

Automatisierung einer Kaffeemaschine

Tim Holzki, Elektromobilität
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zusammenfassung—Im Rahmen des LEGO-Mindstorms-Praktikums 2022 wurde den Studierenden die Möglichkeit gegeben, unter Verwendung von zur Verfügung gestellten LEGO-Mindstorms Bausätzen eigene Problemstellungen zu finden und mittels dieser solche zu lösen. Hierbei wurden grundlegende Fähigkeiten der effizienten Projektbearbeitung, Programmierung und praktischen Konstruktion vermittelt und aufgebaut. Als Programmierumgebung wurde MATLAB verwendet, welche über eine Toolbox mit der Hauptrecheneinheit, dem NXT-Stein, kommuniziert und die Ansteuerung von Sensorik und Motorik erlaubt. In dem hier behandelten Projekt wurde sich dazu entschlossen die Funktion einer Kaffeemaschine insoweit zu automatisieren, als dass mittels des Baukastens die benötigten Ressourcen – Wasser und Kaffeebohnen – auf ausreichende Verfügbarkeit überprüft werden und der Brühvorgang automatisiert gestartet wird. Im Verlauf, des über zwei Wochen laufenden Projektes, wurden zudem von jedem Team eigene Social-Media Präsenzen gepflegt, um über die reine Entwicklungsarbeit hinaus auch die Öffentlichkeitskommunikation der eigenen Arbeit zeitgemäß zu leisten.

Schlagwörter—Elektrotechnik, Klemmbausteine, Konstruktion, Maschinenbau, Programmierung, Projektarbeit

I. EINLEITUNG

DAS Automatisieren von Haushaltsgeräten, wie Spül- und Waschmaschinen, Mikrowellen u. ä. über das IoT ist innerhalb des letzten Jahrzehnts immer mehr zu einem fast schon erwartbaren Standardfeature an eben solchen Geräten im höheren Preissegment geworden. Es versteht sich jedoch für die meisten Studierenden, dass diese Geräte als finanzielle Fehlentscheidungen zu werten sind und somit andere günstigere technische Lösungen für die örtliche Trennung von Haushaltsgeräten und der eigenen Person gefunden werden müssen. Infolgedessen wurde sich durch die Bereitstellung der bereits erwähnten LEGO-Sets die Aufgabe gestellt die eigene Kaffeemaschine ferngesteuert zu automatisieren. Hierfür war es im ersten Schritt erforderlich, die ansonsten händisch zu bedienenden Elemente, wie das Bedienfeld mittels einer motor-gesteuerten Konstruktion zu manipulieren und ohne weiteres Eingreifen ansteuern zu können. Des Weiteren war es nötig, die Hauptressourcen, welche für einen Brühvorgang notwendig sind, also Kaffeebohnen und Wasser über unterschiedlichen Sensoren zu überwachen um eine Beschädigung der Maschine oder einen Abbruch des Brühens zu vermeiden.

II. VORBETRACHTUNGEN

Das Problem der Füllstandsüberwachung von festen und flüssigem Material ist in vielen Bereichen der Industrie gegeben. Hieraus folgen etablierte gut nachbildbare Lösungen für die Sensorik der Überwachung von Wasser und Bohnen. Die Ansteuerung von eigentlich für den Menschen bestimmten

Bedienflächen mittels Roboter kann in der Qualitätskontrolle zur Überprüfung der Qualität von Schaltflächen o. Ä. gefunden und teilweise übernommen werden. Das Zusammenspiel dieser Komponenten wird über die gestellte MATLAB Umgebung realisiert.

A. Bedienfeld

Die Qualitätsüberprüfung von Schaltern oder anderen Schnittstellen, die vom Menschen bedient werden wird in der Industrie meist mittels, eigens für diesen Zweck gebauter, Teststände überprüft, so auch in [1]. Hier werden Schalter aus dem Cockpit eines Kfz in relativer kurzer Zeit auf die Anzahl ihrer maximalen Schaltvorgänge überprüft, daher ist es auch hier erforderlich Maschinen zu entwerfen, die eine eigentlich nur für den Menschen konzipierte Schnittstelle zuverlässig bedienen können. In diesem Projekt soll das Bedienfeld ebenfalls als eine rein für den Menschen entworfene Schnittstelle von einer Maschine bedient werden.

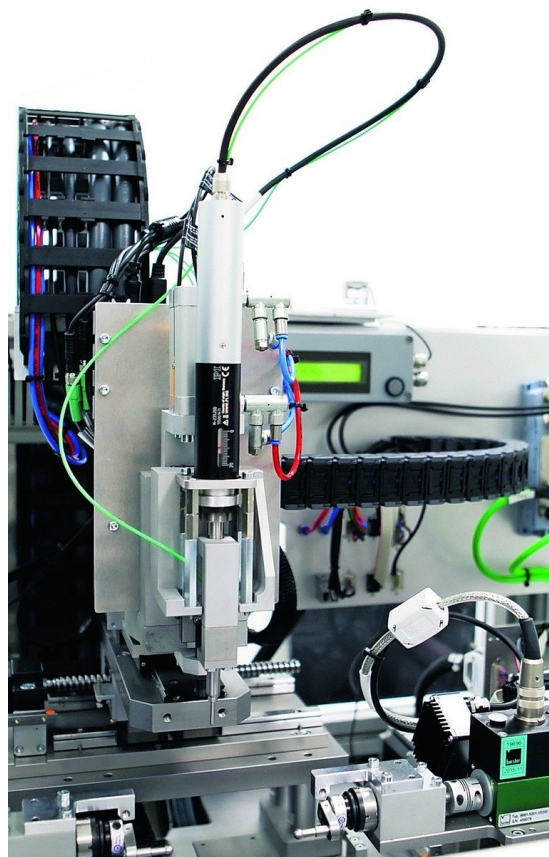


Abbildung 1. Teststand für Belastungstests von Kfz-Schaltern; Bild entnommen aus [1]

B. Wasservorrat

Die Messung eines Füllstandes wird in der Industrie oft mittels Ultraschallsensoren durchgeführt, so auch in [2]. Hier werden zudem die Vorteile bei der Füllstandsmessung von Flüssigkeiten mittels Ultraschall aufgezeigt. So muss der Sensor nicht in Kontakt mit der zu messenden Substanz kommen und unterliegt keiner Beeinflussung durch die Eigenschaften des zu messenden Stoffes, wie bei einer gewichtsbasierten Messung durch Temperaturunterschiede hervorgerufene Dichteänderungen, der Fall wäre. Der mitgelieferte Ultraschallsensor in dem NXT-Set ist also prädestiniert, hier zum Einsatz zu kommen.

C. Bohnenvorrat

Das Erkennen von einzelnen Elementen inmitten großer Mengen ist im großtechnischen Format meist Aufgabe von Sortiermaschinen, als Beispiel soll hierfür [3] dienen. Diese Geräte erfassen in einer Unzahl von Körnern, Früchten o. Ä. Werte wie Feuchtigkeitsgehalt, Geometrie, Mängel und verschiedenste stoffliche Eigenschaften des Sortierguts über Laser und Kameras. Wenn auch die im bereitgestellten Baukasten vorhandenen RGB-Sensoren weitaus nicht so detaillierte Analysen zulassen, so arbeiten sie doch nach dem selben grundsätzlichen Prinzip. Aus rein optisch aufgenommenen Messdaten, welche nicht intrusiv ermittelt wurden, sind Schlüsse auf das zu beobachtende Objekt zu ziehen. Hiermit kann also in seiner einfachsten Abwandlung auch schlicht das Vorhandensein eines Objektes, hier den Kaffeebohnen, festgestellt werden.



Abbildung 2. Sortiermaschine ausgestattet mit Laser und Kameras; Bild entnommen aus [3]

D. Softwaretechnische Umsetzung

Die einzelnen, bereits betrachteten Komponenten müssen, um ein funktionierendes Gesamtsystem zu ergeben, über eine Schnittstelle miteinander verbunden werden. Hierfür wird in MATLAB die RWTH-Toolbox [4] benutzt, die die Kommunikation über USB-Kabel oder Bluetooth zwischen NXT-Stein und Computer erlaubt. Zwar existiert von LEGO eine mitgelieferte, benutzerfreundlichere Programmierumgebung, jedoch erlaubt diese nicht, die sehr viel detaillierte Steuerung und Auswertung der NXT-Schnittstellen, wie die hier benutzte. Über MATLAB wird ebenfalls die graphische Benutzeroberfläche (GUI) erstellt, die die direkte Ansteuerung und Auswertung der Sensoren und Motoren zugänglicher macht.

III. HARDWARE-ENTWICKLUNG

Der grundlegende Programmablauf, gezeigt in Abbildung 3, legt das Vorgehen für die geschriebene Software fest. Nachdem das Programm gestartet wurde, gibt den Nutzenden die gewünschte Anzahl an Tassen und Stärke seines Kaffees an. Wird nun der Start des Brühvorganges initialisiert, werden die Sensoren für Bohnen und Wasser ausgelesen. Sollte hier ein Mangel festgestellt werden, gibt das GUI dies an den Bedienenden zurück und wird in den Ausgangszustand versetzt. Der Brühvorgang, also die Ansteuerung der Motoren findet erst statt wenn sowohl genug Wasser, als auch Bohnen vorhanden sind. Je nachdem wie viele Tassen und welche Stärke am Anfang ausgewählt wurden, wird daraufhin eine Sequenz von Motorenbefehlen für eben diese bestimmte Kombination an die Bedienfeldsteuerung weitergeleitet und somit die Maschine gestartet.

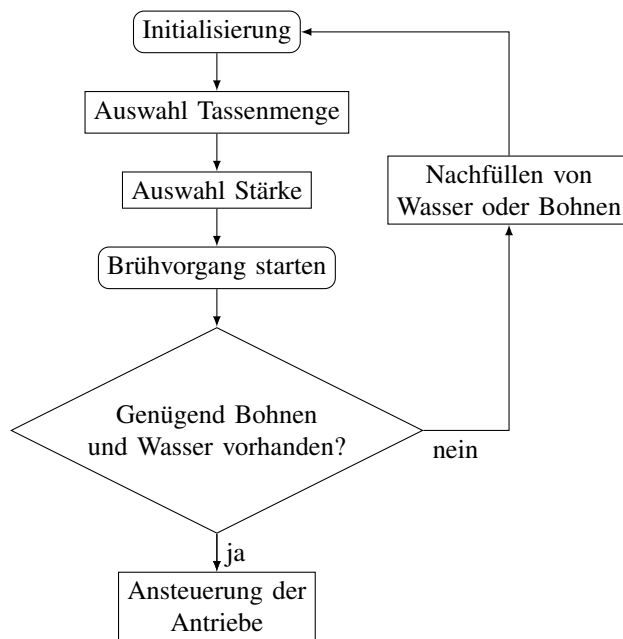


Abbildung 3. Grundlegender Programmablaufplan zur Kaffeemaschinenautomatisierung

A. Sensoraufbau Bohnenvorrat

Um die Bohnen wie in Abbildung 5 zu erkennen, wurde sich nicht auf eine direkte Messung des RGB-Farbwertes der Bohnen verlassen. Das Problem in dieser Herangehensweise liegt darin, dass verschiedene Sorten von Kaffeebohnen unterschiedliche Farbtöne besitzen und diese bei schlechter Ausleuchtung nicht mehr mit dem Sensor erkannt werden können. Hieraus folgte der Ansatz einer Helligkeitsbestimmung im Bohnenvorrat. Die generell dunkle Farbe der Bohnen kann hierbei durch ein untergelegtes weißes Blatt weiter kontrastiert werden (siehe Abbildung 5), um eine sicherere Messung zu garantieren. In MATLAB kann nun ein ausgewählter Helligkeits-Grenzwert bestimmt werden, ab dem bestätigt wird, dass ausreichend Bohnen verfügbar sind.



Abbildung 4. Bohnenvorrat mit angebautem RGB-Sensor

B. Sensoraufbau Wasservorrat

Der Ultraschallsensor wurde über dem Wasserbehälter angebracht und misst die zeitliche Verzögerung mit der ein ausgesendetes Ultraschallsignal wieder bei ihm empfangen werden kann. Hieraus lässt sich nun die Entfernung zur messenden Oberfläche, also dem Wasser errechnen. Nachdem der Sensor auf seine endgültige Position ausgerichtet war, wurde der vom Sensor ausgegebene Entfernungswert für den Füllstand korrespondierend zu der kochbaren Anzahl Tassen notiert und im MATLAB Code für die Auswahlfunktion abgespeichert. Somit wird überprüft, ob der Wasserstand den nötigen Füllstand für eine bestimmte Anzahl Tassen unterschreitet oder nicht, und je nachdem ausgehend von Abbildung 3 fortgefahren.



Abbildung 5. Wasservorrat mit angebautem Ultraschall-Sensor

C. Aufbau Bedienfeldsteuerung

Um das Bedienfeld (siehe Abbildung 7) mit Hilfe der Motoren anzusteuern wurde eine Konstruktion (siehe Abbildung 6) gewählt, die sich zweier drehender Hebel, einer davon in Zahnradform, bedient. Diese werden über eine Untersetzung von den Motoren angetrieben und bewegen dabei abgerundete Fortsätze über das Bedienfeld, was zu einem Eindringen der Taste und somit der Auswahl einer Funktion führt. Die Untersetzung ergab sich zum einen aus den geringen Dimensionen, welche der Aufbau besitzen musste um ein Einschleiben der Kaffeekanne weiter zu ermöglichen, was die direkte Anordnung der Motoren nebeneinander nicht praktikabel machte und sie somit ein ineinander versetzter Bau erforderlich wurde. Zum Anderen stellte sich heraus, dass die Winkelpositionierung der Motoren nicht ausreichend genau war, um die Tasten wiederholt präzise zu treffen und somit die Untersetzung den Fehler auf eine längere rotatorische Strecke verteilte. Das obere Zahnrad wählt hier sowohl die Tassen als auch die Starttaste aus, während der untere Hebel die Stärke des Kaffees bestimmt.

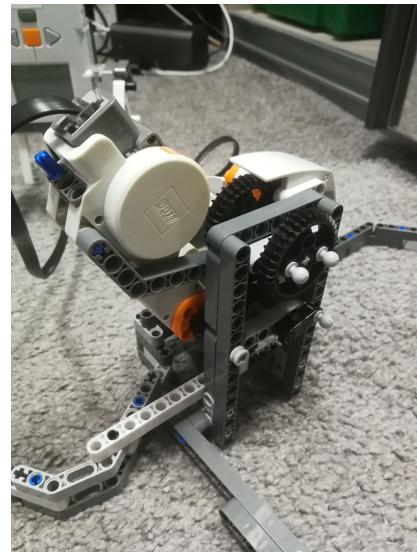


Abbildung 6. Mechanik zur Manipulation des Bedienfeldes



Abbildung 7. Zu manipulierendes Bedienfeld

D. GUI

Das in MATLAB gebaute GUI (siehe Abbildung 8) beinhaltet die Funktionen der Auswahl von Tassenanzahl als auch Stärke, darüber hinaus werden im rechten Teil Rückmeldungen zur Verfügbarkeit von Wasser und Bohnen gegeben.

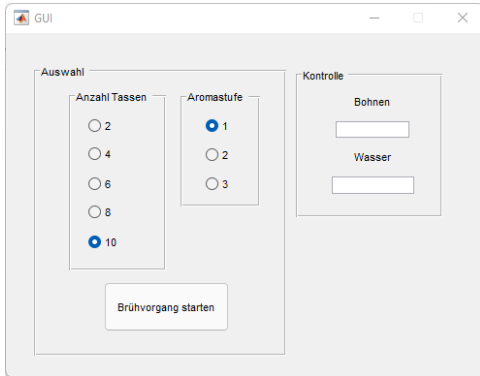


Abbildung 8. GUI mit verschiedenen Auswahl- und Status-elementen

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Die Maschine funktionierte mit Anbauten (siehe Abbildung 9) einwandfrei. Die Sensoren lieferten ausreichend genaue und reproduzierbare Ergebnisse. Ebenso zeigte sich die Motorsteuerung unter Zuhilfenahme der Untersetzung als sehr genau. Probleme können jedoch in der Bequemlichkeit des Nachfüllens gefunden werden. So ist es nicht möglich Wasser mit dem aufgesetzten Ultraschallsensor nachzufüllen, dieser muss hierfür abgenommen werden. Außerdem ist die Beschaffenheit der Oberfläche auf der die Maschine steht zu beachten, da die Befestigungsarme, welche die Bedienfeldsteuerung an das Gehäuse drücken, eine raue Unterlage benötigen, um hierfür ausreichend Kraft aufzubringen.



Abbildung 9. Zusammengebaute automatisierte Kaffeemaschine

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Wenn auch die Umsetzung der Fernsteuerung aufgrund veralteter Bluetooth-Standards nicht umgesetzt werden konnte, so ist die Automatisierung soweit als erfolgreich zu sehen, als dass die Maschine eigenständig ihre Bereitschaft zum Kochen einer gewünschten Menge Kaffee erkennt und den Vorgang vorhersehbar durchführt. Jedoch ist die Gesamtkonstruktion durch die verwendete RWTH-Toolbox auf eine USB-Verbindung mit einem PC angewiesen. Es wäre also zu überlegen die Programmierung in der LEGO internen Umgebung zu wiederholen und somit den NXT-Stein als auch den gesamten Aufbau unabhängig von einem ausführenden Computer nutzen zu können. Weitere Aufgaben für die Zukunft wären darüber hinaus die Befestigung des Ultraschallsensors zu überarbeiten, um ein nachträgliches Einfüllen, ohne Abnehmen des Sensors, zu ermöglichen. Die Sicherung der Bedienfeldsteuerung ist ebenfalls im jetzigen Zustand noch nicht ausgereift genug für eine alltägliche Nutzung. Es wäre auch hier vorstellbar die momentan verwendeten Befestigungsarme durch andere Maßnahmen zu ersetzen, die einen sichereren und einen von den Umgebungsbeschaffenheiten unabhängigeren Halt garantieren würden. Hier würden sich auch Komponenten, welche nicht im LEGO-Katalog enthalten sind, anbieten, wie z. B. Klebepads, Kabelbinder oder auch den Befestigungsarmen ähnliche Konstruktionen aus Metall die weniger Spiel und Flexibilität zulassen würden.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] TATJE, Joachim: *Kfz-Schalter im Härtestest*. <https://quality-engineering-industrie.de/branchen/automobil/kfz-schalter-im-haeretest/#slider-intro-2>. Version: 2017
- [2] ENDRESS+HAUSER: *Ultraschall Füllstandsmessung*. <https://www.de.endress.com/de/messgeraete-fuer-die-prozesstechnik/fuellstandssensor/ultraschall-fuellstandsmessung>
- [3] TOMRA: *Kaffesortiermaschinen von TOMRA*. <https://www.tomra.com/de-de/sorting/food/your-produce/grains-and-seeds/coffee>
- [4] ATORF, L. ; SONDERMANN, B. ; STADTMANN, T. ; ROSSMANN, J.: *RWTH - Mindstorms EV3 Toolbox*. <https://git.rwth-aachen.de/mindstorms/ev3-toolbox-matlab>. Version: 2018