

Der Treppensteiger

Christian Schmidt, Elektromobilität
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zusammenfassung—Das folgende Paper beschreibt die Entwicklung eines Treppensteiger-Roboters im Rahmen des LEGO-Projektpraktikums 2026 der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Die Grundlage dafür sind LEGO-Mindstorms und MATLAB. Der Roboter ist in der Lage, eine Treppenstufe mittels Ultraschallsensoren autonom zu erkennen und sein Eigengewicht anzuheben, um eine Treppenstufe zu überwinden. Zentrale Schwerpunkte dieses Papers sind die mechanische Konstruktion, die Sensorik sowie die softwareseitige Umsetzung. Zudem werden Herausforderungen und Verbesserungsansätze diskutiert.

Schlagwörter—Autonomes Treppensteigen, LEGO Mindstorms, MATLAB, Robotik, Ultraschallsensorik.

I. EINLEITUNG

Die zunehmende Umweltverschmutzung durch Plastikflaschen ist ein zentrales Problem. Alternativen dafür sind beispielsweise Glasflaschen oder Getränkedosen. Allerdings stellt das höhere Gewicht eine starke Anstrengung für die zunehmende alternde Gesellschaft und die damit verbundene Mobilitätseinschränkung dar. Entsprechende Forschungsprojekte, wie beispielsweise ein Exoskelett der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, befassen sich mit der Thematik des Treppensteigens, sodass das Treppensteigen bis ins hohe Alter ermöglicht werden soll [1]. Im Rahmen des LEGO-Projektpraktikums 2026 an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg wurde ein autonomer Treppensteiger-Roboter entwickelt, um den Transport von Getränken über Treppenstufen zu simulieren und im Modellmaßstab umzusetzen. Die gewählte Entwicklungsplattform, LEGO Mindstorms EV3, bietet hierfür eine geeignete Kombination aus Mechanik, dem Einsatz von Ultraschallsensorik und einer kompatiblen Programmierschnittstelle in MATLAB.

Zielsetzung des Projektes war die Entwicklung eines Roboters, der mithilfe von Ultraschallsensoren eine Treppenstufe erkennt und diese überwindet. Die zentralen Herausforderungen dabei bestanden in der Gewichtsverteilung sowie das Erzeugen des nötigen Drehmomentes, um das Fahrzeug anzuheben. Das Projekt verbindet die praktischen Erfahrungen aus vorangegangenen Tätigkeiten im Kraftfahrzeugbereich mit den im Studium der Elektromobilität erworbenen Fachkenntnissen. Das vorliegende Paper dokumentiert die technischen Grundlagen, den Konstruktions- und Entwicklungsprozess sowie erarbeitete Lösungsansätze. Anschließend werden die erzielten Ergebnisse kritisch reflektiert und mit der ursprünglichen Zielsetzung verglichen.

II. VORBETRACHTUNGEN

A. Anforderungen an den Treppensteiger

Die grundlegenden Anforderungen an den Treppensteiger-Roboter bestanden in der Fähigkeit, Treppenstufen eigenständig

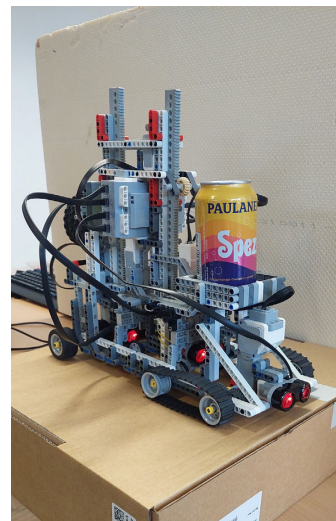


Abbildung 1. Fertiger Treppensteiger

zu erkennen und das eigene Gewicht mit der zusätzlichen Belastung von Getränkedosen anzuheben, ohne dabei nach vorn, zur Seite oder nach hinten zu kippen. Dabei steht die stabile mechanische Konstruktion mit nahezu idealer Gewichtsverteilung und die wiederholbare Funktion im Vordergrund, siehe Abbildung 1.

B. Technologische Grundlagen

Die Basis lieferten der EV3-Controller und die LEGO Mindstorms-Baukästen. Der große Vorteil dieser Basis lag darin, dass eine intuitive Programmierung mit MATLAB möglich war. Es wurden insgesamt vier Motoren verbaut: je zwei Motoren für den Antrieb des Fahrzeuges und den Hubmechanismus. Des Weiteren wurden drei Ultraschallsensoren zum Erkennen der Treppenstufe und ein Tastsensor zum Starten des Vorgangs verbaut. Der EV3-Ultraschallsensor hat dabei folgende Funktionsweise: Er strahlt Ultraschallwellen aus und empfängt die vom Hindernis reflektierten Schallwellen. Die Zeit, die die Schallwellen brauchen, um nach dem Aussenden wieder empfangen zu werden, wird vom Sensor gemessen. Bei einer Schallgeschwindigkeit von $344 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ kann dadurch die Distanz zum Hindernis berechnet werden. Die Schallwellen sind nicht zu hören, da ihre Frequenz zu hoch ist und nicht im hörbaren Ultraschallbereich liegt. Die Ausgabe der berechneten Distanz erfolgt dann über den Bildschirm des EV3-Controllers in cm [2].

Das für den Hubmechanismus verbaute Schneckengetriebe besteht aus einer Welle mit mehreren Schraubengängen und ein Zahnrad, welches in die Welle eingreift, siehe Abbildung 2. Der entscheidende Vorteil dieses Getriebes ist die Selbsthemmung.

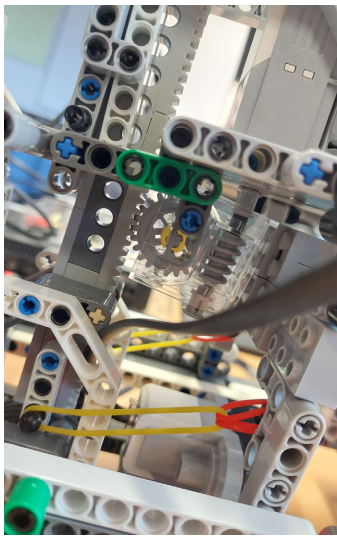


Abbildung 2. Schneckengetriebe

Sie beschreibt einen durch Reibung erzeugten Widerstand, der einem Zurückdrehen des Hubmotors entgegenwirkt, sobald dieser nicht mehr angesteuert wird [3].

III. UMSETZUNG

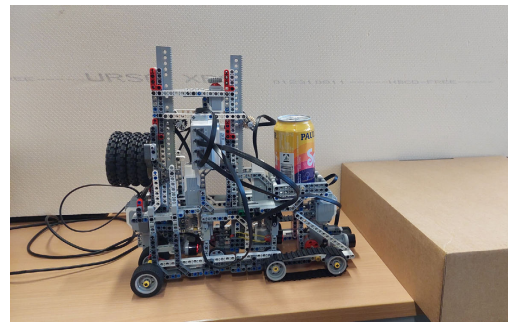
A. Mechanische Konstruktion

Der Roboter basiert auf einem stabilen Gerüst mit angetriebener Vorder- und Hinterachse. Der Antrieb der Vorderachse erfolgt über einen großen EV3-Motor und einen Kettenantrieb. Anfangs wurden Räder getestet, die jedoch nicht genug Traktion generiert haben, um das Fahrzeug fortzubewegen, sobald die Hinterachse in der Luft hängt. Die hintere Achse wird ebenfalls über einen großen EV3-Motor angetrieben. Im Gegensatz zur Vorderachse sind hier vier Räder verbaut, welche über die komplette Fahrzeugbreite verteilt sind, um die Wankstabilität zu gewährleisten.

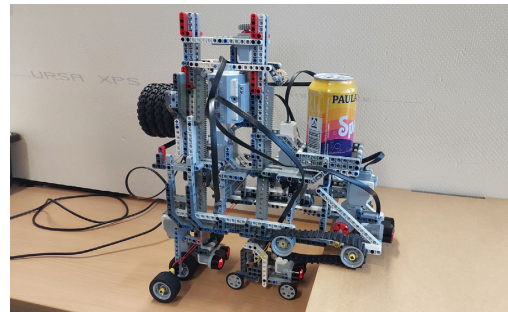
Zudem besitzt der Treppensteiger Gleitschienen an der hinteren und an der mittleren Achse, in denen die Zahnstangen für den Hubmechanismus geführt werden. Der Hubmechanismus wird pro Achse über einen kleinen EV3-Motor und ein daran angeschlossenes Schneckengetriebe realisiert, siehe Abbildung 2. Am oberen Ende des Konstruktes sind kleine Zahnräder integriert, um die Zahnstangenführung zu verbessern. Die mittlere Achse besteht aus einer Zahnstange und vier kleinen Rädern, um das Gewicht zu optimieren.

Außerdem befindet sich am vorderen Ende des Roboters ein Dosenhalter, welcher dem Transport von Getränken dienen soll. Als Gegengewicht sind am Heck des Fahrzeuges vier große Räder angebaut. Um die Gewichtsverteilung weiter zu optimieren, wurde der EV3-Stein in der Mitte des Fahrzeuges integriert.

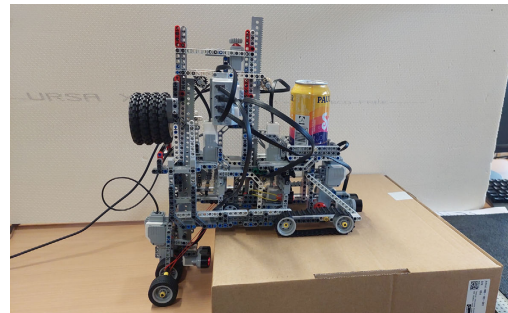
Die drei Ultraschallsensoren, welche an den Achsen sitzen, mussten so tief wie möglich verbaut werden, um den Schwerpunkt des Fahrzeuges nach unten zu verlagern. Zuletzt wurde noch ein Tastsensor am oberen Ende der mittleren Gleitschiene verbaut, um den gesamten Vorgang des Treppensteigens zu starten.



(a) Schritt 1



(b) Schritt 2



(c) Schritt 3

Abbildung 3. Programmschritte

B. Programmablauf

Die Ansteuerung und Programmierung der Sensoren und Motoren erfolgte mit MATLAB. Die Hinweise zur MATLAB-Programmierung des EV3-Controllers wurden aus [4] bezogen. Zunächst erzeugt der EV3-Controller einen Piepton, welcher signalisiert, dass alle Motoren und Sensoren aktiv und angelernt sind. Anschließend wird der Programmablauf mittels Drücken auf den Tastsensor gestartet. Im ersten Schritt fährt der Roboter mit einer festgelegten Motordrehzahl solange bis der vordere Ultraschallsensor ein Hindernis bzw. eine Treppenstufe erkennt, siehe Abbildung 3a. Der Wert, ab dem der Sensor reagiert, liegt bei 4 cm. Im zweiten Schritt werden die beiden kleinen EV3-Motoren angesteuert, welche über die Schneckengetriebe und die Zahnstangen die mittlere und hintere Achse ausfahren und somit das gesamte Fahrzeug anheben, siehe Abbildung 3b. Der Hub ist über eine festgelegte Anzahl an Umdrehungen begrenzt.

Sobald die beiden Achsen auf die vorgegebene Höhe ausgefahren sind, werden die Antriebsmotoren wieder angesteuert und das Fahrzeug fährt nach vorn. Wenn anschließend der

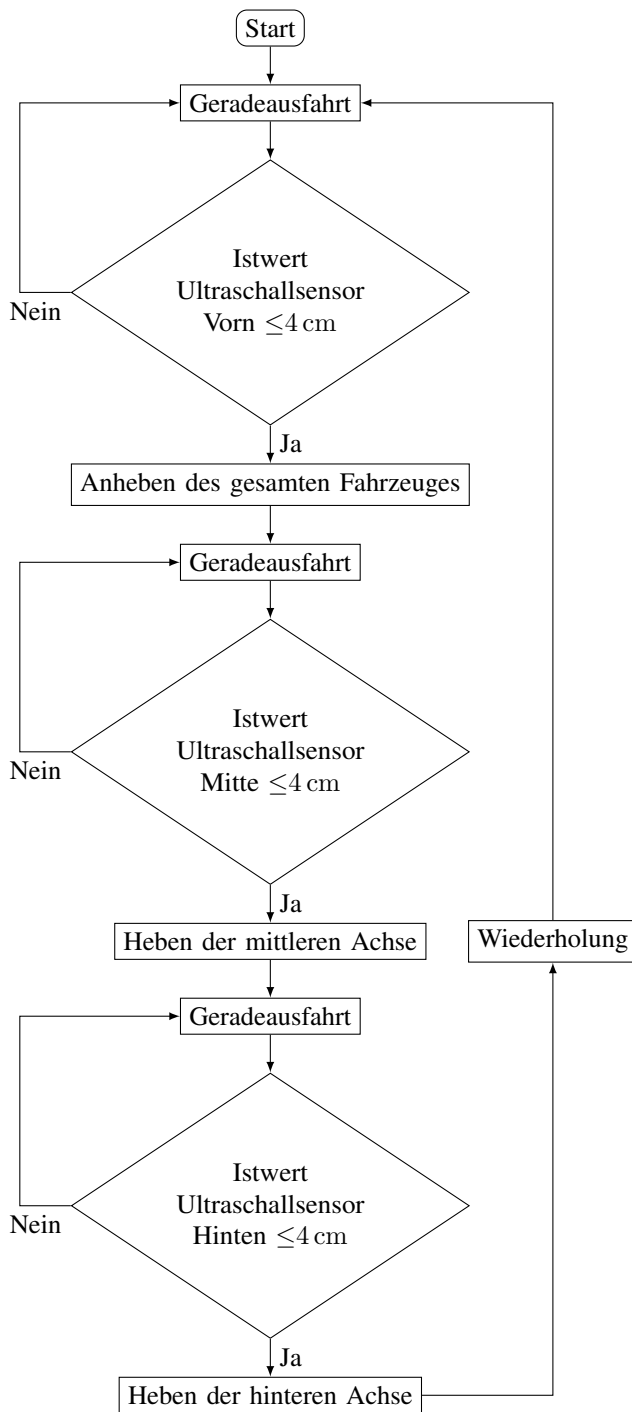


Abbildung 4. Programmablaufplan

mittlere Ultraschallsensor ein Hindernis erkennt, auch hier gilt der Abstand von 4 cm, beginnt der dritte Schritt. Hier wird die mittlere Achse um den gleichen Hub wieder eingefahren. Das Fahrzeug fährt weiter nach vorn, bis der Ultraschallsensor an der Hinterachse ebenfalls ein Hindernis erkennt, siehe Abbildung 3c. Der Abstand wurde genauso wie bei den anderen beiden Sensoren programmiert. Die Hinterachse wird angehoben und der Roboter fährt wieder nach vorn, bis er ein weiteres Hindernis erkennen würde, siehe Abbildung 4.

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Die ursprüngliche Zielsetzung eines autonomen Treppensteiger-Roboters konnte im Rahmen des Projektpraktikums umgesetzt werden. Während des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses traten verschiedene Herausforderungen auf. Aufgrund des trichterförmigen Aussendekegels der Schallwellen der Ultraschallsensoren mussten die Hübe der mittleren und hinteren Achse über die Anzahl der Umdrehungen der Hubmotoren geregelt werden, weshalb der Hub für den Karton, der die Treppenstufe simulieren soll, festgesetzt und nicht variabel ist. Dementsprechend musste das Programm modifiziert werden.

Trotzdem ist der Roboter in der Lage eine Treppenstufe bzw. den Karton autonom zu überwinden. Des Weiteren stellte die Gewichtsverteilung eine zentrale Herausforderung dar. Durch Kippen nach vorn und hinten, musste die Konstruktion mehrfach angepasst werden, um die Gewichtsverteilung zu optimieren. Zudem mussten an der Hinterachse weitere Verstärkungen vorgenommen werden, da diese Achse besonders viel Gewicht getragen hat. Trotzdem durfte das hintere Gewicht nicht weiter zunehmen, da der Roboter sonst nach hinten kippen würde, sobald die hintere Achse angehoben wird. Außerdem wurden die vorderen Räder durch einen Kettenantrieb ersetzt, da diese nicht genug Traktion generiert haben, um das Fahrzeug im dritten Programmschritt fortzubewegen. Ein zusätzliches Problem stellte die Stabilität der Zahnstangen dar, weil sie den Großteil des Fahrzeuggewichtes gehalten haben. Deshalb mussten auch sie mehrfach repariert und modifiziert werden.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Zusammenfassend ist zu sagen, dass der Treppensteiger erfolgreich programmiert und sehr stabil konstruiert wurde. Die Kombination aus Mechanik, Sensorik und Programmierung mit MATLAB ermöglichte ein weitgehend autonomes Treppensteigen. Verbesserungspotenzial liegt in der Präzisierung der Ultraschallsensoren und der Stabilisierung der Zahnstangen. Dadurch wäre der Roboter nicht an eine festgelegte Treppenstufenhöhe gebunden, sondern könnte die Höhe der Treppenstufe selbst erkennen und diese überwinden.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] SCHREYER, Anika: *Für mehr Barrierefreiheit | Ein Exoskelett, das Treppensteigen bis ins hohe Alter ermöglichen soll*, März 2022. <https://magazin.htwk-leipzig.de/exoskelett-treppensteigen>
- [2] TEAM, LEGO E.: *EV3 Ultraschallsensorik*, 2013. https://ev3-help-online.api.education.lego.com/Retail/de-de/page.html?Path=editor%2FUsingSensors_Ultrasonic.html
- [3] WIKIPEDIA, the free e.: *Selbsthemmung*, 2025. <https://de.wikipedia.org/wiki/Selbsthemmung>
- [4] RWTH AACHEN: *EV3 Toolbox Documentation*, 2020. https://git.rwth-aachen.de/mindstorms/ev3-toolbox-matlab/-/blob/master/MindstormsEV3Toolbox.pdf?ref_type=heads