

# Pfandflaschenautomat

Konstantin Bredenfeld, Elektro- und Informationstechnik  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

**Zusammenfassung**—In dieser Arbeit wird der Bau und die Funktionsweise eines Pfandflaschenautomates dokumentiert. Dieser wurde im Rahmen des zweiwöchigen Projektseminars Elektrotechnik/Informationstechnik im Wintersemester 2020 gebaut. Hierfür wurden ein programmierbarer NXT-Baustein und LEGO-Technik-Bauteile verwendet. Hinzu kommen zwei Motoren, drei Ultraschallsensoren, eine Webcam für die Erkennung des Barcodes mit Hilfe der Zebra Crossing Library und ein Taster. Programmiert wurde der NXT-Baustein mit MATLAB. Der Transport sowie die Rotation der Flasche und die Erkennung des Barcodes auf der Pfandflasche wurden erfolgreich realisiert.

**Schlüsselwörter**—Barcode, LEGO Projektseminar, Mindstorms, NXT, Pfandflasche, Pfandflaschenautomat

## I. EINLEITUNG

SEIT Januar 2003 gilt in Deutschland eine Pfandpflicht für Getränkeverpackungen. Das System wurde eingeführt, um die Wiederverwendung von Flaschen zu ermöglichen. Die Rücknahme von Getränkeverpackungen wie Einweg-, Mehrwegplastik-, oder Glasflaschen erfolgt durch den Pfandflaschenautomat. Dieser ist verantwortlich für die Erkennung und Sortierung von Pfandflaschen. Einwegflaschen werden sofort zerkleinert wohingegen Mehrwegplastik- und Glasflaschen repariert werden. In einem zweiwöchigen Projektseminar im Wintersemester 2019/20 wurde an der OVGU Magdeburg in Zusammenarbeit mit Robin Kürbis ein Pfandflaschenautomat gebaut und programmiert. Im Seminar wurden Grundlagen der Programmierung in MATLAB und vom NXT-Baustein vermittelt. Das Ziel der Arbeit war es, einen Pfandflaschenautomaten zu bauen, welcher Flaschen transportiert, rotiert und den Barcode erkennt, um zu ermitteln, ob es sich um eine Pfandflasche handelt. Anschließend soll der Automat die Flasche abtransportieren oder dem Benutzer wieder zukommen lassen. Wenn der Benutzer keine Flaschen mehr abgeben möchte, kann dieser den Vorgang über einen Knopf abbrechen. Als Grundlage für den Pfandflaschenautomat dienten der programmierbare NXT-Baustein und LEGO-Technik-Bausteine. Programmiert wurde in MATLAB [1] und mithilfe eines Toolkit der RWTH Aachen [2]. Mit diesem ist ein direkter Zugriff auf die Sensoren und Motoren von LEGO möglich. Die Erkennung der Flasche erfolgt über das Erfassen des Barcodes mit einer Kamera und einer zusätzlichen Bibliothek [3].

## II. VORBETRACHTUNGEN

### A. Prinzip

Das Prinzip eines Pfandflaschenautomaten ist auf den ersten Blick relativ simpel. Jedoch werden mehrere Schritte

durchgeführt, bevor eine Pfandflasche sortiert wird. Zur Erkennung einer Pfandflasche sind eine Vielzahl an Komponenten vonnöten. Dazu zählen: Laufband, Rotationsmechanismus mithilfe einer Rolle, Gewichtssensor, Kamera und Laserscanner. Das Laufband transportiert die Flasche vom Eingang ins Innere des Leergutautomaten. Dort angekommen wird mit einem Laserscanner das Pfandsymbol und der Barcode erfasst. Der Strichcode wird mit einer Datenbank verglichen und es wird geprüft, ob es sich um eine Pfandflasche handelt. Anschließend wird über die Kamera die Kontur der Flasche ermittelt. Entspricht die Kontur der Flasche derjenigen aus der Datenbank, wird die Flasche angenommen. So wird auch verhindert, dass verformte Flaschen angenommen werden. Zusätzlich ist ein Gewichtssensor verbaut, um nur nahezu leere Flaschen anzunehmen. Wird der Barcode der Getränkeverpackung nicht im ersten Moment erkannt, wird diese durch den Rotationsmechanismus gedreht. Der Barcode enthält darüberhinaus Informationen über die Art der Pfandflasche. Einwegflaschen werden in einem Kompaktor zerkleinert und in Behälter verstaut. Hingegen werden Mehrwegflaschen wieder in Kästen per Hand einsortiert. Der Aufrichter ist für das Aufstellen der Mehrwegflasche verantwortlich. Diese funktioniert nur, wenn die Flasche mit dem Boden als erstes in den Leergutautomaten gesteckt wird. Möchte der Kunde keine weiteren Pfandflaschen einwerfen, kann sich dieser abschließend vor Ort einen Pfandbon ausdrucken lassen.

### B. Stand der Technik

Die neuesten Modelle der Leergutautomaten besitzen 360° Scanner. Dabei wird die Flasche bereits beim Einwurf in den Automaten gescannt. Die Flasche darf aber nicht zu schnell eingeworfen werden, da sonst der 360° Scanner keine Möglichkeit hat, sie zu erkennen. Mit diesem Verfahren wird der Rotationsmechanismus überflüssig und daher eine höhere Durchlaufzeit erreicht. Desweiteren gibt es Systeme, bei denen die Einsortierung von Mehrwegflaschen in Kästen automatisiert erfolgt. Eine zusätzliche Arbeitskraft für das Einordnen ist so nicht mehr nötig.

### C. Barcode

Der Barcode ist eine Abfolge von hintereinander gereihten schwarzen (1) und weißen (0) Strichen. Es gibt eine Vielzahl von Barcodes. Die populärsten sind der QR-Code und die ISBN. In der Lebensmittelindustrie werden vorrangig zwei Arten von Strichcodes verwendet: EAN-8 und EAN-13. Sie bestehen aus 8 bzw. 13 Ziffern. Eine Ziffer wird durch 6 schwarze oder weiße Striche dargestellt. EAN steht für Europäische Artikel-Nummer. Die EAN-8 wird nur an Artikel vergeben, bei denen eine EAN-13 mehr als 25 % der Frontfläche in



Abbildung 1. EAN-13-Barcode [5]

Anspruch nehmen würde. Hinzu kommt, dass es durch die geringeren Variationsmöglichkeiten der Zahlenkombinationen weniger EAN-8 als EAN-13 gibt. Daher werden EAN-8 seltener vergeben. Links und rechts besitzt die EAN jeweils ein Start- und Stoppzeichen. Dieses ist bei jeder EAN gleich und besteht aus abwechselnd zwei schwarzen und einem weißen Strich (1 0 1). Damit wird dem Auslesegerät der Anfang und das Ende vom Barcode vermittelt. Vor beziehungsweise nach dem Start- oder Stoppzeichen ist eine Hellzone ohne Störzeichen für die richtige Erkennung des Barcodes nötig. Zusätzlich gibt es ein Trennzeichen in der Mitte des Barcodes. Dieser besteht aus drei weißen und zwei schwarzen Strichen (0 1 0 1 0). Zusätzlich besitzt die EAN an letzter Stelle eine Prüfziffer zur Selbstkontrolle der Richtigkeit des Barcodes. Man multipliziert die Ziffern abwechselnd mit 1 und 3 bis auf die letzte Ziffer (links mit 1 anfangen) und summiert alle Teilwerte. Die Prüfziffer ergibt sich aus der Differenz der Summe zum nächsten Vielfachen von 10. Die ersten zwei bis drei Ziffern des Barcodes stehen für die Länderkennung. Dabei handelt es sich aber nicht um das Herkunftsland des Produktes, sondern ausschließlich um das Land, in welchem der Barcode vergeben wurde. [4]

### III. KONSTRUKTION UND PROGRAMMIERUNG DES PFANDFLASCHENAUTOMATEN

Als Grundlage für den Bau des Roboters stand der LEGO-Mindstorms-Baukasten zur Verfügung. Dieser beinhaltet den programmierbaren NXT-Baustein, Ultraschallsensoren, Taster, Farbsensoren, Geräuschsensoren und weitere Lego Technik Bausteine. Der NXT wurde mit der MATLAB Version 2019a programmiert. Der NXT-Baustein besitzt drei Ausgänge, vier Eingänge und einen USB-Anschluss, über den der Datenaustausch und die Programmierung erfolgt. Das Ziel war es, mit dieser Ausgangsposition eine vereinfachte Form des Pfandflaschenautomaten zu bauen. Dieser Automat nimmt ausschließlich nahezu leere Plastikflaschen mit einer maximalen Füllmenge von 0,5 l an. Während des Seminars wurde der Automat gebaut und programmiert.

#### A. Aktorik

Für den Transport der Pfandflasche vom Einwurf bis zum Ende des Pfandflaschenautomaten wurde eine Kettenkonstruktion verwendet. Diese bietet Vorteile gegenüber einem System mit Rollen. Die Getränkeverpackung muss nicht exakt auf

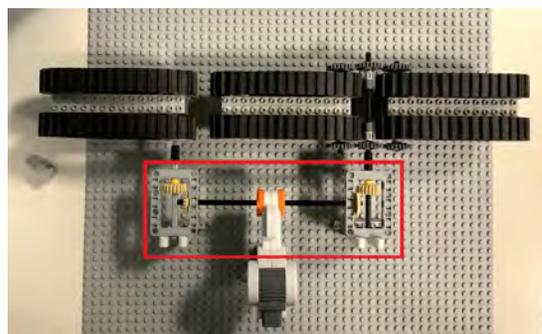


Abbildung 2. Laufband mit Zahnradkonstruktion

die Kettenkonstruktion gelegt werden, sondern kann auch leicht geworfen werden, wie es auch in der Realität ist. Das System transportiert hierbei die Pfandflasche fehlerfrei ab. Bei Rollen kann es zu Komplikationen führen, wenn sich eine Flasche zwischen den Rädern verhakt. Das Laufband bestand anfangs nur aus zwei später jedoch aus drei Kettenpaaren. Mit dieser Anpassung konnte das Laufband eine größere Strecke erreichen, um die Pfandflasche bis zur Barcodeerkennung zu transportieren. Die Kettenpaare wurden über eine Welle und zwei Zahnradkonstruktion angesteuert (siehe rote Markierung Abb. 2). So konnte nur mit einem Motor (Motor A) gleichzeitig drei Kettenpaare angesteuert werden.

Der zweite Motor (Motor B) wurde im Rotationsmechanismus für die Getränkeverpackung verbaut. Anfangs stand die Überlegung im Raum, den Mechanismus über mehrere Räder zu realisieren, welche anschließend seitlich am Laufband hochfahren, um die Flasche zu rotieren. Es wurde sich jedoch gegen diese Idee entschieden, da sich bei zahlreichen Tests diese Methode als sehr fehleranfällig herausstellte. Zusätzliche hätte ein zweiter Motor für die horizontale Bewegungsrichtung verbaut werden müssen.

Schlussendlich wurde sich für eine ähnliche Methode entschieden. Dabei ist der Motor fest neben dem Laufband verbaut und über eine Welle mit zwei Querstreben verbunden (siehe blaue Markierung Abb. 3). Beim Hineinfahren der Flasche stehen diese horizontal, damit diese nicht die Flasche behindern. Auf der gegenüberliegenden Seite des Rotationsmechanismus sind lose Rollen auf einer Welle angebracht (siehe rote Markierung Abb. 3). Sie ermöglichen eine komplikationsfreie Rotation. Soll es nun zu einer Rotation kommen, drehen sich die Querstreben, so dass die Flasche ebenfalls in eine Rotationsbewegung um ihre eigene Achse kommt.

#### B. Sensorik

Um die Position der Pfandflasche zu ermitteln, sind insgesamt drei Ultraschallsensoren verbaut. Der erste Ultraschallsensor (Sensor 1) ist direkt am Anfang des Pfandflaschenautomaten mit einem Abstand von 6 cm zum Laufband angebracht. Der Grund dafür liegt in der Messweise des Sensors. Dieser gibt erst ab ca. 5 cm wahrheitsgemäße Werte für die Distanz aus. Zusätzlich ist eine Pappe auf der gegenüberliegenden Seite des Laufbandes angebracht. Wenn keine Flasche im Laufband ist, gibt so der Sensor konstante Werte aus, da an der planen Fläche die Ultraschallwellen reflektiert werden. Zuvor

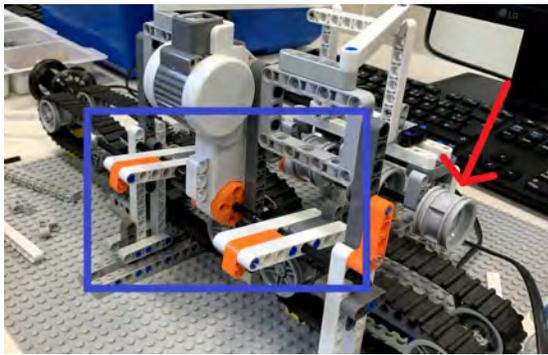


Abbildung 3. Finaler Roationsmechanismus

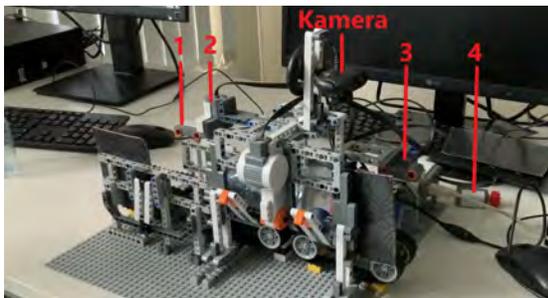


Abbildung 4. Bild von Taster, Ultraschallsensoren und Kamera

war ausschließlich eine Lego-Konstruktion verbaut, die die Reflexion nur teilweise ermöglichte. Die Funktion des Sensors ist, zu prüfen, ob eine Pfandflasche in den Leergutautomaten gelegt wurde. Der zweite Ultraschallsensor (Sensor 2) ist mittig oberhalb des Laufbandes platziert. Seine Aufgabe ist es, zu erkennen, ob die Flasche das Kameramodul erreicht hat. Wenn die Getränkeverpackung richtig liegt, gibt der Sensor die Distanz vom Laufband bis zum Ultraschallsensor zurück. Davor kann nur der Abstand vom Sensor bis zur Flasche gemessen werden.

Der letzte Ultraschallsensor (Sensor 3) befindet sich am Ende des Laufbandes. Dieser dient als Absicherung für den zweiten Sensor, damit die Flasche genau unter dem Kameramodul liegt. Hier ist wie beim ersten Ultraschallsensor eine Pappe verbaut und der Abstand beträgt ebenfalls 6 cm vom Laufband bis zum Sensor. Als letztes ist ein Tastsensor (Sensor 4) am Leergutautomaten verbaut. Dieser symbolisiert den Knopf zum Ausdrucken des Pfandbons und beendet das Programm. Für die Barcode-Erkennung wurde eine Webcam oberhalb des Laufbandes angebracht. Die Kamera ist über ein USB-Kabel an den Computer angeschlossen auf dem ebenfalls das Programm läuft. Darüber hinaus besitzt die Webcam sechs LEDs um, die Flasche auszuleuchten. Der Fokus lässt sich manuell an der Linse der Kamera einstellen.

### C. Programm

Der NXT Baustein wurde über ein USB-Kabel mit MATLAB 2019a programmiert. Das MATLAB-Script nutzt mehrere Funktionen für die Ansteuerung der Motoren und das Auslesen der Ultraschallsensoren. Zusätzlich wird mithilfe der Zebra Crossing Library das Kamerabild ausgewertet und

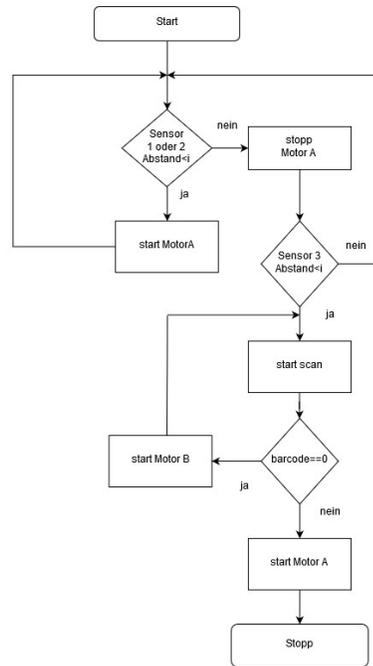


Abbildung 5. Programmablaufplan

nach EAN-8/EAN-13 Barcodes gesucht. In Abbildung 5 ist ein vereinfachtes Schema des Programms zu sehen. Das erste Ziel des Programms ist es, die Pfandflasche bis zur Kamera zu transportieren. Dafür werden nacheinander die Ultraschallsensoren ausgelesen, um zu ermitteln, wo sich die Flasche befindet. Solange Sensor 1 oder 2 eine Flasche erkennt, bewegt sich das Laufband durch den Motor A. Wenn die Sensoren nicht die Bedingung erfüllen, wird das Laufband angehalten und der Sensor 3 ausgelesen. In diesem Fall befindet sich erst gar keine Flasche im Laufband oder wurde bereits zum Kameramodul transportiert. Wird die Bedingung vom Sensor 3 nicht erfüllt, beginnt das Programm von vorne.

Sollte sich eine Flasche unter der Webcam befinden, ist die Bedingung vom Sensor 3 erfüllt. Nun wird ein Bild von der Flasche aufgenommen und mit Hilfe der Zebra Crossing Library decodiert und auf Barcodes analysiert. Wird kein Strichcode erkannt, geht der Leergutautomat davon aus, dass die Flasche nicht richtig unter der Kamera liegt und steuert Motor B an, um die Getränkeverpackung zu rotieren. Anschließend wiederholt sich der Vorgang insgesamt sechsmal bis andernfalls die Flasche wieder ausgefahren wird. Durch Testen hat sich gezeigt, dass der Automat nach der sechsten Umdrehung die Möglichkeit hatte, das Etikett von der gesamten Flasche auszuwerten. Sollte ein Barcode erkannt werden, gibt die Funktion getbarcode.m den Strichcode aus (siehe rote Markierung Abb. 6). Dieser wird anschließend dem Benutzer ausgegeben und mit bereits bekannten Flaschen abgeglichen. Kommt es zu einer Übereinstimmung mit einer eingespeicherten Flasche, wird auch der Name ausgegeben. Anschließend wird Motor A über eine Funktion angesteuert, so dass die Flasche abtransportiert wird. Das Programm wird beendet, wenn der Benutzer den Sensor 4 betätigt. Andernfalls fängt das Programm wieder von vorne an.

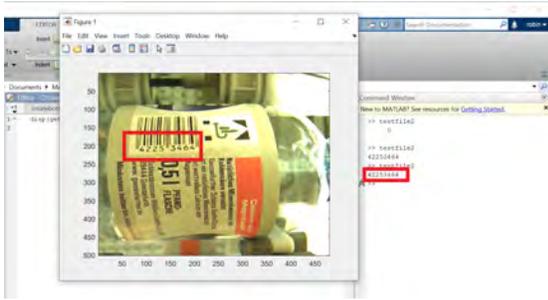


Abbildung 6. Barcodeerkennung

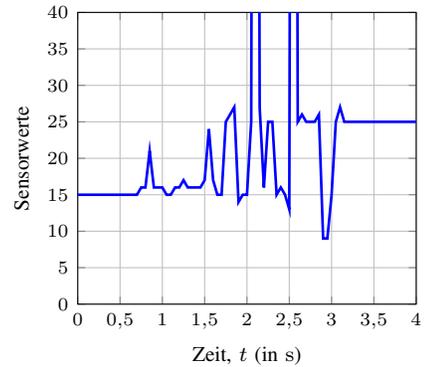


Abbildung 8. Zeitlicher Verlauf des Ultraschallsensor 3 beim Herreinfahren der Flasche in den Leergutautomaten

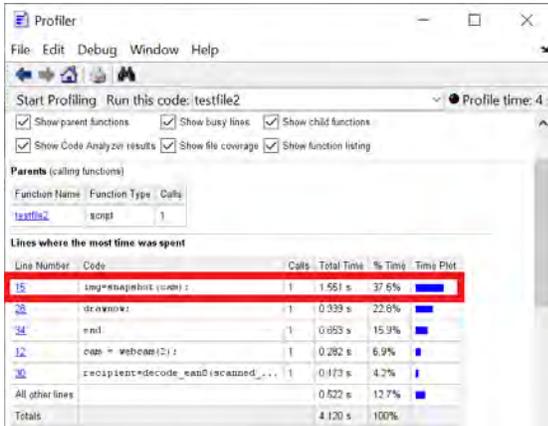


Abbildung 7. Codeanalyse mit Profiler

#### IV. ERGEBNISDISKUSSION

Der Pfandflaschenautomat war am Ende des Seminars in der Lage, den Barcode einer Pfandflasche zu decodieren, die Getränkeverpackung zu transportieren und zu rotieren. Dabei gibt es jedoch die Einschränkung, dass der Benutzer die Flasche mit dem Verschluss als erstes in der Automaten legen muss. Weiterhin geht der Leergutautomat bei der Erkennung eines Barcodes davon aus, dass es sich zweifelsfrei um eine Pfandflasche handeln muss. Das Pfandsymbol wird nicht erkannt, sondern nur der Barcode. Bei der Konstruktion des Automaten traten Schwierigkeiten bei der Realisierung des Rotationsmechanismus auf. Die wohl größte Hürde war das Erkennen des Barcodes. Dies wurde durch eine zusätzliche Bibliothek ermöglicht. Ein weiteres Problem war die hohe Laufzeit der Barcodeerkennung. Dieses lag vorrangig im Fotografieren der Getränkeverpackung (siehe rote Markierung Abb. 7). Dieses Problem wurde gelöst, indem das Kamerabild die ganze Zeit ausgelesen wurde und nicht erst wenn ein Foto geschossen werden soll.

Hinzu kamen Messungenauigkeiten durch die Ultraschallsensoren (siehe Abb. 8). Ein weiterer Faktor war die zylindrische Form der Pfandflasche. Dadurch wurden die Ultraschallwellen nicht optimal zurückgestrahlt und die Werte verfälscht. So kam es zu Werten die weit über den möglichen Wertebereich gingen. Dies ist im Diagramm bei 2 und 2,5 s zu sehen. Infolgedessen stoppt die Flasche selten nicht genau unter der Kamera und macht in diesem Fall eine Barcodeerkennung nicht immer möglich.

Das letzte Problem, welches nur provisorisch gelöst werden konnte, ist die Verfälschung des Kamerabildes durch Lichteinstrahlung. Das Etikett reflektiert Lichteinstrahlung so, dass die Barcodeerkennung nicht erfolgreich funktioniert. Um dies zu verhindern, musste der Raum abgedunkelt oder eine Pappe oberhalb der Kamera angebracht werden.

#### V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Das Ziel, eine vereinfachte Form des Pfandflaschenautomaten zu bauen, welcher Pfandflaschen transportiert, rotiert und diese durch einen Barcode erkennt, wurde erreicht. Ein Großteil der aufgetretenen Probleme konnte erfolgreich gelöst werden. Die übrig gebliebenen Probleme, wie das Weiterfahren der Flasche, könnten durch genauere Ultraschallsensoren oder eine zusätzliche Auswertung des Kamerabildes bzgl. der Konturen der Flasche gelöst werden. Eine mögliche Verbesserung des Systems wären zwei weitere Kameras, die ebenfalls das Etikett scannen. Damit wäre eine höhere Erfassungsquote von Barcodes und eine schnellere Laufzeit des Automaten möglich. Ein Einsatz in einem Supermarkt wäre nicht sinnvoll, jedoch erfüllt der Pfandflaschenautomat seine Zielsetzung in diesem Rahmen.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] MATHWORKS: *MATLAB*. <https://de.mathworks.com/products/matlab.html>. – [Abgerufen am 6. März 2020]
- [2] MATHWORKS: *RWTH Aachen - Minestorms NXT Toolbox*. <https://de.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/18646-rwth-mindstorms-nxt-toolbox>. – [Abgerufen am 6. März 2020]
- [3] GOOGLE: *ZXing (Zebra Crossing) barcode scanning library for Java, Android*. <https://github.com/zxing/zxing/>. – [Abgerufen am 6. März 2020]
- [4] GRUBER, Gerald: *EAN/UPC*. <https://www.gs1.at/strichcodes-rfid/strichcodes/eanupc.html>. – [Abgerufen am 19. März 2020]
- [5] SAKURAMBO: *Barcode*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Strichcode>. – [Abgerufen am 19. März 2020]