

Einparkroboter

Niklas Alsleben, Elektromobilität
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zusammenfassung—Das vorliegende Paper beschreibt die Entwicklung eines autonomen Einparkroboters unter Verwendung von LEGO Mindstorms und MATLAB im Rahmen des LEGO Projektpraktikums 2025 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Der Roboter ist in der Lage, mittels Ultraschallsensoren eine geeignete Parklücke zu erkennen und autonom rechts rückwärts parallel einzuparken. Der Fokus des Papers liegt auf der mechanischen Konstruktion, der Sensorik sowie der softwareseitigen Umsetzung. Herausforderungen und Optimierungsansätze werden ebenfalls diskutiert.

Schlagwörter—Autonomes Parken, LEGO Mindstorms, Ultraschallsensorik, MATLAB, Robotik

I. EINLEITUNG

AUTONOME Fahrerassistenzsysteme sind ein zentrales Forschungsfeld in der Automobilindustrie. Insbesondere die Entwicklung von Systemen zur automatisierten Durchführung von Einparkmanövern erfährt aufgrund der zunehmenden Fahrzeugautomatisierung sowie der Verdichtung innerstädtischer Parkräume große Aufmerksamkeit. Entsprechende Forschungsprojekte, wie beispielsweise „SynCoPark“ der Technischen Universität Braunschweig, befassen sich mit der Implementierung und Optimierung intelligenter Parksyste[m]e [1]. Im Rahmen des LEGO-Projektpraktikums 2025 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wurde ein autonomer Einparkroboter entwickelt, um die grundlegenden Prinzipien automatisierter Parkvorgänge im Modellmaßstab umzusetzen.

Die gewählte Entwicklungsplattform, LEGO Mindstorms EV3, bietet hierfür eine geeignete Kombination aus Mechanik, sensorischer Erweiterbarkeit und einer kompatiblen Programmierschnittstelle in MATLAB. Dies ermöglicht eine realistische Nachbildung eines echten Personenkraftfahrzeugs. Zielsetzung des Projekts war die Entwicklung eines Roboters, der mithilfe von Ultraschallsensorik eine geeignete Parklücke identifiziert und anschließend autonom rechts rückwärts parallel einparkt. Die Herausforderung bestand insbesondere in der zuverlässigen Objekterkennung, der stabilen Fahrdynamik sowie der präzisen Steuerung von Lenk- und Antriebssystem. Darüber hinaus wurden Parallelen zu realen Fahrzeugsystemen angestrebt, beispielsweise durch das Einbeziehen einer akustischen Einparkhilfe zur Abstandsindikation.

Das Projekt verbindet die praktischen Erfahrungen aus vorangegangenen Tätigkeiten im Kraftfahrzeugbereich mit den im Studium der Elektromobilität erworbenen Fachkenntnissen. Die Umsetzung im Modellmaßstab erlaubt dabei die exemplarische Untersuchung typischer Herausforderungen, die sich auch bei der Realisierung automatisierter Parksyste[m]e in Serienfahrzeugen stellen. Das vorliegende Paper dokumentiert die technischen Grundlagen, den Konstruktions- und Entwicklungsprozess sowie die erarbeiteten Lösungsansätze. Abschließend

werden die erzielten Ergebnisse kritisch reflektiert und mögliche Optimierungsmaßnahmen für zukünftige Weiterentwicklungen aufgezeigt

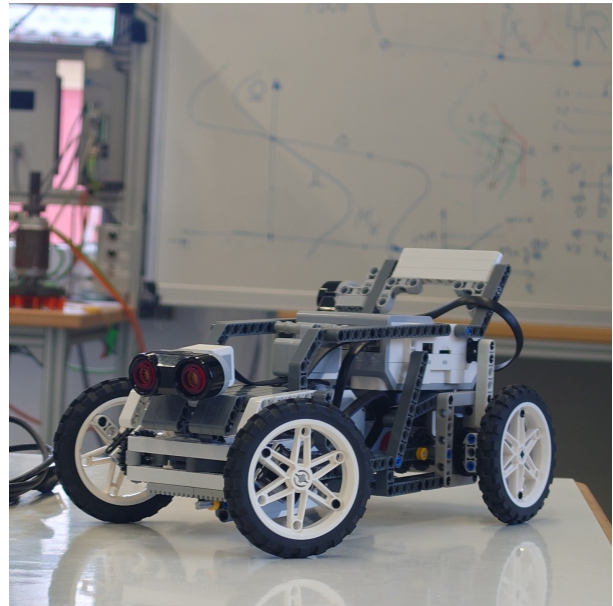


Abbildung 1. Finaler Einparkroboter

II. VORBETRACHTUNGEN

A. Anforderungen an den Einparkroboter

Die grundlegenden Anforderungen an den Roboter bestanden in der Fähigkeit, eine Parklücke autonom zu erkennen, sich präzise in diese einzuordnen und dabei Kollisionen mit Hindernissen zu vermeiden. Das System sollte eine stabile Fahrweise und wiederholbare Ergebnisse liefern, während das Design mithilfe von Elementen wie Motorhaube, Spoiler und Abgasrohren an ein sportliches Auto erinnern sollte. Eine Einparkhilfe sollte ebenfalls verbaut werden, die durch erhöhte Tonfrequenz bei zunehmender Nähe zum rückwärtigen Hindernis ebenfalls Parallelen zum realen Personenkraftfahrzeug aufweist, siehe Abbildung 1.

B. Technologische Grundlagen

LEGO Mindstorms (inklusive des EV3 Controllers) wurde als Basis gewählt, da es eine modulare Bauweise sowie eine intuitive Programmierung mit MATLAB ermöglicht. Drei Ultraschallsensoren (vorne, hinten und rechts) wurden zur Umgebungserkennung eingesetzt, während zwei Motoren für Antrieb und Lenkung verantwortlich waren. Ein Ultraschallsensor arbeitet nach folgendem Prinzip: Er sendet

Ultraschallwellen aus, die von einem Gegenstand reflektiert und zurückgeworfen werden. Im EV3 Ultraschallsensor sind Sender und Empfänger in einem Bauteil enthalten. Somit kann der EV3 Controller den Abstand von Gegenständen oder Hindernissen über das Echo der Schallwellen auswerten. Die Berechnung der Entfernung erfolgt im EV3 Controller, er wertet aus wie lange die Schallwellen brauchen, bis sie wieder am Empfänger angekommen sind. Bei einer Schallgeschwindigkeit von 344 Metern pro Sekunde lässt sich aus der Zeit, die vom Sendevorgang bis zum Empfang vergeht, die Entfernung berechnen. Die Entfernung kann über den Bildschirm des EV3 Controllers in Centimetern ausgegeben werden [2].

III. UMSETZUNG

A. Mechanische Konstruktion

Der Roboter basiert auf einem stabilen Grundgerüst mit Heckantrieb. Als Antrieb dient der EV3 Large Motor, während die Lenkung über den Medium Motor realisiert wird. Ein Differential wurde integriert, um Drehzahlausgleich zwischen den Rädern bei Kurvenfahrten zu ermöglichen, siehe Abbildung 2. Ursprünglich wurde eine Kardanwellenlenkung getestet, die sich jedoch aufgrund zu hohen Spiels in den Kardangelenken als unpräzise erwies. Außerdem fing die lange Kreuzstange bei großen Kräften an, zu tordieren. Aus diesem Grund wurde die Lenkung überarbeitet und der Medium Motor unter dem Fahrzeug und so nah wie möglich an der Lenkverzahnung montiert, was in Abbildung 3 zu erkennen ist. Infolgedessen mussten zur Garantie von ausreichend Bodenfreiheit die größtmöglichen Räder verbaut werden. Die Modifikationen an der Lenkung und die Montage des EV3 Bricks hatten weiterhin die notwendige Verstärkung der Achsen zur Folge, die präzise Fahrmanöver trotz hohen Fahrzeuggewichts ermöglichte.

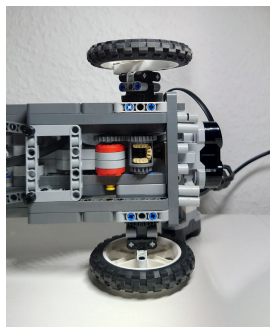


Abbildung 2. Differential

B. Sensorik

Der Roboter ist mit drei Ultraschallsensoren an folgenden Positionen ausgestattet: vorne, hinten und rechts, siehe Abbildung 4. Der rechte Sensor dient der Erkennung von Parklücken, während die vorderen und hinteren Sensoren für die Kollisionsvermeidung genutzt werden. Eine alternative Idee zur Spurhaltung bestand in der Verwendung von zwei seitlichen Ultraschallsensoren, die für permanent ausgeglichene Abstandswerte sorgen und die Lenkung entsprechend ansteuern, sollten die Werte nicht ausgeglichen sein. Auch ein Gyrosensor könnte

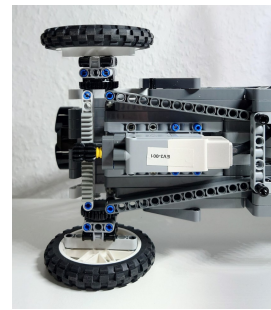


Abbildung 3. überarbeitete Lenkung

in Betracht gezogen werden, der das Fahrzeug auf gerader Spur hält und bei Abweichungen die Lenkung entsprechend gegensteuert. Diese alternativen Möglichkeiten waren jedoch im vorgegebenen Zeitrahmen nicht umsetzbar.

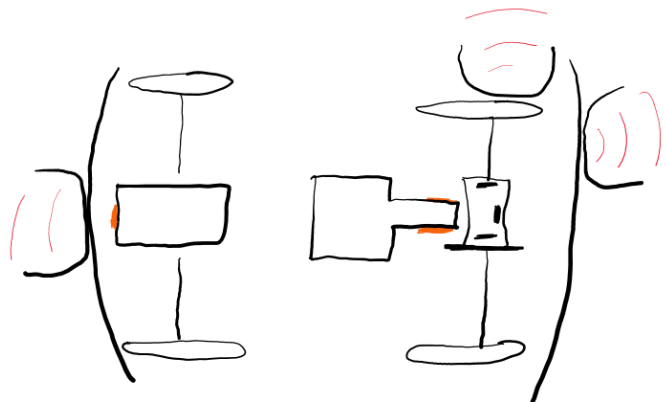


Abbildung 4. Schematischer Aufbau Sensorik

C. Software und Steuerung

Die Steuerung und Programmierung erfolgte mit MATLAB. Grundlegende Hinweise zur MATLAB-Programmierung des EV3 Controllers wurden aus [3] bezogen. Geradeaus- und Rückwärtsbewegungen wurden über eine Geschwindigkeits- und Zeitsteuerung realisiert. Für die Lenkung wurden Grenzwerte definiert, und der Brake-Modus `brake` des EV3-Systems sicherte einen stabilen Lenkwinkel. Die Parklückenerkennung wurde mithilfe des rechten Ultraschallsensors realisiert, der den Abstand zu parkenden Autos misst und so erkennt, wann eine passende Lücke vorliegt. Ist dieser Vorgang abgeschlossen und eine Parklücke gefunden, wird die Parksequenz eingeleitet, welche durch den vorderen und hinteren Sensor unterstützt wird, siehe Abbildung 5.

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Die ursprüngliche Idee eines autonom einparkenden Roboters konnte im Rahmen des Projektpraktikums umgesetzt werden. Das finale Endergebnis sowie einige Meilensteine während der Produktreifung können über den Instagram Account `mind.mobility25` eingesehen werden. Während des Entwicklungsprozesses traten verschiedene Herausforderungen auf. Eine geringe Lenkpräzision führte zur Überarbeitung der

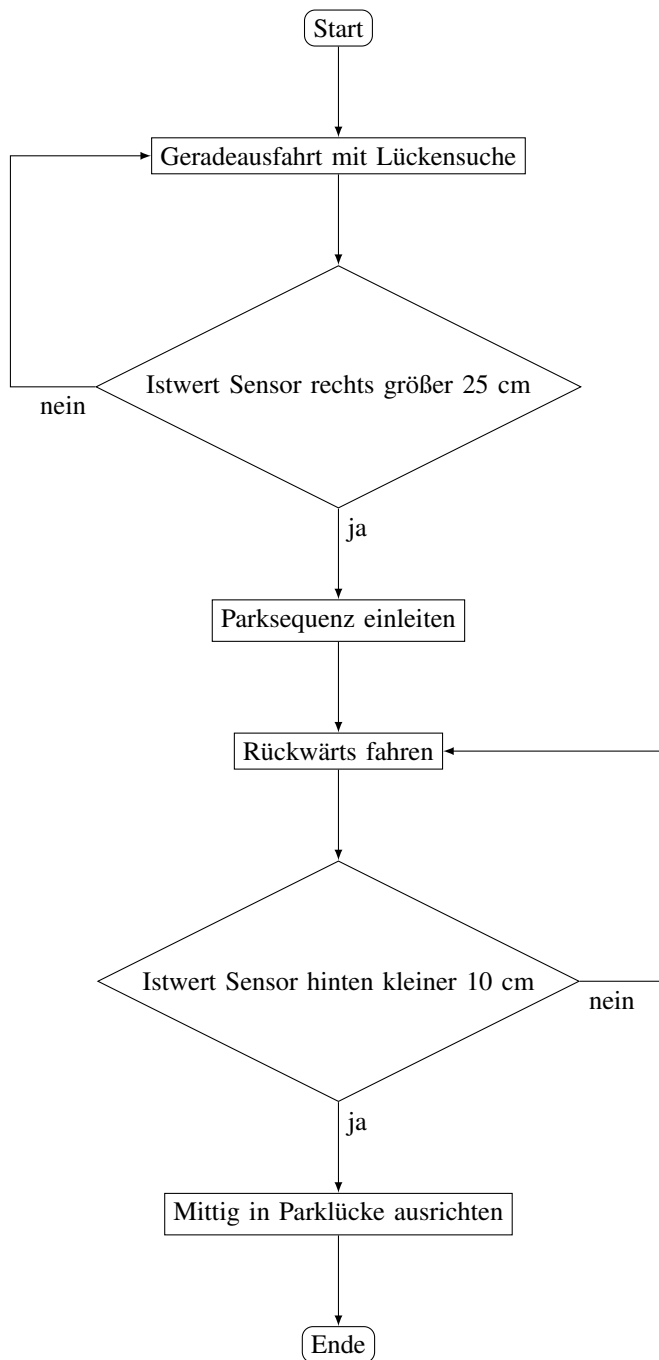


Abbildung 5. Programmablaufplan

Vorder- und Hinterachse. Die Aufhängung wurde angepasst, um Spiel zu reduzieren und das hohe Gewicht des Fahrzeugs tragen zu können, wofür das Programm entsprechend modifiziert werden musste. Zudem beeinflusste die Bodenreibung die Lenkgenauigkeit. Ein geplanter Gyrosensor hätte eine genaue Geradeausfahrt ermöglicht da dieser mit entsprechender Programmierung dafür sorgen würde, dass das Fahrzeug sobald es von seinem Weg abkommt, immer wieder zur Nulllinie zurückkorrigieren würde und somit einen guten Geradeauslauf garantiert hätte. Um trotzdem möglichst gleichbleibende Ergebnisse in den Fahrversuchen zu realisieren, wurde als Untergrund die gummierte Rückseite eines Teppichs gewählt,

siehe Abbildung 6. Dieser wurde benötigt, da die schmalen Reifen auf glatten Oberflächen wie der Fußbodenbeschichtung im Labor oder Laminat in anderen Räumlichkeiten dazu neigten, schnell an Traktion zu verlieren. Das hatte zur Folge, dass das Fahrzeug bei eingeschlagener Lenkung im Rückwärtsgang nur noch hinterhergezogen wurde, aber kein Lenken mehr stattfand. Die gummierte Rückseite des Teppichs bot dem Fahrzeug jedoch immer ausreichend Traktion um gute Testergebnisse zu liefern.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Der erfolgreich entwickelte Einparkroboter zeigt das Potenzial autonomer Parksysteime im Modellmaßstab. Die Kombination aus Mechanik, Sensorik und intelligenter Programmierung ermöglichte ein weitgehend autonomes Einparkverhalten. Künftige Verbesserungen könnten durch präzisere Sensorik, Reifen mit mehr Traktion und eine stabilere Lenkung sowie den Einsatz zusätzlicher Regelungstechniken wie eines Gyrosensors erreicht werden. Ein weiterer Schritt wäre die Integration von KI-gestützten Algorithmen zur adaptiven Optimierung der Einparkstrategie.

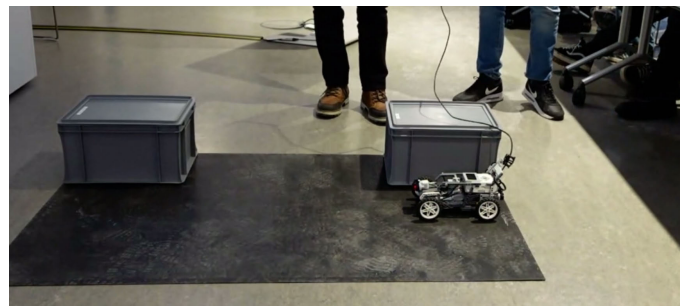


Abbildung 6. Versuchsaufbau

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] NFF NIEDERSÄCHSISCHES FORSCHUNGSZENTRUM FAHRZEUGTECHNIK : *Intelligentes Parken der Zukunft*. <https://www.tu-braunschweig.de/ism/newsdetail/intelligentes-parken-der-zukunft>. Version: Juli 2021
- [2] *Praxiswissen Ultraschallsensoren Teil 1 Technologie und Funktion im Überblick*. <https://www.pepperl-fuchs.com/global/de/24907.htm#:~:text=Der%20Ultraschallsensor%20misst%20den%20zeitlichen%20Abstand%20zwischen%20dem,die%20Schallgeschwindigkeit%20in%20der%20Luft%20rund%20344%20m%2Fs>. Version: Januar 2014
- [3] RWTH AACHEN: *EV3 Toolbox Documentation*. https://git.rwth-aachen.de/mindstorms/ev3-toolbox-matlab/-/blob/master/MindstormsEV3Toolbox.pdf?ref_type=heads. Version: 2017