

Der Stabelgabler

Ein Ansatz für den innerbetrieblichen Transport

Robin Kaldyk, Elektrotechnik und Informationstechnik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Abstract— Innerhalb des Projektseminares Elektro- und Informationstechnik soll ein Roboter konstruiert werden. Dieser besteht aus einfachen LEGO-Bauteilen und Sensoren, welche mit einem NXT-Kontrollstein (Abbildung [1]) interagieren können. Im Zuge des Seminars musste dieser Stein durch die Programmier-Software MATLAB konfiguriert werden. Im Folgenden werden Konstruktion, aufgetreten Probleme und deren Lösungen eines Gabelstaplers erläutert, sowie sich mit Anwendungsmöglichkeiten und potenzieller Verbesserungen auseinandergesetzt.

Schlagwörter— autonom, Gabelstapler, innerbetrieblich, Roboter, Transport



Abbildung [1]: NXT-Kontrollstein

I. EINLEITUNG

Roboter sind heutzutage unersetzbare Bestandteile der Industrie. Sie ermöglichen fehlerfrei Prozesse zu automatisieren, wodurch eine schnelle und saubere Verarbeitung von Massenware garantiert werden kann. Im Bereich der Logistik ist der innerbetriebliche Transport ein wichtiger Bestandteil der Unternehmen. Um dort die Arbeitseffizienz zu steigern und den Materialfluss zu beschleunigen, kommt es zum Einsatz von automatisierten Transportsystemen (Abbildung [2]). Durch die Verwendung von Sensoren können diese Systeme eigenständig Waren und Güter innerhalb des Betriebes organisieren und zu den benötigten Einsatzorten liefern. Der in diesem Projekt aus LEGO gebaute Gabelstapler verwendet genau solche Sensoren, um sich in seiner Umgebung zu orientieren.



Abbildung [2]: Autonomer Gabelstapler der Marke Agilox

II. VORBETRACHTUNGEN

Die Automatisierung des Gabelstaplers ist durch die verfügbaren Bauteile stark begrenzt. Es gibt nur wenige sinnvolle Möglichkeiten den Roboter annähernd präzise zu steuern. Außerdem ist es nicht möglich zwei unterschiedliche Prozesse über einen Motor anzusteuern, weshalb insgesamt drei Motoren verwendet werden. Einer ist für die Lenkung zuständig, ein anderer für den Antrieb und ein dritter zum Heben bzw. Senken der Gabel.

A. Antrieb und Lenkung

Grundsätzlich gibt es viele verschiedene Möglichkeiten den Bau der Lenkung und des Antriebs umzusetzen. Für einen Gabelstapler ist ein kleiner Wendekreis jedoch essenziell. Dieser ermöglicht es auch zwischen engen Regalen unkomplizierte Lenkbewegungen auszuführen, wodurch eine genaue Ausrichtung vor dem Regal möglich wird. Um dies zu erreichen kann entweder ein Raupenfahrwerk oder aber eine Hecklenkung, an dem sich gleichzeitig auch der Antriebsmotor befindet, verwendet werden. In dieser Version wurde sich für die Konstruktion einer Hecklenkung entschieden.

B. Sensorik

Der Roboter muss in der Lage sein, sich innerhalb des definierten Raumes zu orientieren und die richtige Ware aus dem Regal zu entnehmen, ohne dabei andere Gegenstände oder sich selbst zu beschädigen. Ursprünglich wurde diskutiert, eine Kombination aus Farb-, Licht- und Ultraschallsensor zu verwenden, letztendlich kamen jedoch nur zwei Farbsensoren zum Einsatz. Ein Sensor dient dabei der Orientierung anhand einer auf den Boden gezeichneten Linie, während der andere nach dem richtigen Farbmerkmal der gesuchten Palette scannt.

III. UMSETZUNG

Im folgenden Abschnitt werden die Zusammenhänge zwischen Konstruktion und Programmierung erläutert und es werden auf Probleme und deren Lösungen eingegangen.

A. Erstellung der Linien

Um festzustellen, in welche Richtung der Stapler lenken muss und gleichzeitig Fehlinterpretationen der Farben durch den Sensor zu vermeiden (der Sensor erkannte oft "weiß" als "gelb"), war schnell klar, dass eine dreifarbige Linie entworfen werden musste, deren Farben der Sensor eindeutig erkennen kann. Es wurde sich für die Linienfarben Blau (links), Schwarz (in der Mitte) und Rot (rechts) entschieden. Die ursprünglich zu schmal gewählten Linien (ca. 1cm) wurden nachträglich vergrößert (auf ca. 3cm), um eine präzisere Erkennung des Sensors zu gewährleisten. Zusätzlich verringert sich die Breite gegen Anfang und Ende der Linie und ist außerdem durch einen gelben Bereich gekennzeichnet. Dieser dient zur späteren Erkennung des Start- bzw. Endpunktes und ermöglicht auch die Ausrichtung vor dem Regal (Abbildung [3]).



Abbildung [3]: Ausschnitt der Orientierungslinie

B. Konstruktion

Da bereits zu Beginn feststand, den Antriebsmotor direkt am Lenkmotor anzubringen, mussten diese beiden Teile sehr stabil miteinander verbunden werden, um das Gewicht des NXT-Steines tragen zu können und Verbiegungen an der Verbindungsstelle zu vermeiden (Abbildung [4]). Gleichzeitig war es wichtig, dass der Gabelstapler kompakt bleibt, um den Wendekreis so gering wie möglich zu halten und die Stabilität der gesamten Konstruktion zu gewährleisten. Aus diesem Grund wurde der Lenkmotor sehr weit vorne und unterhalb der eigentlichen Karosserie montiert.

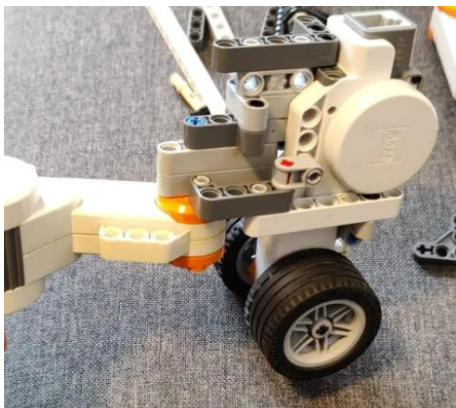
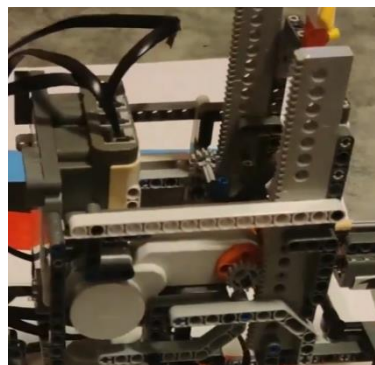


Abbildung [4]: Prototyp des Lenk- und Antriebsmechanismus

Um ausreichend Platz für den Lenkmotor zu schaffen, musste der Farbsensor, der für die Ermittlung der Position auf den Linien zuständig war, noch weiter vorne montiert werden. Folglich kam es zu Abweichungen zwischen der eigentlichen Position des Gabelstaplers und der erkannten Farbe durch den Sensor. Diese konnten jedoch durch die breiteren Linien minimiert werden.

Der dritte Motor, welcher für das Heben und Senken der Gabel zuständig ist, wurde über ein Zahnrad, mit dem auf der Rückseite der Gabel, befestigten Zähnen verbunden. Somit kann die Rotationsbewegung des Motors in eine lineare umgewandelt werden. Die Stabilität der Gabel wurde weiter verbessert, indem auf beiden Seiten Schienen konstruiert wurden, auf denen die Gabel gleiten konnte. Dabei stützt ein mitlaufendes Zahnrad die Konstruktion und gewährleistet einen ständigen Kontakt zwischen Gabel und Motor (Abbildung [5]).



Abbildung[5]: Verbindung zwischen Gabel und Motor

C. Programmierung

Das größte Problem stellte die Auswertung der Lenkbewegung, auf Grund des gewählten Lenk- und Antriebsmechanismus, dar. Zur Lösung die allgemeine Vorgehensweise der Regelungstechnik angewandt. Um eine möglichst genaue Lenkung zu bewilligen, wurde zunächst die gerade Ausrichtung mittels des, im Motor, eingebauten Rotationssensors ermittelt und diese als Nullposition festgelegt.

Phase 1: Sobald der gelbe Startpunkt erkannt wurde, wird ein Startbefehl an den Antriebsmotor gesendet. Die erkannten Farben werden in einer Matrix (mit insgesamt 20 Elementen) gespeichert, um die aktuelle Bewegung des Staplers zu verfolgen und zu steuern. Basierend auf der Anzahl von roten, blauen und schwarzen Elementen innerhalb der Matrix wird bestimmt, in welche Richtung sich der Motor drehen muss, um die Lenkbewegungen auszugleichen und wie stark diese sein muss. Der Motor bewegt sich nach rechts bei der Farbe „blau“, nach links bei „rot“ und in Richtung Nullposition bei „schwarz“. (Tabelle 1)

Tabelle 1
Stärke des Einlenkens am Beispiel der Farbe Rot

Menge der roten Elemente in der Matrix	Größe des Einlenkwinkels (nach links)
größer 0 und kleiner 6	-15°
größer 5 und kleiner 11	-25°
größer 10 und kleiner 16	-35°
größer 15 und kleiner 21	-45°

Phase 2: Wenn nun erneut die Farbe "gelb" erkannt wird, hat der Stapler die Zielposition erreicht und der Antriebsmotor wird gestoppt. Der Lenkmotor kehrt dann in die Nullposition zurück und richtet somit den Gabelstapler vor dem Regal aus. Aufgrund der Ungenauigkeit der Motoren kann jedoch eine Abweichung von $\pm 2^\circ$ auftreten.

Phase 3: Ist das Regal erreicht, wird der vordere Farbsensor aktiviert. Nun fährt die Gabel in einem konstanten Tempo nach oben, bis die richtige Palette durch die Farbcodierung der Palette erkannt wurde. Wird jedoch die vorher definierte Maximalhöhe überschritten bzw. die gesuchte Farbe nicht gefunden, wird der Vorgang abgebrochen.

Phase 4: Durch mehrfaches Testen wird die Gabel nun so weit gesenkt, dass der Stapler beim Hineinfahren in das Regal und anheben der Gabel nur die gewünschte Palette greift und nicht gegen andere Paletten innerhalb des Regals steuert. Anschließend fährt er zurück und wendet.

Phase 5: Ähnlich wie in Phase 1 folgt er nun der Linie, wobei die Lenkbewegungen vertauscht werden mussten. Erkennt er erneut den Start/Endpunkt, wird die Routine beendet und er geht in den Standby-Modus über, um ein erneutes Durchlaufen der Routine zu ermöglichen, ohne das Programm neu zu starten (Abbildung [6]).

IV. AUSWERTUNG UND MÖGLICHE VERBESSERUNGEN

Das Projekt war im Großen und Ganzen mehr als zufriedenstellend. Der Gabelstapler konnte die Routine in ca. 19 von 20 Versuchen ausführen.

Durch die verwendete Lenkung mussten wir dennoch auf einige Dinge verzichten. So war es nicht möglich der Stapler schneller als 5% der maximalen Geschwindigkeit fahren zu lassen, da andernfalls scharfe Kurven nicht erreicht werden konnten.

Auch gibt es sensorische Verbesserungsmöglichkeiten. So würde die Verwendung von Kameras zu genaueren Ergebnissen bei der Farberkennung führen und demnach auch die Lenkung schon etwas verbessern.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Der Gabelstapler (Abbildung [7]) (auch „Stabelgabler“) funktioniert für den zweiwöchigen Zeitraum gut und erfüllt die gestellten Aufgaben. Mit mehr Bearbeitungszeit könnte man mit Sicherheit die Lenkung noch weiter verbessern und die Geschwindigkeit, mit der der Stabelgabler fährt, etwas erhöhen.

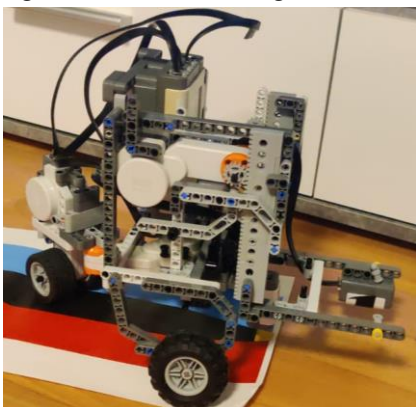


Abbildung [7]: Das Endergebnis des Projekts

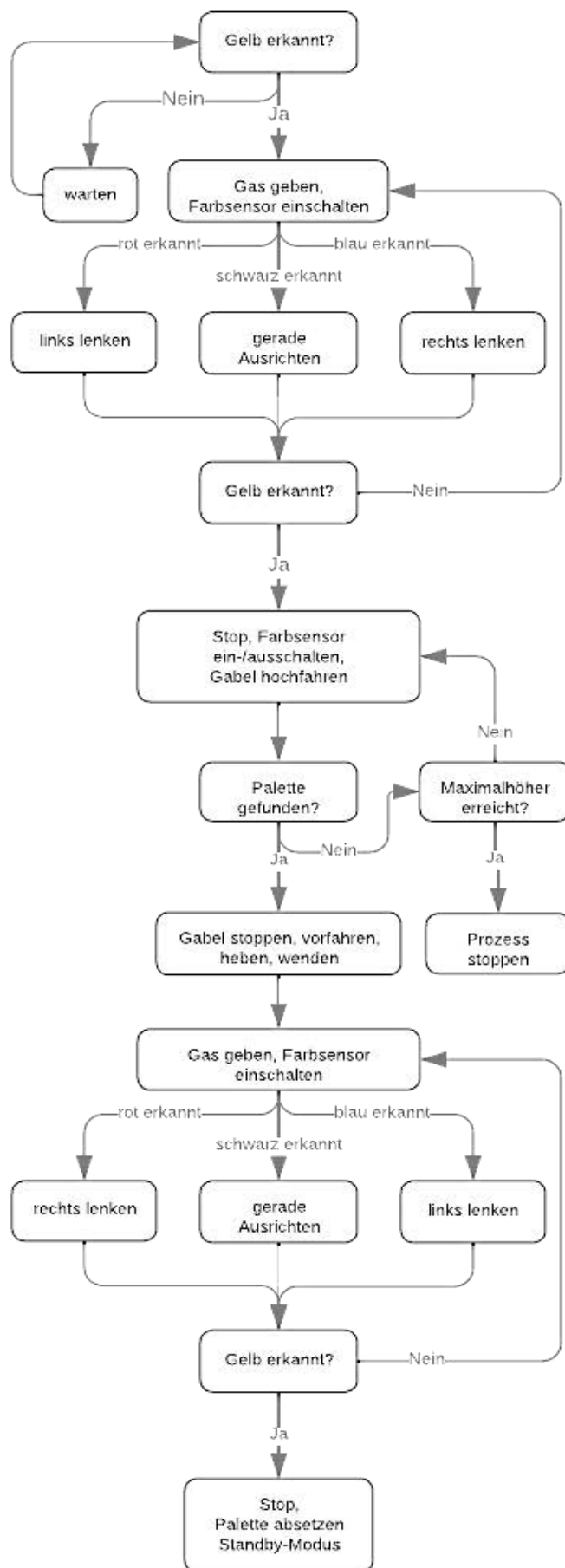


Abbildung [6]: Programmablauf als Flussdiagramm

LITERATURVERZEICHNIS

- [1]
https://www.brick-shop.de/images/product_images/original_images/9841-NXT-Brick.jpg (01.03.23)
- [2]
<https://automationspraxis.industrie.de/allgemein/autonomergabelstapler-mit-schwarmintelligenz/> (02.03.23)