

Treppensteiger

Max Körner, Elektromobilität
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zusammenfassung—Im Rahmen des Projektseminars Elektrotechnik/Informationstechnik (LEGO Mindstorms) 2026 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wurde ein Roboter entwickelt, der in der Lage ist, eigenständig zu fahren, Treppenstufen mit der Hilfe von Ultraschallsensoren zu erkennen, sie mittels Hubmechanismus zu erklimmen und dabei Güter in waagerechter Position zu transportieren. Besonders auf die Mechanik, die Konstruktion und die entsprechende Programmierung wird in diesem Paper eingegangen. Die Grundlage hierfür bildeten LEGO-Mindstorms-Teilesets, der programmierbare LEGO-Mindstorms-Stein in der Version EV3 sowie die Software MATLAB der Firma MathWorks, die zur Erstellung des Quellcodes genutzt wurde. Abschließend befasst sich dieses Paper mit den Schwierigkeiten während der Entwicklung und möglichen zukünftigen Verbesserungen eines solchen Roboters.

Schlagwörter—EV3, LEGO, MATLAB, OVGU, Schneckengetriebe, Transport

I. EINLEITUNG

DAS Statistische Bundesamt befasste sich 2024 mit der Frage: „Online-Shopping in der EU: Was wird gekauft?“. Im Rahmen dieser Datenerhebung kam heraus, dass in Deutschland 83 % der 16- bis 74-Jährigen schon einmal online eingekauft haben. Die bestellten Artikel reichten von Kleidung über Möbel bis hin zu Arzneimitteln [1]. Im Rahmen einer ähnlichen Erhebung zu Einkäufen von Personen über das Internet nach Alter gaben 70 % der 16- bis 74-Jährigen an, dass der letzte Onlinekauf nicht länger als drei Monate zurücklag [2]. Die Bedeutung des Onlinehandels ist nicht von der Hand zu weisen. Das stellt auch Versanddienstleister vor immer größere Herausforderungen. Gerade die Paketzusteller am Ende der Transportkette müssen täglich genau diese Bestellungen einladen, ausladen und mitunter über mehrere Stockwerke die Treppen hinauftragen, was vor allem körperliche Kraft fordert.

Um dieser körperlichen Anstrengung entgegenzuwirken, wurde während des LEGO-Praktikums 2026 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg ein Treppensteiger entwickelt und konstruiert, der im Modellmaßstab eigenständig eine Stufe hinaufsteigen und dabei eine gefüllte 0,33 L-Getränkedose waagrecht transportieren kann. Der Kern des Projekts ist der programmierbare LEGO-EV3-Stein, der anhand eines an ihn übermittelten Quellcodes die Motoren für die Bewegung und den Hubmechanismus ansteuern und die Ultraschallsensoren zum Erkennen der Stufe auswerten kann.

Weiterhin steht auch die Konstruktion und hierbei vor allem die Gewichtsverteilung der einzelnen Komponenten im Zusammenspiel mit der transportierten Ladung im Vordergrund. Im Folgenden wird auf die Planung und den Bau des Roboters detailliert eingegangen. Die daraus resultierenden Problemstellungen werden diskutiert und die Zielsetzung mit dem Ergebnis verglichen.

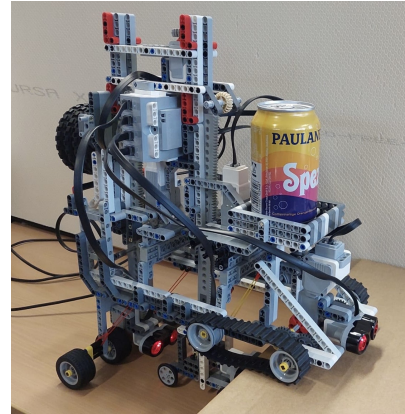


Abbildung 1. Treppensteiger

II. VORBETRACHTUNG

A. Definition der Funktion des Treppensteigers

Die Funktion des Treppensteigers (Abbildung 1) besteht darin, selbstständig geradeaus zu fahren, anhand der Ultraschallsensoren eine Stufe zu erkennen, diese Stufe zu bewältigen und anschließend diesen Vorgang zu wiederholen. Währenddessen soll der Roboter samt seiner Ladung in Balance bleiben.

B. Technische Voraussetzungen

Die Grundlage für die Ansteuerung der verwendeten Motoren und Sensoren ist der LEGO-EV3-Stein. Über eine Programmierschnittstelle in MATLAB und einer von der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH Aachen) entwickelten Toolbox war es möglich, den EV3-Stein via USB-Verbindung mit einem in MATLAB geschriebenen Quellcode zu betreiben. Der EV3-Stein steuert jeweils einen großen Motor an Vorder- und Hinterachse an, um die Vorwärtsbewegung zu gewährleisten. Weiterhin wurden zwei kleine Motoren verbaut, die in Verbindung mit einem Schneckengetriebe für die Hubbewegung an der hinteren und mittleren Achse zuständig sind.

Zum Erkennen der Treppenstufe werden an allen drei Achsen (vorn, mittig, hinten) Ultraschallsensoren genutzt, um den Abstand zwischen der jeweiligen Achse und der Stufe zu bestimmen. Der Ultraschallsensor hat einen numerischen Bereich von 0 bis 255 cm [3]. Er funktioniert dabei nach dem Sender-Empfänger-Prinzip. Der Sensor generiert einen hochfrequenten Ton, der sich trichterförmig ausbreitet. Wird dieser Ton an einem Objekt reflektiert und wiederum vom Sensor empfangen, errechnet der EV3-Stein anhand der Laufzeit die ungefähre Entfernung zum Objekt.

III. REALISIERUNG

A. Konstruktion

In Abbildung 2 werden die Grundidee und der letztendlich realisierte Treppensteiger gegenübergestellt. Das Grundkonstrukt des Treppensteigers ist ein durch Querstreben verstärkter Rahmen. Dieser nimmt die starre Frontachse auf, die durch einen großen Motor für die Vorwärtsbewegung angetrieben wird. Um zu gewährleisten, dass der Roboter in der Lage ist, nach dem letzten Hubprozess (Heben der Hinterachse) genügend Traktion auf der Stufenattrappe (Karton) zu erzeugen, damit er sich vollständig auf die Stufe ziehen kann, wurden beidseitig Gummiketten verbaut. Die im Vorhinein verwendeten Räder mit Gummireifen waren dafür nicht zweckmäßig.

Der Achse vorgelagert befindet sich der erste Ultraschallsensor zur Erkennung der Stufe. Dieser sorgt für den Abbruch der Vorwärtsbewegung, sobald sich der Treppensteiger nah genug vor der zu erklimmenden Stufe befindet. Mittig des Rahmens wurde die mittlere Hubachse verbaut. Das Heben und Senken der Achse wurde durch eine Gleitschiene und eine darin gelagerte Zahnstange realisiert. Die Länge dieser Zahnstange ist vor allem für die Hubhöhe entscheidend. Sie ist direkt mit dem Schneckengetriebe (Abbildung 3) verbunden, das durch einen kleinen Motor angetrieben wird. Durch das verwendete Schneckengetriebe wird sichergestellt, dass ein Durchrutschen der Zahnstange bei nicht aufgeschalteter Leistung am Motor verhindert wird und somit auch die Gewichtslast nicht direkt auf den Motor einwirkt.

Da bei jedem Programmschritt mindestens die Vorder- oder Hinterachse Kontakt zum Untergrund hat, war eine bewegende Anregung in Vorwärtsrichtung nicht nötig. Insgesamt sind am unteren Ende der Zahnstange vier Räder verbaut, die durch ihre wagenartige Anordnung dafür sorgen, dass die gesamte Konstruktion auf der mittleren Achse stehen kann. Auch an dieser Achse befindet sich ein entsprechender Ultraschallsensor, der den Abstand zur Stufe bestimmt. Die Hinterachse gleicht im Aufbau der mittleren Achse. Die Unterschiede sind lediglich die Anordnung der Räder und dass diese für die Bewegung des Roboters durch einen großen Motor angetrieben werden. Die in einer Linie und die Breite des Treppensteigers überragend angeordneten Räder sorgen für die nötige Stabilität, damit der Roboter nicht schwankt. Die Notwendigkeit der breiten Hinterachse ergab sich aus den ersten Versuchen der Bewegung, wobei die Achse aus nah aneinander angeordneten zwei Rädern bestand und die Stabilität nicht gewährleistet werden konnte. An der Hinterachse kommt ebenfalls ein Ultraschallsensor zur Abstandsbestimmung zum Einsatz.

Aufgrund der schon bestehenden Konstruktion wurde die Ablage für die 0,33 L-Dose zwischen der vorderen und mittleren Achse platziert. Um das Gewicht gleichmäßig zu verteilen und aus Gründen der beschränkten Möglichkeiten der Platzierung wurde der Programmierstein zwischen hinterer und mittlerer Achse installiert. Da auch dadurch noch kein Optimum der Gewichtsverteilung erreicht wurde, mussten an der hinteren Gleitschiene zusätzliche Gewichte in Form von großen LEGO-Rädern angebracht werden. Zum Starten des Programmablaufs wird ein einfacher Taster verwendet, der sich im oberen Bereich der mittleren Gleitschiene befindet.

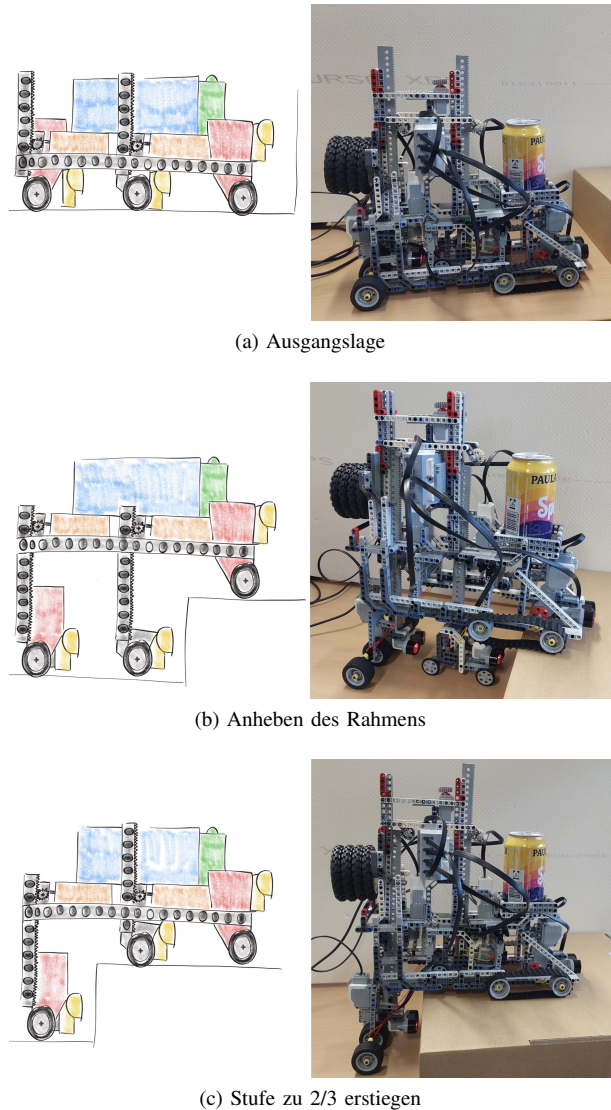


Abbildung 2. Schritte des Steigens

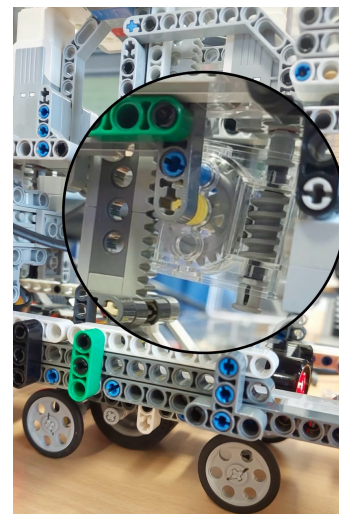


Abbildung 3. Schneckengetriebe

B. Programmablauf

Zum Start des Programms muss zuvor eine Verbindung zwischen dem EV3-Stein und MATLAB via USB hergestellt werden. Nach Ausführung des Programms werden alle Vor-einstellungen des Programmiersteins gelöscht und er wird neu initialisiert, um fehlerhafte Programmabläufe zu vermeiden. Die Initialisierung wird durch einen Piepton signalisiert. Um den eigentlichen Ablauf (Abbildung 4) zu starten, wird der Taster des Treppensteigers betätigt. Mit dieser Betätigung werden die Motoren an der Front und am Heck mit einer vorher definierten Leistung angeregt und der Roboter führt eine Vorwärtsbewegung aus. Je nach Leistungseinstellung bewegt er sich langsamer oder schneller. Im Zuge dieser Bewegung wird der vordere Ultraschallsensor ausgewertet.

Sobald der Abstand zur Stufe geringer als 4 cm wird, stoppen die Heck- und Frontmotoren. Anschließend fahren Mittel- und Heckachse aus, wodurch der Rahmen des Treppensteigers samt transportierter Ladung gleichmäßig und waagrecht angehoben wird. Für die Gleichmäßigkeit und den waagerechten Hub muss die Leistung der jeweiligen kleinen Motoren dem Gewicht angepasst werden, das auf dem angeschlossenen Schneckengetriebe lastet. Nachdem die entsprechende Hubhöhe (vorgegeben durch die maximale Zahl der Umdrehungen der Motoren in Grad) erreicht wird, startet wie zuvor die Vorwärtsbewegung. Stellt der Programmierstein mit Hilfe des Ultraschallsensors an der mittleren Achse einen geringeren Abstand als 4 cm zur Stufe fest, wird die Bewegung beendet.

Im Folgenden fährt die Mittelachse wieder ein. Dafür wird lediglich die Drehrichtung des Hubmotors geändert, indem der Leistungswert negiert wird. Die Zahl der Umdrehungen bleibt identisch, damit die Achse in Ihre Ausgangslage fährt. Ist dieser Abschnitt beendet, fährt der Roboter wieder nach vorn.

Im letzten Schritt wird der Abstand zur Stufe über den Sensor an der Hinterachse bestimmt. Werden die 4 cm wieder unterschritten, stoppen die Bewegungsmotoren und die Hinterachse wird in ihre Ausgangsposition eingefahren. Abschließend wird der Vorgang ab dem Moment des Auslösens des Tasters wiederholt, was beinhaltet, dass der Treppensteiger die Stufe vollständig befährt und auf die nächste Treppenstufe steigen kann.

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Grundlegend ist die anfängliche Idee in Form und Funktion bis auf ein Detail umgesetzt worden. Ursprünglich sollten die Ultraschallsensoren auch dafür genutzt werden, das obere Ende der Stufe zu detektieren und damit den Hub der Konstruktion zu begrenzen. Der Vorteil wäre gewesen, dass sich der Treppensteiger variabel an die Höhe von unterschiedlichen Stufen anpassen kann, ohne dass im Programmablauf etwas geändert werden muss. Aufgrund der trichterförmigen Ausbreitung der Schallwellen ist ein verlässliches Auswerten der Abstandsvergrößerung bei Erreichen des oberen Endes der Stufe nicht garantiert.

Ein großes Problem bei der Konstruktion des Treppensteigers war die Gewichtsverteilung. Das aktuelle System ist nur auf die gefüllte 0,33 L-Dose angepasst. Ein Ändern oder sogar Weglassen der zu transportierenden Ladung würde dazu führen, dass

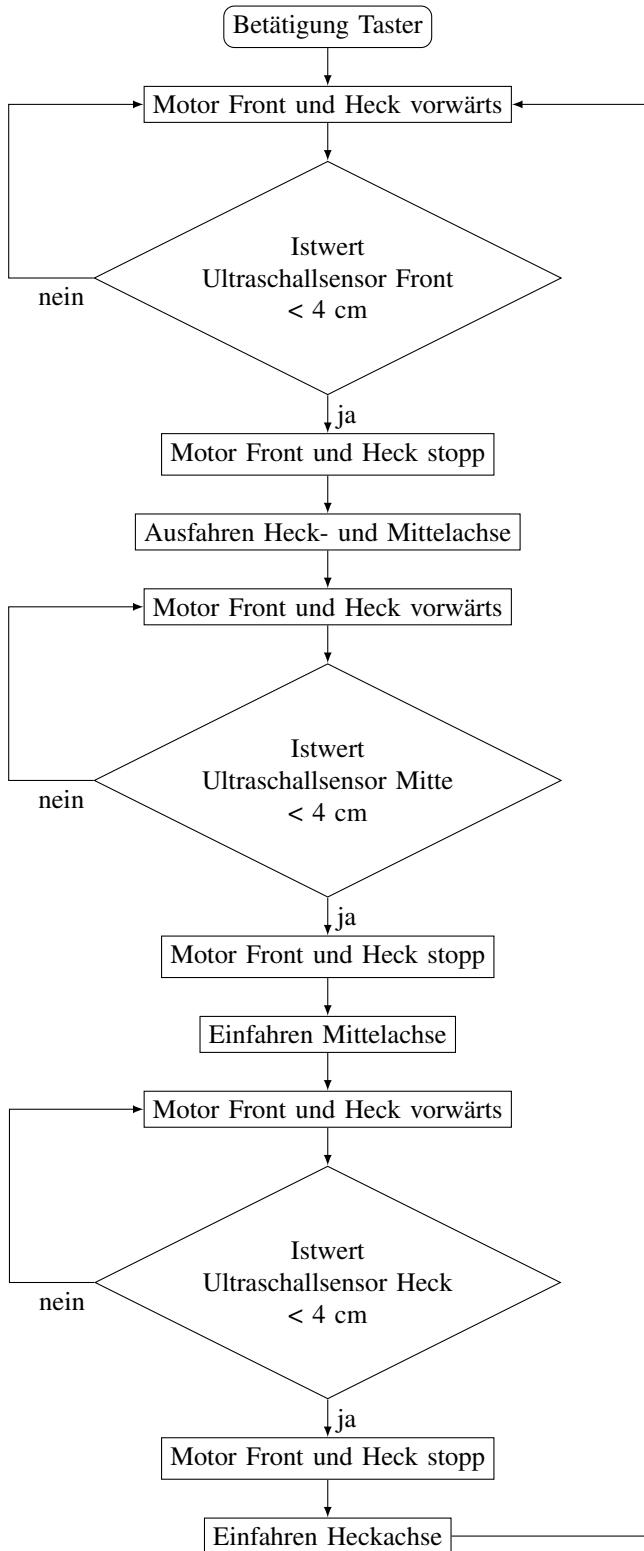


Abbildung 4. Programmablaufplan

der Treppensteiger nach vorn oder hinten kippen würde. Gerade in den kritischen Abschnitten des Hebens des Rahmens und des Einfahrens der Hinterachse besteht Kippgefahr. Bezüglich des Gewichts war auch festzustellen, dass die Zahnstangen, die auch ein tragendes Element darstellen, in ihrer Konstruktion an ihre Grenzen geraten sind. Diese müssten verstärkt werden, was auch dazu führen würde, dass die Gleitschienen entsprechend angepasst werden müssten. Auch der Motor in Verbindung mit dem Schneckengetriebe an der Mittelachse ist ausgelastet. Der kleine Motor müsste durch einen großen Motor ersetzt werden und das Schneckengetriebe müsste stärker verankert werden, was jedoch wieder Auswirkungen auf die Konstruktion und auf die Gewichtsverteilung hätte.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Das Projektseminar Elektrotechnik/Informationstechnik 2026 ist erfolgreich abgeschlossen worden. Die zuvor erarbeitete Idee konnte so umgesetzt werden, dass der Treppensteiger in der Lage ist, autonom Treppenstufen zu erkennen und diese dann zu erklimmen.

Bei der Realisierung des Projekts konnten Kenntnisse in der Programmierung mit MATLAB erlernt und vertieft werden, was nicht nur dem Projekt zugute kam, sondern auch im weiteren Verlauf des Studiums von Nutzen ist. Bei einer eventuellen Weiterentwicklung des Treppensteigers würde der Fokus zum einen auf der Unabhängigkeit des Gewichts der Ladung und der Höhe der Stufe liegen, als auch auf der Möglichkeit, die Treppenstufe auch wieder hinabzusteigen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] DESTATIS: *Immer mehr Menschen kaufen online*. https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Wissenschaft-Technologie-digitaleGesellschaft/Online_Shopping.html. Version: Januar 2025
- [2] DESTATIS: *Einkäufe von Personen über das Internet nach Alter*. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/IT-Nutzung/Tabellen/onlineeinkaeufe-privatezwecke-alter-mz-ikt.html>. Version: November 2025
- [3] MINDSTORMS, LEGO: *Verwendung des Ultraschallsensors*. https://ev3-help-online.api.education.lego.com/Retail/de-de/page.html?Path=editor%2FUsingSensors_Ultrasonic.html