder sperrige Lasten zu bewegen. Folgende Merkmale zeichnen diese Konstruktion aus:

Sie besteht aus zwei senkrechten, schienenläufigen Stützen, zwischen denen eine Brücke installiert ist, an der beweglich oder statisch das Hubwerkzeug angebracht ist. Je nach Bauart, Hersteller und Abmessungen können auch mehrere Hubwerkzeuge installiert sein und verschiedene Krantypen vorliegen.

Es wird hauptsächlich zwischen den folgenden Arten unterschieden: Es gibt sogenannte RTG-Kräne, die statt auf Schienen auf gummiereiften Rädern fahren, Halbportalkräne, die nur eine Stütze besitzen und meist in Hallen eingesetzt werden und statisch fixierte Bockkräne. Der Antrieb kann sowohl rein elektrisch als auch über Verbrennungsmotoren und Aggregate erfolgen. Die Steuerung erfolgt von einem in der Brücke eingesetzten Führerhaus oder von einem externen Kontrollstand aus, was jedoch fast ausschließlich in geschlossenen Hallen angewandt wird. Für das Verbringen über längere Strecken werden PHW eingesetzt, die kleiner als PK dimensioniert sind, sich jedoch in Aufbau und Betriebsvorschriften kaum unterscheiden.

B. Konstruktion

Das Hauptaugenmerk soll auf der Transportfähigkeit über größere Strecken liegen. Damit entfällt eine Bauweise gleich der eines örtlich gebundenen Portalkrans und es wird ein Antrieb notwendig, der das gesamte System bewegen kann. Daher soll der Portalhubwagen als Vorbild dienen, da es sich um einen klein ausgeführten Portalkran auf Rädern oder Schienen handelt, der meist ein einziges Containerelement über größere Strecken auf dem Hafengelände transportiert.

Ziel des Projektes ist es also, ein autonomes Fahrzeug zu konstruieren, welches die aufgenommene Last, einen einzigen Container, über größere Strecken transportieren kann. Dabei soll es dem Fahrzeug möglich sein, die Container zu ordnen, zu sortieren und zu unterscheiden, jedoch nicht zu stapeln.

III. MERKMALE UND FUNKTIONSWEISE

A. BAULICHE MERKMALE

Der autonome Portalstapler ist als vierbeiniger RTG-Portalhubwagen konstruiert worden. Dies ist das wohl charakteristischste konstruktive Merkmal, da das Fahrzeug die Vorteile eines Portalkrans und eines Gabelstaplers miteinander vereint: Es ist möglich, während des Transports andere

Behälter einfach ohne Ausweichen zu "überfahren" und das feinfühlig Ausrichten der Seilwinde und das Einklinken der Hubvorrichtung entfallen, die Behälteraufnahme erfolgt also wie bei einem Gabelstapler durch zwei bewegliche Gabeln, die unter den jeweiligen Container geschoben werden.



Abbildung 2: Gesamtansicht

Der Antriebsmotor sitzt oben auf dem Gerüst auf und die Kraftübertragung erfolgt mithilfe von Zahnrädern entlang der beiden hinteren Stützsäulen zu den Hinterrädern. Nur so ist es möglich, die Zielstellung, das Heben und Sortieren von Containern übereinander hinweg, zu realisieren. Deshalb wurde eine Bauweise gleich der eines klassischen Gabelstaplers verworfen. Ebenfalls wurden oben auf dem Portal der NXT-Stein zur Ansteuerung der Sensoren und Motoren und der Motor des Lastaufzuges installiert. In Fahrtrichtung links sitzt zwischen den beiden Rädern der Lastschlitten mit den beweglichen Containergabeln, die durch den letzten, dritten Motor, welcher auf dem beweglichen Lastaufzug montiert ist, ein- und ausgefahren werden können. Die beiden Farbsensoren wurden an der Front des Portalstaplers nach unten zeigend an einer Querstrebe zwischen den beiden vorderen Beinen direkt hintereinander montiert. Außerdem wurde ein Pflug in beide Fahrtrichtungen und eine Führungsschiene innerhalb des Portals angebracht, um die Container für die Aufnahme optimal auszurichten. Zur besseren Erkennung wurden die Container einfarbig in Rot, Weiß, Blau, Gelb und Grün aus klassischen Lego-Steckbausteinen und Lego-Technik-Elementen gebaut.

B. Erkennung der Container

Bewegt sich der Portalstapler vorwärts, scannen beide Farbsensoren den Untergrund kontinuierlich ab. Erkennt nun der vordere Sensor eine Farbe, wird überprüft, ob es sich um die Zielfarbe handelt. Ist dies nicht zutreffend, wird weitergefahren und -gescannt. Handelt es sich hingegen um die gewünschte Farbe, so wird nun auch der Wert des zweiten Sensors abgefragt. Solange der zweite Sensor die Zielfarbe erkennt, befindet sich der Stapler noch nicht genau über dem Container und fährt weiter. Erkennt der hintere Sensor jedoch die Farbe Schwarz, so bedeutet dies, dass der Container am zweiten Sensor vorbeigezogen ist und nun aufgrund der Position des Sensors 2 der Behälter optimal steht.

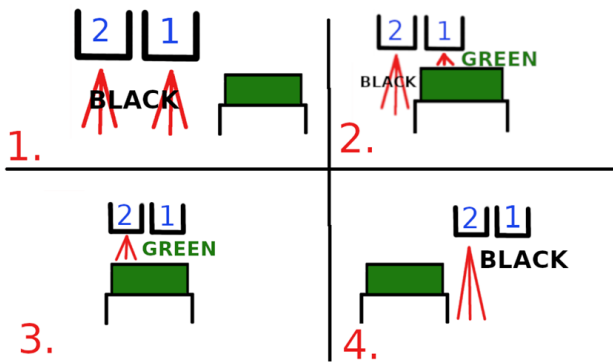


Abbildung 3: Schema der Erkennung

Nun stoppt das Fahrzeug, die Fracht wird nach dem Prinzip eines Gabelstaplers aufgenommen und es erfolgt der Rücktransport. Die zu fahrende Strecke wird hierbei aus der Anzahl der Motorumdrehungen ermittelt.

C. Ansteuerung und Betriebsmodi

Der Portalstapler wird mittels einer GUI angesteuert und verfügt über drei Betriebsmodi: Suchen, Scannen und Sortieren. Im ersten Modus sucht der Stapler den Container in der eingegebenen Farbe aus einer Anzahl unterschiedlich gefärbter Container heraus und bringt diesen zum Ausgangspunkt zurück und stellt ihn dort ab. Im Scanmodus fährt der Portalstapler von seinem Ausgangspunkt aus eine beliebig große, im aktuellen Fall bis zu fünf Einheiten lange, Containerkette ab und gibt dann in Echtzeit die Reihenfolge der Farben, also die Behälterreihenfolge an. Anschließend kehrt er zum Ausgangspunkt zurück. Die Anzahl der zu verarbeitenden Einheiten kann vorher in der GUI festgelegt werden, da dies den Einsatz nutzerfreundlicher und flexibler macht. Im Sortiermodus fährt das Fahrzeug jeden der Container entsprechend der eingegebenen Farbreihenfolge an und stellt die Behälter dann entsprechend der eingegebenen Reihenfolge vom Ausgangspunkt an aus rückwärts ab. Der erste Behälter steht also am Ausgangspunkt, der zweite in Fahrtrichtung rückwärts dahinter und so weiter. Zur Warnung wird beim Transportvorgang ein regelmäßiger Warnton abgegeben und nach jedem Vorgang ein Bestätigungston oder eine Tonfolge bei beendeten Aufgaben, um den aktuellen Betriebsstatus zu signalisieren.

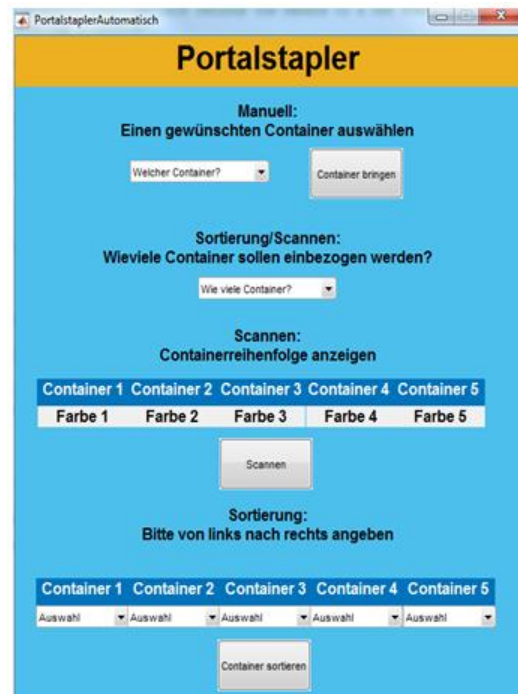


Abbildung 4: Die GUI zur Ansteuerung des Portalstaplers

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Das Ergebnis ist ein autonom agierender Portalstapler, der lediglich über die Auswahl der Container oder der Wahl der Betriebsmethode durch den Menschen bedient wird. Alle anderen Schritte, wie das Erkennen, Ordnen, Scannen, Aufnehmen und Verbringen der Behälter werden vom Fahrzeug selbst ausgeführt.

Die angestrebte Präzision bei Erkennung und Transport wurde durch direkt hintereinander angebrachte Sensoren erreicht. Die Containeraufnahme erfolgt deshalb zuverlässig und fehlerfrei.

Das aufnehmbare Gewicht ist aufgrund der Stabilität der Legobauteile begrenzt, jedoch wird dieser Grenzwert durch die Lego-Behälter nicht erreicht.

Mithilfe der GUI kann der Nutzer direkt festlegen, wie viele Behälter er berücksichtigen möchte und ob er diese Scannen, Sortieren oder nur einen speziellen Container gebracht haben möchte. Auf die Geschwindigkeit, mit der der Stapler agiert, hat der Bedienende hingegen keinen Einfluss.

Die Vorgänge funktionieren aufgrund der Abstimmung der Komponenten und dem Pflug zur Containerausrichtung nahezu reibungsfrei, lediglich die ungenaue Ausrichtung der Behälter im Vorfeld kann zu unregelmäßigen Abständen führen, wenn der Pflug beginnt, Container zu schieben, da diese sich teilweise ineinander verkeilen.



Abbildung 5: Einer der verwendeten Container

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Abschließend wird nun ein Fazit zu den Ergebnissen gezogen und mögliche Probleme werden aufgezeigt.

Im Verlauf des Lego-Mindstorms Projektseminars ist es gelungen, ein autonom agierendes Fahrzeug zu konstruieren, welches verschiedenfarbige Container Erkennen, Sortieren, Scannen und Transportieren kann. Die Behälter werden zuverlässig erkannt, von dem montierten Pflug in Position gebracht, korrekt aufgenommen und abtransportiert. Genau wie bei dem realen Vorbild, dem PHW, ist ein Schienen- oder Radbetrieb möglich und aufgenommene Container können ohne Probleme über die anderen Behälter hinweg gehoben und transportiert werden.

Der Vorteil des Staplers liegt in seiner Automatisierung: Durch die maschinelle Erfassung und akkurate Arbeitsweise wird ein schneller, effizienter und reibungsfreier Ablauf gewährleistet.

Aufgrund des zeitlichen Rahmens war es nicht möglich, eine Stapelfunktion zu integrieren. Dies hätte ab einer Höhe von mehr als zwei Containern ohnehin zu konstruktionstechnischen Problemen geführt, da das Fahrzeug baulich nicht dafür ausgelegt wurde. Es kann stets nur eine Containerhöhe mit oder ohne aufgenommene Last "überfahren" werden.

Bei Implementierung dieser Funktion nach Umbau des Gerätes würde sich der Funktionsumfang allerdings den realen Anforderungen annähern, da die Container nun platzsparender sortiert und gelagert werden könnten.

Eine Funktion für eine variable Strecke oder festgelegte Ablagestellen, die das Fahrzeug ansteuern kann, konnte wegen der räumlichen Limitierung durch das USB-Kabel, welches NXT-Baustein und PC miteinander verbindet, nicht umgesetzt werden. Dies wäre auch durch die Schnittstellenanzahl des NXT-Steins unmöglich geworden, da ein NXT-Baustein nur über 3 Schnittstellen für Motoren verfügt und bereits alle Stellen belegt wurden, sodass die automatisierte Lenkung durch das Fahrzeug selbst entfällt.

Dieses Problem wiederum kann aber mit einem weiteren NXT-Stein und einer drahtlosen Verbindung zwischen PC-Steuerung und dem Fahrzeug behoben werden. Dann wäre es möglich, dass das Fahrzeug mittels eines weiteren Motors gesteuert wird und weitere Sensoren auch Fahrwege und Hindernisse erkennen würden, sodass der Portalstapler vollends autonom und frei fahrend agiert.

Auch gibt es einen weiteren, denkbaren Ansatz für die Erkennung der Ladung: Nicht jeder Container kann eine andere Farbe erhalten, zumal dadurch auch leicht Verwechslungsgefahr bestünde, weshalb hier ein QR-Code

Scanner Abhilfe schaffen könnte, um auch größere Behälteranzahlen bearbeiten zu können.

Eine weitere Alternative wäre der Betrieb des Systems auf Schienen. Damit würde man die klassischen Probleme eines Reifenfahrzeuges, wie Reifenverschleiß und Druckverlust, umgehen. Außerdem könnte man dann die Versorgung des Systems wie bei Zügen und Straßenbahnen mittels einer Oberleitung sicherstellen, was den Einbau von Batterien unnötig machen würde, falls das Fahrzeug elektrisch betrieben werden sollte.

Es stellen sich natürlich die gleichen Fragen wie beim Betrieb von autonomen Drohnen und Automobilen: Wie wird mit Unfällen verfahren? Wie können software- oder hardwarebedingte Ausfälle verhindert werden? Wie schützt man sich gegen Cyber-Angriffe? Wann werden die gesetzlichen Voraussetzungen für den Einsatz gegeben sein?

Im Falle einer Zulassung von autonom agierenden Fahrzeugen ist der Portalstapler eine Lösung für das eingangs geschilderte Problem. In großen Häfen wie Hamburg, Rotterdam in den Niederlanden oder Singapur wäre es möglich, mehrere Stapler miteinander zu vernetzen, um Kollisionen zu verhindern und so den Transfer noch effizienter zu gestalten. Auch autonome Lastwagen oder Lastendrohnen wären dann denkbare Hilfsmittel im Handelsverkehr.

Es bleibt natürlich abzuwarten, ob und wann ein solcher Betrieb in der Bundesrepublik Deutschland gesetzlich möglich gemacht werden wird.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1]"Portalkran" aus <https://www.konecranes.com/de-de/fachlexikon/portalkran>,
Zugriffsdatum: 24.02.2019
- [2]"Containerbrücke" aus <http://www.wikiwand.com/de/Containerbr%C3%BCcke>
Zugriffsdatum: 24.02.2019
- [3]"Ultra Large Container Ship" aus https://de.wikipedia.org/wiki/Ultra_Large_Container_Ship
Zugriffsdatum: 24.02.2019
- [4]"TEU-Statistik" aus <https://www.hafen-hamburg.de/de/statistiken/containerumschlag>,
Zugriffsdatum: 12.06.2019