

Die LEGO-Sortiermaschine mit Klappen

Finn Sackewitz, Elektro- und Informationstechnik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zusammenfassung—Im Rahmen des LEGO-Praktikums wurde eine Sortiermaschine für LEGO-Steine entwickelt. Dazu wurde ein LEGO-Gestell mit 2 Motoren gebaut. Diese Motoren können insgesamt 4 Türen steuern, wodurch eine Sortierung der LEGO-Steine nach Farben möglich wurde. Die Farberkennung wird durch eine Webcam ermöglicht. Wird nun ein LEGO-Stein in die Sortiermaschine gelegt, so wird die Farbe erkannt und die falschen Bahnen werden blockiert. Der LEGO-Stein rutscht nun auf einer bestimmten Bahn in den dafür vorgesehenen Auffangbehälter. Dieses Funktionsprinzip hat viele Anwendungs- und Erweiterungsmöglichkeiten. Mit diesem prinzipiellen Aufbau lassen sich vielerlei Dinge sortieren und somit in Automatisierungsprozesse eingliedern.

Schlagerwörter—Automatisierung, Farberkennung, LEGO-Mindstorms, sortieren, Webcam

I. EINLEITUNG

JEDER der schon einmal mit LEGO-Steinen gebaut hat, kennt es: Es herrscht großes Durcheinander. Oft landen alle LEGO-Steine einfach gesammelt in einer großen Kiste. Möchte man nun etwas Neues bauen, ist man meist eine sehr lange Zeit damit beschäftigt, die passenden LEGO-Steine zu suchen. Für den Menschen ist es sicherlich sehr einfach diese zu sortieren. Doch wer hat dazu die Motivation? Diese Problemstellung lässt sich auch aus den Grenzen der LEGO-Welt herausragen. Egal wo der Mensch ist, gibt es Unordnung. Dieser Problemstellung soll sich die LEGO-Sortiermaschine stellen.

II. VORBETRACHTUNGEN

Solche Technologien wie die LEGO-Sortiermaschine existieren bereits und werden auch sehr häufig in der Industrie angewandt. Fast jeder automatisierte Prozess benötigt einen Sortiermechanismus.

A. Beispiele

Ein erstes Beispiel dafür wäre die industrielle Mülltrennung. Gerade im Zuge des Klimawandels ist eine fachgerechte Mülltrennung sehr wichtig. Dieser Herausforderung stellte sich eine Gruppe aus Studenten im Auftrag von Remondis. Hierbei wurde eine automatische Mülltrennung mit künstlicher Intelligenz entwickelt. Im Inneren arbeitet dabei eine Kamera, die den Müll optisch erfasst. Daraufhin wird das Bild durch einen Algorithmus auf Basis künstlicher Intelligenz ausgewertet, wodurch der Müll in den richtigen Behälter sortiert werden kann [1]. Ein weiteres Beispiel ist hier eine Sortiermaschine für Bälle [2]. Hierbei handelt es sich um eine einfache Sortiermaschine für farbige Bälle. Die Erkennung der Farbe wird hier ebenfalls über eine Kamera sichergestellt. Durch

ein Pappgestell und ein Gefälle wird schließlich der Weg der Bälle festgelegt und durch Türen kann der richtige Weg ausgewählt werden. Dieses kleine Projekt des LinkedIn Users stellt die grundlegende Inspiration für dieses Projekt der LEGO-Sortiermaschine dar.

B. Funktionsprinzip der LEGO-Sortiermaschine

Im Grunde handelt es sich bei der LEGO-Sortiermaschine um einen Mechanismus, welcher durch Öffnen und Schließen von Türen LEGO-Steine in eine bestimmte Richtung lenkt. Diese Richtung wird mittels einer Webcam durch Erkennung einer Farbe bestimmt. Wird nun z. B. die Farbe Rot erkannt, so werden z. B. die Türen eins und drei betätigt. Diese Türen werden durch LEGO-NXT-Motoren gesteuert und sind mittels mechanischer Mittel verbunden. Die LEGO-Steine werden durch die Schwerkraft zum Rutschen gebracht.

III. ENTWICKLUNGSPROZESS

Im Hauptteil werden der Aufbau, die Entwicklung und die Problemlösung des Projekts beleuchtet. Das Ziel dieses Abschnittes ist es, die Funktionsweise und die Entwicklung der LEGO-Sortiermaschine chronologisch darzustellen und zu erklären.

A. Aufbau

Die LEGO-Sortiermaschine besteht im Wesentlichen aus einem LEGO-Rahmen und einer darüber liegenden Konstruktion aus Pappe und Papier. Die LEGO Konstruktion dient als Träger und zur Steuerung der Türen. Die Türen sind in drei Ebenen unterteilt. Auf der ersten Ebene befindet sich eine Tür. Die erste Tür dient dazu, den LEGO-Stein festzuhalten, während die Farbe erkannt wird. Die zweite Tür, die sich ebenfalls in der zweiten Ebene befindet, dient der ersten Sortierunterscheidung. In der dritten Ebene befinden sich zwei Tore. Diese sorgen schließlich für die insgesamt 4 Sortiermöglichkeiten. Des Weiteren sind in dieser LEGO-Konstruktion zwei Motoren und zwei Tastsensoren verbaut. Die Motoren dienen zur Betätigung der insgesamt vier Türen und die Tastsensoren zur Steuerung des Programms. Die Motoren sind hier mechanisch mit den Türen verbunden. Um das „Rutschen“ der LEGO-Steine in der Sortiermaschine zu gewährleisten, muss ein Gefälle in die Konstruktion eingebaut werden. Auf die LEGO-Konstruktion wird außerdem die Webcam angebracht, um die Farbe der LEGO-Steine zu erkennen. Am Ende der LEGO-Sortiermaschine werden kleine Papierbehälter aufgestellt, um die LEGO-Steine aufzufangen.



Abbildung 1. LEGO-Konstruktion der Sortiermaschine

B. Konstruktions-Entwicklung

1) *LEGO-Gestell:* Die Entwicklung der LEGO-Sortiermaschine begann mit dem Bau der Konstruktion. Dabei musste vor allem auf Stabilität und Funktionalität geachtet werden. Der Bau begann am ersten Motor und setzte sich am zweiten Motor fort. In der Zwischenzeit wurde durch regelmäßige Tests sichergestellt, dass auf diese Konstruktion auch eine Pappauflage passt und dass diese auch fest in ihrer Position bleibt. So konnte auch sichergestellt werden, dass die Steigung groß genug war. Es musste außerdem genau auf die richtige Größe geachtet werden, damit die Mechaniken und Geräte genug Platz haben, um sich zu bewegen. Die Oberfläche muss eine bestimmte Größe haben, damit die LEGO-Steine darauf gleiten können.

2) *Mechanik:* Im zweiten Schritt wurde die Mechanik der LEGO-Sortiermaschine konstruiert. Diese basiert im Großen und Ganzen auf einer Übertragung des Drehmoments der Motoren mittels Achsen und Zahnrädern. Die Motoren sind zentral angeordnet, um einen möglichst großen Einsatzbereich zu gewährleisten. Dies ist gut in der Abbildung 1 nachvollziehbar. Der in der Abbildung 1 linke Motor steuert dabei die erste und dritte Ebene der Türen und der rechte Motor die zweite Ebene. Da der linke Motor insgesamt drei Türen steuert, konnte auf einen dritten oder vierten Motor verzichtet werden. Hier musste vor allem darauf geachtet werden, dass jedes Zahnrad genau in das andere übergreift. Es darf hier keine (oder nur sehr geringe) Fehler geben, da die Rückdrehung der Türen sonst nicht wieder in ihren Ausgangszustand geht. In diesem Fall wären mehrfache Durchläufe nicht möglich.

3) *Farberkennung:* Die Entwicklung der Farberkennung begann mit Versuchen, den LEGO-Farbsensor zu verwenden. Dies erwies sich schnell als kompliziert, da der Farbsensor Farben nur aus sehr kurzer Entfernung erkennen kann. Aus diesem Grund wurde eine Webcam verwendet. Diese gewährleistet eine größere Erkennungsentfernung und weitreichende Anpassungsmöglichkeiten. Die Webcam wurde am rechten oberen Ende der LEGO Konstruktion angebracht und auf die erste Tür ausgerichtet. Die LEGO Steine werden dann genau vor der Tür platziert, wo ihre Farbe von der Webcam erkannt werden kann.

4) *Pappauflage:* Als letztes wurde die entgeltige Pappauflage entwickelt. Im Verlaufe der Entwicklung wurde immer eine Testpappauflage verwendet, um die Funktionsweise der jeweiligen Zwischenschritte sicherzustellen. Bei der Pappauf-

lage wurde darauf geachtet, dass kein LEGO-Stein an den Rändern hängen bleibt und dass sie exakt auf das Gestell passt. Außerdem mussten Löcher für die Türen und Stützen hineingeschnitten werden. Der schematische Aufbau dieser Auflage ist in Abbildung 2 zu sehen.

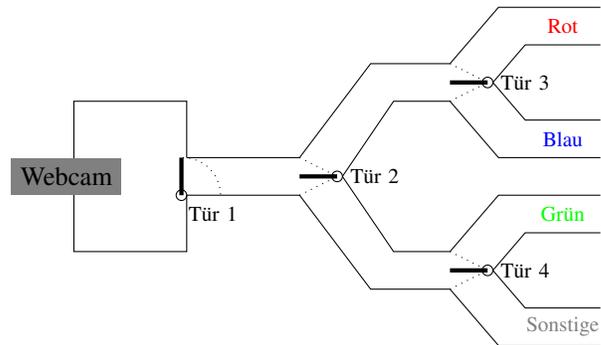


Abbildung 2. Schematischer Aufbau der Sortiermaschine

C. Programmierungs - Entwicklung

Nach dem Bau der Konstruktion ging es darum, die Funktionsweise der Sortiermaschine zu implementieren bzw. zu entwickeln. Der allgemeine Programmablauf ist in Abbildung 3 dargestellt und wird im Folgenden kurz erläutert. Die Ansteuerung der einzelnen NXT-Komponenten wurde durch eine Toolbox der RWTH Aachen ermöglicht [3].

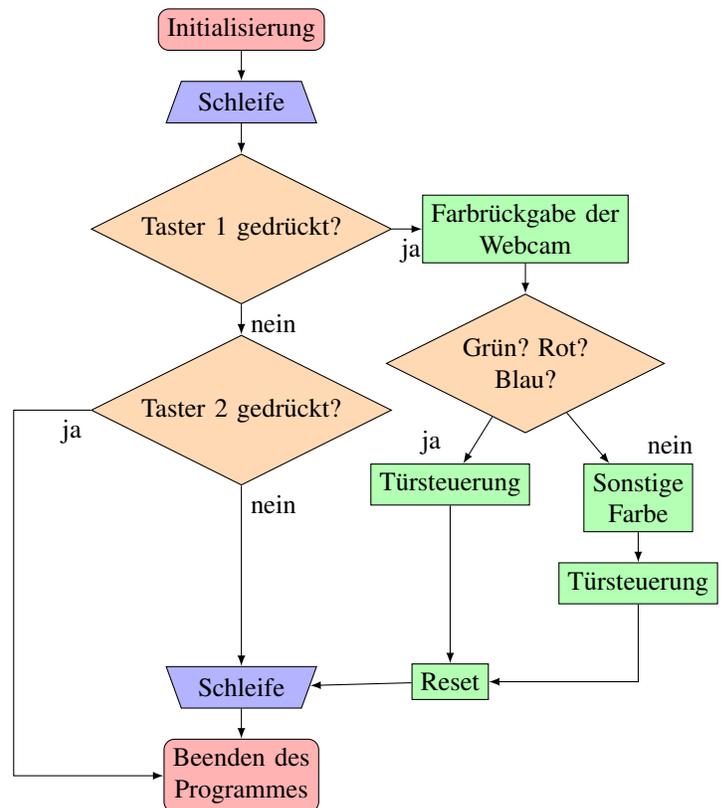


Abbildung 3. Allgemeiner Programmablaufplan der LEGO-Sortiermaschine

Mit der Initialisierung des Programms wird eine Schleife gestartet. Die Schleife läuft zunächst endlos weiter. Erst wenn

einer der beiden Taster betätigt wird, wird eine Aktion ausgelöst. Durch Betätigen des zweiten Taster wird das Programm lediglich beendet. Betätigt man den ersten Taster, wird ein LEGO-Stein sortiert. Als erstes wird die Farbe durch die Webcam erkannt. Abhängig von dieser Erkennung werden die nächsten Schritte ausgeführt. Wird Grün, Blau oder Rot erkannt, so wird eine bestimmte Kombination von Türen geöffnet. Diese ist nicht für jede Farbe gleich, wie es der Programmablaufplan vermuten lässt. Dies wurde hier aus Platzgründen vereinfacht dargestellt. In dem Fall, dass keine der abgefragten Farben erkannt wird, wird der LEGO-Stein in eine für sonstige Farben vorgesehene Kiste sortiert. Nachdem einer dieser vier Fälle eintrat, werden alle Türen wieder auf ihre Ausgangsposition gesetzt. Die Schleife wartet nun auf eine Eingabe über einen der beiden Taster.

Das Programm wurde nicht als Ganzes geschrieben. Es wurden verschiedene Unterprogramme geschrieben, die die jeweiligen Teilprobleme lösen. Diese wurden dann am Ende in einem Hauptprogramm zusammengeführt. Im Folgenden werden die einzelnen Teilprogramme erläutert.

1) *Türensteuerung*: Die Türen werden durch eine Drehung des Motors bewegt. Diese Drehung wird durch die *Power* des Motors bestimmt. Umso höher die *Power* ist, desto schneller dreht sich der Motor. Weist man dem Motor eine negative *Power* zu, so dreht dieser sich in die entgegengesetzte Richtung. Nun soll sich der Motor aber nicht einfach nur drehen, sondern bei einem bestimmten Punkt stoppen. Das wird durch das *TachoLimit* des Motors gesteuert. Dazu wird das *TachoLimit* auf die gewünschte Gradzahl gesetzt und der Motor dreht sich bis zu diesem Punkt.

2) *Webcamsteuerung*: Die Webcam lässt sich relativ einfach in Matlab einbinden. Durch den Befehl *getsnaphot()* wird das Bild der Webcam eingelesen. Das Bild wird als Matrix gespeichert. In dieser Matrix befinden sich dann die jeweiligen RGB-Werte des dazugehörigen Pixels. So lässt sich durch Auswählen eines bestimmten Bereiches die Farbe eines LEGO-Steins bestimmen. Um eine möglichst fehlerfreie Messung durchzuführen, wurde der Mittelwert über den eingelesenen Bereich gebildet.

D. Probleme

Während des Entwicklungsprozesses traten vielfältige Probleme auf. Diese mussten gelöst werden. Das wohl größte Problem der LEGO-Sortiermaschine war wohl die mechanische Stabilität. Es musste akribisch darauf geachtet werden, dass z. B. alle Zahnräder ineinander greifen. Da die LEGO-Stäbe nur eine begrenzte Festigkeit haben, war dies nicht immer so einfach. Dies ließ sich durch eine geschickte Konstruktion bewältigen. Ein weiteres Problem stellte die Farberkennung der Webcam dar. Die Webcam erkennt, je nach Belichtung, immer einen anderen RGB-Wert, obwohl das selbe Objekt vor der Webcam liegt. Dadurch konnte es passieren, dass z. B. ein roter LEGO-Stein nicht als solcher erkannt wurde und in die Kategorie „Sonstige“ einsortiert wurde. Wichtig ist, dass das eingelesene Feld der Webcam immer genau den LEGO-Stein trifft. Dies musste leider immer manuell sichergestellt werden. Auch die Belichtung sollte immer durch eine externe

Lichtquelle sichergestellt werden. Dies geschah z. B. mit einer Schreibtischlampe. Ein weiteres Problem war die Kontrolle der LEGO-Steine. Damit ist gemeint, dass ein LEGO-Stein nicht durch eine geschlossene Tür oder über eine Bande rutscht. Dieses Problem kann nicht vollständig vermieden werden. Es wird jedoch durch eine gut angepasste Pappauflage stark minimiert.

Weitere Probleme stellen die Erkennung von anderen Farben (Farben, die nicht rot, grün oder blau heißen), große LEGO-Steine und eine automatisierte Sortierung dar.

E. Ausbaumöglichkeiten

Die LEGO-Sortiermaschine bietet große Ausbaumöglichkeiten. Zum einen lassen sich die zu erkennenden Farben erweitern auf z. B. 8 oder sogar 16. Dafür müsste man eine bis zwei weitere Ebenen von Türen einbauen. Dies ließe sich auch mit LEGO-NXT lösen, da bei dem gegenwärtigen Projekt bisher nur zwei Motoren verwendet wurden. Ein Motor der bisher verwendeten Motoren könnte schließlich noch eine weitere Ebene von Türen steuern. So könnten mit dem dritten Motor noch zwei zusätzliche Ebenen gesteuert werden.

Noch eine weitere Ausbaumöglichkeit stellt eine Automatisierung der Hineingabe von LEGO-Steinen in die Sortiermaschine dar. So könnte diese aus vielen Steinen immer einen LEGO-Stein auswählen und diese in die Sortiermaschine hineingeben. Dazu müsste allerdings die Farberkennung für bewegte Objekte weiter angepasst werden.

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Als Ergebnis ist eine Sortiermaschine für vier Farben entstanden, welche aber noch vielfältige Erweiterungsmöglichkeiten bietet. Der Mechanismus lässt sich über zwei Taster steuern und ist unendlich oft wiederholbar. Um die Sortiermaschine allerdings im alltäglichen Leben einzusetzen bedarf es noch weitere Optimierungen.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Das Ziel des Projektes war es, eine Maschine zu bauen, welche zuverlässig LEGO-Steine nach Farben sortieren kann. Dieses Ziel wurde erreicht. Dennoch gibt es noch weitreichende Optimierungs- und Erweiterungsmöglichkeiten für diese Sortiermaschine. Dafür sind Punkte wie Automatisierung und Erweiterung der Farberkennungsmöglichkeiten zu nennen. Aufgrund der begrenzten Zeit und Ressourcen ist dies dennoch ein gutes Ergebnis was am Ende des Projektseminars 2023 entstanden ist. Man muss hierbei auch bedenken, dass die LEGO-Sortiermaschine in Einzelarbeit entstanden ist, im Gegensatz zu anderen Projekten, die in Gruppenarbeit entstanden sind.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Remondis: automatische Mülltrennung durch künstliche Intelligenz
<https://kreativgesellschaft.org/cross-innovation-hub/cases/remondis-automatische-mulltrennung-ki/>
- [2] LinkedIn: Beitrag von Jeff He
https://www.linkedin.com/posts/jeff-he-00ba13200_diyprojects-hardware-activity-6888684109066043392-7HXC/
- [3] Mathworks: RWTH Aachen–Mindstorms NXT Toolbox
<https://de.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/18646-rwth-mindstorms-nxt-toolbox>