

# Automatischer Flaschenöffner

## Die Zukunft der Küchenautomatisierung!

Yaroslav Ivanov, Elektrotechnik und Informationstechnik  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

**Zusammenfassung**—Im Rahmen des Projektseminars an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wird die Aufgabe gestellt, mithilfe von Standard-LEGO-Bauteilen, dem LEGO Mindstorms EV3-System und der Programmierumgebung MATLAB einen funktionsfähigen Roboter-Prototypen zu entwickeln. Ziel des Seminars ist es, grundlegende Kenntnisse der Konstruktionstechnik und der algorithmischen Programmierung anzuwenden, damit das entwickelte System eigenständig in der Lage ist, nicht-standardisierte Aufgaben oder alltägliche Barrieren zu bewältigen.

Gegenstand dieser Arbeit ist ein automatisierter Flaschenöffner. In diesem Bericht werden die Funktion des Roboters sowie sein mechanischer Aufbau beschrieben. Zudem werden die technischen Probleme beim Bau und die dafür gefundenen Lösungen in der Konstruktion aufgezeigt.

**Schlagwörter**—3D-Druck, Alltagsassistent, Drehmomentverstärkung, Getriebe, LEGO Mindstorms, MATLAB

### I. EINLEITUNG

**D**AS tägliche Öffnen von fest verschlossenen Getränkeflaschen stellt für viele Menschen, insbesondere für Senioren oder Personen mit körperlichen Einschränkungen, eine erhebliche physische Herausforderung dar. Um dieses Problem zu lösen, wurde im Rahmen des Projektseminars ein automatischer Flaschenöffner entwickelt. Die Lösung basiert auf einer stabilen Konstruktion, die die Flasche zunächst im Gehäuse fixiert, um ein Mitdrehen während des Vorgangs zu verhindern. Der eigentliche Öffnungsprozess wird durch einen Drehmechanismus realisiert, der aufgrund einer Getriebeuntersetzung über ein ausreichend hohes Drehmoment verfügt, um den Deckel sicher zu lösen. Vom Nutzer wird lediglich verlangt, die Flasche auf die Plattform zu stellen und den Startknopf zu betätigen.

Das Ziel des Projekts ist die Schaffung einer zuverlässigen Schnittstelle zwischen einfacher Sensorik und effektiver mechanischer Kraftübertragung. Dieses System ersetzt den notwendigen Kraftaufwand beider Hände vollständig und wandelt eine mühsame Alltagsaufgabe in einen einfachen, automatisierten Prozess um, was Zeit und Anstrengung im Haushalt einspart. Im folgenden Bericht werden die konstruktiven Ansätze zur Realisierung dieses Vorhabens sowie die funktionale Umsetzung im Detail dokumentiert.

### II. VORBETRACHTUNGEN

#### A. Ursprüngliches Konzept

In der ersten Planungsphase war vorgesehen, den Roboter für 1-Liter-Flaschen auszulegen. Da der mechanische Aufbau einer Kranmast-Konstruktion ähnelt, hätte dies einen sehr hohen

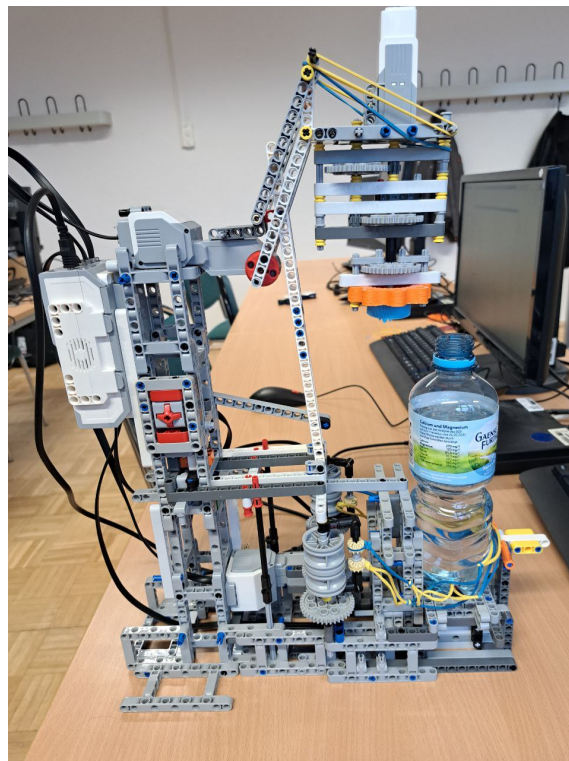


Abbildung 1. Flaschenöffner-Roboter nach der Deckelentfernung

Turm erfordert. Ein solch hoher Aufbau wäre durch das Gewicht des schweren Hebemechanismus instabil geworden und hätte ein massives Übergewicht nach vorne erzeugt. Um dies auszugleichen, wäre eine extrem hohe Anzahl an zusätzlichen Verstrebungen und Bauteilen notwendig gewesen, die jedoch nicht in ausreichender Menge zur Verfügung standen. Daher wurde entschieden, den Fokus auf 0,5-Liter-PET-Flaschen zu legen, um eine kompaktere und stabilere Bauweise zu ermöglichen.

Ein weiterer technischer Aspekt war die Wahl der Sensorik. Ursprünglich sollten Ultraschallsensoren zur Objekterkennung eingesetzt werden. Es wurde jedoch festgestellt, dass diese Sensoren keinen präzisen Punkt, sondern einen zu großen Bereich erfassen. Die Ultraschallwellen würden an der Flasche und an Teilen des eigenen Gehäuses gestreut werden, was zu Fehlmessungen führt. Dies hätte dazu führen können, dass das System den Mechanismus vorzeitig startet, noch bevor die Flasche korrekt positioniert ist. Um einen sicheren Prozessstart zu gewährleisten, wurde dieses Konzept verworfen.

## B. Methodik und finale Realisierung

Aufgrund der genannten mechanischen und sensorischen Herausforderungen wurde das Konzept angepasst. Anstelle der Ultraschallsensoren wurden Tastsensoren (Buttons) gewählt. Diese liefern eine präzise physische Rückmeldung, sobald die Flasche korrekt auf der Plattform steht, wodurch Fehlstarts ausgeschlossen werden. Für die Umsetzung fiel die Wahl auf das LEGO Mindstorms EV3-System, da es gegenüber dem älteren NXT-System eine stabilere Kommunikation mit MATLAB und eine höhere Rechenleistung bietet.

Ein entscheidender technischer Aspekt ist die Drehmomentverstärkung. Da die direkte Kraft der Servomotoren allein nicht ausreicht, wurde eine Getriebeuntersetzung integriert, um die Motoren zu entlasten. Zudem wurde ein beweglicher Heber entwickelt. Dieser dient primär dazu, den gesamten Drehmechanismus nach oben zu schwenken, um dem Nutzer ein bequemes Einsetzen der Flasche zu ermöglichen. Erst nach der Positionierung führt der Heber den Mechanismus sicher auf den Deckel. Die Steuerung über MATLAB stellt sicher, dass alle Schritte – vom Absenken bis zum Drehvorgang – präzise koordiniert ablaufen.

## III. MECHANISCHER AUFBAU UND FUNKTIONALITÄT

Der mechanische Aufbau des Roboters ist als eine massive Turmkonstruktion realisiert, die optisch einem Kranmast ähnelt. Um die notwendige Stabilität für den Öffnungsvorgang zu gewährleisten, wurde die Struktur durch eine hohe Anzahl an Verstrebungen verstärkt, die jede Sektion der Konstruktion fest miteinander verbinden. Dies verhindert mechanische Verformungen unter der Last des ausgeübten Drehmoments.

Das Herzstück der Steuerung ist der EV3-Stein. Die Hardware umfasst insgesamt drei Motoren und zwei Sensoren. Zwei große LEGO-Servomotoren steuern den Heber sowie die Fixierung der Flasche, um einen hohen Anpressdruck zu erzielen. Ein kleiner LEGO-Servomotor treibt den Drehmechanismus an. Zur Objekterkennung und Prozessstart sind zwei Tastsensoren in die Basis integriert.

Die Konstruktion besteht aus diesen Hauptmechanismen: dem Heber, dem Greifmechanismus und dem Drehmechanismus. Im Folgenden wird das Funktionsprinzip des Roboters detailliert beschrieben, wobei die einzelnen Phasen des Arbeitsablaufs und das Zusammenwirken der mechanischen Komponenten erläutert werden.

### A. Erkennung und Systemstart

Die erste Phase des Algorithmus befasst sich mit der Objekterkennung und der Sicherheitsfreigabe für den Start. An der Basis des Roboters befindet sich eine speziell konstruierte Plattform, auf die der Nutzer die Flasche stellt. Um einen fehlerfreien Systemstart zu gewährleisten, werden zwei Tastsensoren in einer logischen Schaltung verwendet: Der erste Tastsensor ist direkt unter der Plattform positioniert. Er wird automatisch durch das Gewicht und den physischen Kontakt der Flasche aktiviert, sobald diese auf die Basis gestellt wird. Dies dient der Bestätigung, dass das Objekt korrekt in der Halterung platziert wurde.

Der zweite Tastsensor befindet sich an einer gut erreichbaren Stelle am Gehäuse und muss vom Nutzer manuell betätigt werden. Diese doppelte Abfrage ist für den Bedienkomfort und die Betriebssicherheit entscheidend: Sie verhindert, dass der Algorithmus und die schweren mechanischen Komponenten (wie der Heber) starten, bevor der Nutzer die Flasche stabil losgelassen hat. Erst wenn beide Signale gleichzeitig am EV3-Stein anliegen, wird der Befehl zur Aktivierung der Motoren gegeben. Dies schließt Fehlstarts aus und gibt dem Anwender die volle Kontrolle über den Zeitpunkt des Prozessbeginns.

### B. Absenken des Moduls (Zustellung durch den Heber)

Nach der erfolgreichen Detektion wird der Prozess durch den ersten großen Servomotor fortgesetzt, der stabil an der Oberseite der Turmkonstruktion montiert ist. Die Basis des Hebemechanismus bilden parallele Balken, die das gesamte Drehmodul tragen. Um das Modul präzise auf den Flaschendeckel zu führen, führt der Motor eine programmierte Rotation von exakt  $50^\circ$  aus.

Eine besondere technische Herausforderung stellte das hohe Eigengewicht des Drehmoduls dar, welches den Heber im Ruhezustand nach unten zog. Zur Lösung dieses Problems wurde die Konstruktion mechanisch mit Gummibändern verstärkt, um den Hubarm zu stabilisieren und die Last auf den Motor zu reduzieren.

Zusätzlich wurde im MATLAB-Code der sogenannte `BrakeMode` implementiert. Dieser sorgt dafür, dass der Motor den Heber nach dem Hochfahren aktiv in der oberen Position arretiert und ein ungewolltes Absacken durch die Schwerkraft verhindert wird. Durch dieses Zusammenspiel aus mechanischer Unterstützung und Software-Steuerung konnte eine präzise und sichere Positionierung auf dem Deckel erreicht werden.

### C. Fixierung der Flasche

Nachdem der Heber das Drehmodul auf dem Deckel positioniert hat, aktiviert der zweite große Servomotor an der Basis der Konstruktion den Fixierungsvorgang. Ursprünglich war geplant, die Flasche lediglich durch gummierte LEGO-Räder direkt anzupressen. Erste Tests zeigten jedoch, dass diese Methode keine ausreichende Haftung bot, wodurch sich die Flasche beim Öffnungsversuch zusammen mit dem Deckel drehte.

Um dieses Problem zu lösen, wurde ein eigener Fixierungsmechanismus entwickelt, der auf einer speziellen Anordnung von vier Zahnrädern basiert, die eine symmetrische Spannung der Gummibänder erzeugen. Das erste Zahnrad ist direkt mit der Motorachse verbunden. Um auf der gegenüberliegenden Seite eine gegensinnige Rotation zu erzielen, wurde dort eine zusätzliche Zwischenzahnrad-Stufe eingebaut. Dies bewirkt, dass sich beide Seiten nicht in dieselbe Richtung, sondern nach innen zueinander drehen.

Da Standard-Gummibänder zu kurz waren, wurden mehrere Gummis miteinander verknotet, um die nötige Länge zu erreichen. Bei einer Motorrotation von  $600^\circ$  wickeln beide Seiten die verknotete Gummischlaufe gleichzeitig nach innen auf. Dadurch wird die Flasche gleichmäßig umschlungen und mit hohem Anpressdruck fest gegen die Rückwand

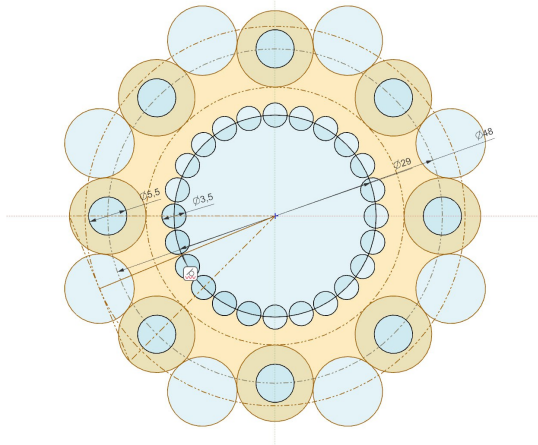


Abbildung 2. 3D-Modell des Greifaufsatzes für den Flaschendeckel

der Konstruktion gezogen. Dieser Aufbau verhindert effektiv, dass sich der Flaschenkörper während des Öffnungsvorgangs mitdreht.

#### D. Öffnungsvorgang mit Drehmechanismus

Nachdem die Flasche durch den Greifmechanismus fixiert wurde, startet der eigentliche Öffnungsvorgang. Eine der größten ingenieurtechnischen Herausforderungen war dabei das mangelnde Drehmoment des LEGO-Motors sowie die fehlende Griffbarkeit der Standardbauteile.

Ursprünglich wurde versucht, den Deckel mit herkömmlichen LEGO-Rädern oder Greifarmen zu fassen. Es stellte sich jedoch heraus, dass diese Teile auf der glatten Kunststoffoberfläche des Verschlusses keinen ausreichenden Halt fanden und ständig durchrutschten. Um dieses Problem zu lösen, wurde ein spezialisierter 3D-gedruckter Greifaufsatz entwickelt. Wie in der Konstruktionszeichnung zu sehen ist (vgl. Abbildung 2), weist dieser Aufsatz eine präzise Innengeometrie mit einem Durchmesser von 29 mm und kleinen inneren Zähnen auf. Diese Zähne greifen direkt in die Rillen des Flaschendeckels und erzeugen einen perfekten Formschluss, der ein Durchrutschen unmöglich macht.

Zusätzlich wurde die Kraft über ein Getriebe (vgl. Abbildung 3) mit einer Untersetzung von 1:25 übertragen, um das zu geringe Motordrehmoment auszugleichen. Erst durch die Kombination aus dem passgenauen 3D-Druck-Aufsatz und der massiven mechanischen Verstärkung kann der Motor den Widerstand des Deckels überwinden und diesen zuverlässig aufdrehen.

#### E. Prozessabschluss

Zum Abschluss des Vorgangs werden alle Motoren in ihre Ausgangsposition zurückgeführt. Der Fixierungsmotor führt eine Rückwärtsdrehung von  $600^\circ$  aus, um die Gummibänder zu lösen und die Flasche freizugeben. Zeitgleich fährt der Heber durch eine entgegengesetzte Bewegung von  $50^\circ$  nach oben. Um ein Absinken des schweren Drehmoduls durch die Schwerkraft zu verhindern, wird im MATLAB-Code der `BrakeMode` aktiviert, welcher den Hebelarm aktiv in der oberen Position arretiert. Damit ist das System für den nächsten Einsatz bereit.

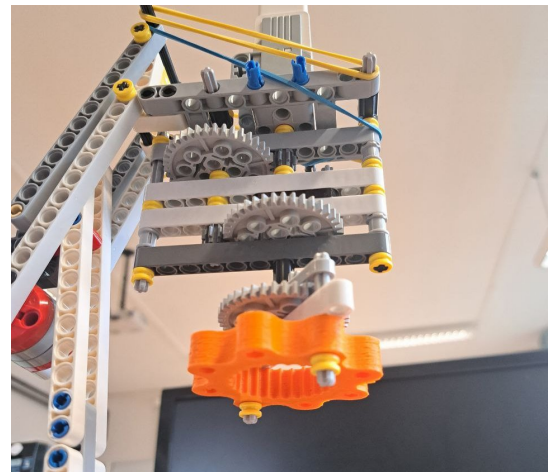


Abbildung 3. Drehmechanismus mit Getriebe und 3D-Teil

## IV. ERGEBNISDISKUSSION

Das Endergebnis zeigt, dass der Prototyp die gestellte Aufgabe erfolgreich erfüllt. Dennoch traten im Verlauf der Entwicklung technische Herausforderungen und spezifische Nachteile der aktuellen Konstruktion auf, die kritisch bewertet werden müssen. Ein Hauptproblem der aktuellen Umsetzung ist die Kinematik des Hebers. Da sich der Heber auf einer Kreisbahn bewegt, trifft der Drehmechanismus den Deckel nicht linear von oben, sondern in einem Bogen. Dies führte bei den Tests zu Schwierigkeiten, da die Flasche extrem präzise positioniert werden musste. Jede kleine Abweichung veränderte den Auftreffwinkel, was zeitintensive Berechnungen für den Senkwinkel und die Geschwindigkeit im MATLAB-Code erforderlich machte.

Für zukünftige Optimierungen sollte die aktuelle Heber-Konstruktion durch eine vertikale Linearführung ersetzt werden. Ein Mechanismus, der den Drehmechanismus exakt senkrecht von oben auf die Plattform absenkt, würde die Positionierung der Flasche erheblich vereinfachen und die Fehleranfälligkeit des Systems minimieren.

Ein weiterer limitierender Faktor ist die aktuelle 3D-gedruckte Greifkomponente. Da ihre Parameter fest definiert sind, ist die Funktionalität des Roboters stark eingeschränkt und auf nur eine Deckelgröße festgelegt. Für zukünftige Optimierungen sollte daher nicht nur der Heber durch eine vertikale Linearführung ersetzt, sondern auch das Greifmodul überarbeitet werden. Eine konusförmige Geometrie, die sich nach unten hin erweitert, würde es ermöglichen, Deckel mit unterschiedlichen Durchmessern sicher zu fassen und zu zentrieren. Dies würde die Flexibilität des Systems erheblich steigern und die Fehleranfälligkeit bei der Positionierung minimieren.

Insgesamt wurde jedoch ein funktionsfähiger Prozess realisiert, der die synergetische Nutzung von Mechanik und MATLAB-Programmierung erfolgreich demonstriert.

## V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Im Rahmen dieses Projektseminars wurde erfolgreich ein funktionsfähiger Prototyp eines automatisierten Flaschenöffners

auf Basis des LEGO Mindstorms EV3-Systems und MATLAB entwickelt. Das Ziel, eine mechanische Unterstützung für den Alltag zu schaffen, wurde durch das Zusammenwirken von präziser Sensorik und einer kraftvollen Getriebestruktur erreicht.

Die Arbeit hat gezeigt, dass die Herausforderungen der mechanischen Instabilität und des geringen Motordrehmoments durch kreative Lösungen, wie den Einsatz einer 1:25-Untersetzung und eines spezialisierten 3D-Druck-Greifers, effektiv überwunden werden konnten. Trotz der identifizierten Optimierungspotenziale bei der Kinematik des Hebers und der Flexibilität der Greifkomponente bietet das System eine zuverlässige Hilfe beim Öffnungsvorgang.

Insgesamt demonstriert das Projekt die erfolgreiche Anwendung von Konstruktionsprinzipien und die effiziente Steuerung komplexer Bewegungsabläufe mittels algorithmischer Programmierung in MATLAB.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Texas Tech University STEM Center, *LEGO MINDSTORMS EV3: Motors and Sensors Technical Specifications*, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.depts.ttu.edu/coe/stem/gear/ev3/documents/EV3-Motors-Sensors.pdf> (Belegt das Drehmoment von 20 Ncm für den Large Motor und 8-12 Ncm für den Medium Motor).
- [2] J. Kammet, *Supplemental notes on gear ratios and torque transmission*, Brooklyn College, City University of New York, 2015. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.sci.brooklyn.cuny.edu/~kammet/gear\\_notes.pdf](https://www.sci.brooklyn.cuny.edu/~kammet/gear_notes.pdf) (Grundlagen der Drehmomentberechnung bei Getriebeuntersetzungen).