

Autonom fahrendes Vehikel - Bericht zum Projekt des Lego Mindstorms Seminars

Jan Adamczyk, Elektromobilität
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zusammenfassung—Die nächste Generation des Fahrens nach den Elektrofahrzeugen gehört dem autonomen Fahren. So sagte einst: Elon Musk, der Pionier des autonomen Fahrens: „In 20 Jahren wird sich der Besitz eines Autos, das nicht autonom fährt, anfühlen wie heute der Besitz eines Pferdes.“ [1] Immer mehr große Automobilunternehmen forschen und investieren in diesem Bereich. Da dieses Thema in der Gesellschaft derzeit heiß diskutiert wird und es immer noch Bedarf in Sachen Forschung und Sicherheit gibt, beschäftigt sich dieses Projekt mit dem selbständigen Fahren am Vorbild des „EZ10“ der Deutschen Bahn. Heutige Entwicklungen, im Bereich autonomes Fahren, zeigen einen neuen Trend auf. Unternehmen setzen darauf die modernen Autos mit Assistenz-Systemen auszustatten, wie zum Beispiel dem Lenk-Assistenten, um den Straßenverkehr sicherer zu gestalten, gleichzeitig aber auch dem Menschen die Fahrt so angenehm wie möglich zu machen. Des Weiteren kommt die priorisierte Entwicklung der Elektrofahrzeuge für ein umweltbewusstes Fahren dazu. Mit „Lego Mindstorms“ wird im folgenden Beitrag ein Einstieg in das breite Spektrum der Elektromobilität beschrieben. Ziel dieses Projektes ist: Grundlagen zu erarbeiten im Rahmen der Möglichkeiten von „Lego NXT“ mit geringer und kostengünstiger Hardware-Ausstattung. Dabei werden wichtige Funktionen des Roboters beschrieben und erklärt. Außerdem werden wesentliche Ergebnisse dargestellt und diskutiert. Anschließend wird ein Ausblick über mögliche Entwicklungen in der Zukunft und Verbesserungen gegeben. Bei dem Lego Mindstorms Projekt wurden zuerst Grundkenntnisse in Matlab vermittelt. Dies geschah in den ersten drei Tagen. Anschließend wurde eine Idee eines Roboters entwickelt und vor der Seminargruppe vorgestellt in Form eines Kurzvortrages mit Powerpointpräsentation. In den darauf folgenden Tagen ist durch Arbeitsaufteilung ein Roboter gebaut und programmiert wurden. Dabei ist der Roboter durch viele Testläufe optimiert und Überarbeitungen im Quellcode angepasst wurden. Schließlich kam ein funktionsfähiger Roboter heraus, der den Projektleitern und der Seminargruppe präsentiert werden konnte.

Schlagwörter—Assistenz-Systeme, Autonomes Fahren, Umweltbewusstes Fahren

I. MOTIVATION DES PROJEKTES

DIE Sicherheit im Straßenverkehr ist ein wichtiges Thema. Jährlich kommt es zu zahlreichen Verkehrsunfällen durch menschliches Versagen in Deutschland. Laut einer Studie von Statista[2] sterben „circa 3300 Menschen“ bei solchen Unfällen. „Im Jahr 2018 betrug die Zahl der Toten 3249. Das sind 270,75 Menschenleben pro Monat.“ Deshalb besteht Bedarf weiter im Bereich autonomes Fahren zu forschen und zu entwickeln, damit die Zahl der tödlichen Unfälle verringert werden kann. Der Einsatz eines autonomen Roboters kann durch viele Sensoren, Kameras, Algorithmen und Daten über die Verkehrslage zuverlässiger sein, als ein Mensch, weil ein Roboter Gefahren

früher erkennen und darauf entsprechen reagieren kann. Somit schützt er Menschenleben aller Verkehrsbeteiligten[4]. In dem Projekt „Lego Mindstorms“ wurde ein Roboter gebaut, der sich autonom mithilfe seiner Sensoren frei über eine Oberfläche bewegen kann. Er findet Kanten und berücksichtigt diese bei seinem Fahrverhalten. Außerdem ist die Konstruktion in der Lage über eine Brücke zu fahren und sich aus einer Ecke zu befreien. Dabei passieren hin und wieder kleinere Fehler. Die Programmierung des Roboters erfolgte über Matlab unter Verwendung des „Lego-NXT-Bausteines“. Um auf die Sensoreingänge und Motorausgänge des NXT zugreifen zu können, hat die RWTH[RWTH01] Aachen Universität eine Verknüpfung zwischen Matlab und NXT zur Verfügung gestellt. Die Fortbewegung wird mit zwei Lichtsensoren und zwei Motoren realisiert. Durch das Auslesen der Sensoren, die vorn an dem Roboter angebracht wurden, ermittelt ein Algorithmus die Geschwindigkeit und durch gezieltes Ansteuern der beiden Motoren findet eine Lenkbewegung in die gewünschte Richtung statt.

II. ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Es existieren bereits autonome Fahrzeuge mit Assistenz-Systemen in Deutschland. Hier sind ein paar Beispiele zur Verdeutlichung:

A. Stand der Technik in Deutschland

Das Bundesforschungsministerium fördert seit 2015 intelligente Mobilität Projekte mit über 100 Millionen Euro[6]. Zudem gibt es seit 2018 14 Teststrecken für autonomes Fahren in Deutschland[5]. Da wären zum Beispiel das Digitale Testfeld Autobahn (DTA) auf der A9 zwischen München und Nürnberg, sowie das Testfeld Hamburg für automatisiertes Fahren in städtischen Raum.

Darüber hinaus heißt es laut einer Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft (IW), das mindestens 52 Prozent aller Patente für autonomes Fahren auf der Welt aus Deutschland stammen. Weltweit führend sind die drei deutschen Unternehmen Bosch, Audi und Continental, aber auch Mercedes und VW investieren immer mehr in die autonome Mobilität und sammeln Daten. Es existieren rund 1000 Testfahrzeuge auf deutschen Straßen, die laut Gesetz bis 10 Kilometer pro Stunde selbstständig fahren dürfen und zum Beispiel selbstständig Einparken. Für schnellere Fahrten muss ein Mensch am Steuer sitzen, der den Computer überwacht und bei eventuell auftretenden Problemen oder Gefahren eingreifen muss.

B. Konkretes Beispiel EZ10

Im Testfeld Bad Birnbach (Bayern) ist seit Oktober 2017 der erste autonom fahrende Mini-Bus EZ10 der Deutschen Bahn im Einsatz. Der Mini-Bus bietet Platz für sechs Personen und befördert sie von Bad Birnbach zu dem zwei Kilometer außerhalb liegenden Bahnhof. Er wird elektrisch betrieben, dabei kommt EZ10 vollkommen ohne Lenkrad und Pedale aus. Lediglich ein Fahrbegleiter ist mit an Bord, der bei Gefahr oder technischen Versagen eingreifen muss. Allerdings ist die Personenbeförderung bisher auf zehn Kilometer pro Stunde begrenzt. In Zukunft soll nach und nach die Geschwindigkeit für autonomes Fahren angehoben werden. So liegt ein Gesetzesentwurf für 25 Kilometer pro Stunde bereits vor, aber mit hohen Anforderungen. Dieses Beispiel ähnelt unserem Lego-Roboter[7].

III. KONSTRUKTION UND FUNKTIONSWEISE DES ROBOTERS

Der autonom fahrende Lego-Roboter sieht wie folgt aus (siehe Abbildung 1).

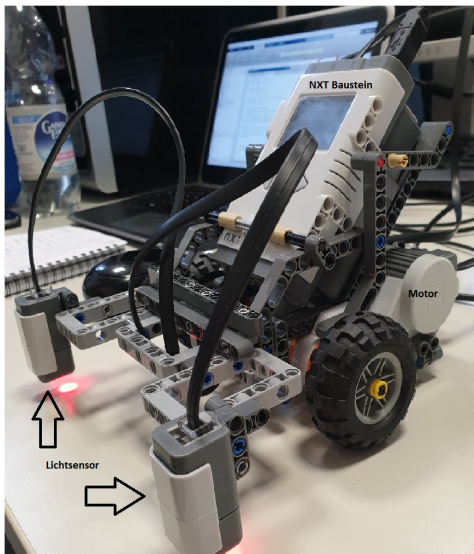


Abbildung 1. Lego Roboter

Der erste Roboter wurde nach einem Beispiel aus dem Lego-Mindstorms Baukasten nach gebaut. Man stellte schnell fest, dass der Grundaufbau des dreirädrigen Vehikels ausreichend für unser Vorhaben war, aber der Aufbau modifiziert werden musste. So fiel der Entschluss, die Aufhängung für die Räder in Kombination mit den zwei Motoren, die jeweils links und rechts an der Achse zum Rad befestigt wurden, beizubehalten. Ein drittes, kleineres Rad befindet sich hinten, welches frei beweglich ist und so das Fahren in Kurven vereinfacht. Anschließend wurde an das Chassis, eine vorn überstehende Konstruktion angefügt, um die zwei Lichtsensoren

in Position zu bringen. Nach einigen Versuchen musste die Position korrigiert werden, da der Lenkradius zu groß war und dadurch gelegentlich Abstürze von der Tischplatte erfolgten. Zusätzlich hat eine Kippfunktion der Lichtsensoren nach vorn für mehr Spielraum und früheres Erkennen der Kanten gesorgt. Der NXT-Baustein ist zentral über der Hauptachse angebracht, um eine optimale Gewichtsverteilung zu garantieren. Für den Fall, dass der Roboter rückwärts fahren muss, hat er einen Ultraschallsensor hinter dem NXT erhalten. Diese Modifikation war nötig, damit der Roboter nicht wie bei früheren Versuchen beliebig weit nach hinten fuhr und dadurch teilweise von der Tischkante fiel oder an Gegenstände stieß. Zum Starten und Beenden des Roboters ist ein Tastsensor verwendet worden, der durch einmaliges Drücken den Roboter in einen Start-Modus versetzt. Drückt man den Taster erneut, kalibriert der Roboter seine Sensoren auf die Unterlage und fährt anschließend los.

A. Algorithmus zur Fahroutine:

Die Fahroutine wird mit einer while-Schleife realisiert. Hierbei werden die Quellcodes in eckigen Klammern angegeben. (Es handelt sich bei dem Zeichen: „-“ um einen Bindestrich.)

$$[\text{while} ((d - \text{delta} - \text{light}_1 < 500) | (d - \text{delta} - \text{light}_2 < 500))]$$
 (Für Werte unter 500 bleibt der Roboter in der Schleife und fährt.)

Falls ein Sprung zwischen zwei Werten über 500 auftritt, führt das zum Abbruch der Schleife und der Roboter bleibt stehen. Dieses Ereignis tritt bei einer Kante oder plötzlich auftretenden Lichtwechsel ein. Bleibt die Änderungsrate zwischen den Werten unterhalb der Grenze von 500, so läuft der Algorithmus weiter.

[Kalibrierte Linken (L_1) Sensormit Rechten (L_2) Sensor]
 durch Mittlung von 500 Einzelmessungen
 $[\text{lightValCount} = 500]$

$[L_1 \text{cal} = \text{mean}(\text{getlight}(\text{Sensor}_1, \text{lightValCount}))]$
 $[L_2 \text{cal} = \text{mean}(\text{getlight}(\text{Sensor}_2, \text{lightValCount}))]$

Bei der Kalibrierung speichert der NXT ein Delta aus 500 Messwerten, das man als Vergleichswert nimmt. Dabei wird eine 1x2 Matrix (mit Startwert [0 0]) angelegt, in der die aktuell aufgenommenen Sensor-Lichtwerte in Bezug auf den Kalibrierungswert gespeichert werden. Später wird die absolute Helligkeitsänderung (Betrag) gespeichert. Ein Delta-Max wird ebenfalls berechnet - es dient als Hilfsgröße zur Bestimmung der „Motorpower“. Die „Motorpower“ wird normiert und mithilfe einer Konstante berechnet. Die Konstante wurde empirisch ermittelt, auf den Wert „30“, festgelegt und somit das gewünschte Ziel einer flüssigen und konstanten Fahrt erzielt.
 $[\text{const} = 30]$

$[\text{normA} = (\text{Delta-Max} - \text{delta-light}_2(2)) / L_1 \text{cal};]$
 $[\text{normB} = (\text{Delta-Max} - \text{delta-light}_1(2)) / L_2 \text{cal};]$

Der oben genannte Ausdruck normiert den jeweils gegenüberliegenden Sensorwert auf den Kalibrierungswert. Dies ist wichtig, da die maximale Motorleistung nicht über einen Wert von +100 bzw. -100 (in diesem Fall handelt es sich um ein Minus) liegen kann. Mit dem folgenden Ausdruck wird die endgültige Motorpower berechnet:

$[\text{PowerA} = \text{int}8((\text{normA} * 100) + \text{const});]$
 $[\text{PowerB} = \text{int}8((\text{normB} * 100) + \text{const});]$

Die berechnete Leistung wird auf den jeweiligen Motor übertragen, wodurch sich nachfolgende Szenarien ergeben:

Tabelle I
VERSCHIEDENE SZENARIEN

$\Delta Sensorlinks$	$\Delta Sensorrechts$	Status	Vorgang
< 100	< 100	Oberfläche	vorwärts Fahren (beide Motoren)
> 200	< 100	Kante links	Rechter Motor
< 100	> 200	Kante rechts	Linker Motor
> 200	> 200	Kante vorn	zurück Fahren (beide Motoren)

Hierbei ist zu beachten, dass der linke Sensor den rechten Motor bzw. der rechte Sensor den linken Motor steuert. Der Lichtsensor erkennt Grauwerte, das heißt die Farben weiß bis schwarz. Wenn die Sensoren weiß erkennen, sind die Delta-Werte der Sensoren unter dem Wert 100 und dementsprechend steuern sie die Leistung zu den Motoren für das Vorwärtsfahren. Wird der Delta-Wert größer, erkennt der Sensor grau oder schwarz. Daraus folgt, dass der Sensor eine Kante gefunden hat und die Leistung am Motor reduziert werden muss, damit eine Kurve gefahren wird. Ein Beispiel: Erkennen die Sensoren weiß, befindet sich der Roboter auf der Oberfläche und fährt gerade aus. Kommt es zu einer Änderung des Delta-Wertes beim linken Sensor, reduziert der Algorithmus die Motorleistung beim rechten Motor, wodurch der linke Motor konstante Power hat und eine Kurve nach rechts gefahren wird. Dabei kann der Motor auch rückwärts laufen, umso stärker wird die Lenkbewegung. Auf diese Weise reagiert der Roboter auf Kanten. Für den Fall dass beide Lichtsensoren schwarz erkennt stoppt der Roboter sofort alle Motoren und hält an. Dies tritt an Ecken oder Kanten auf, bei denen der Schwellwert von 500 überschritten wird. Anschließend setzt er zurück und nimmt wieder Fahrt auf, wenn mindestens ein Sensor weiß erkennt. Der Roboter fährt solange bis man den Taster erneut drückt. Dann befindet sich der Roboter wieder im Start-Modus und kann erneut gestartet werden. Hierbei ist es möglich die Messwerte am Computer aus den Matrizen abzurufen und einzusehen, um weitere Analysen durchzuführen. Durch Drücken von etwa zwei Sekunden, wird ein Ton vom NXT abgespielt und der Roboter schaltet sich aus.

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Das Ergebnis ist ein autonom fahrendes Vehikel, das sich frei auf einer Oberfläche bewegen und aus Ecken befreien kann. Wird der Roboter auf einen Tisch gesetzt, so kann der Roboter durch seine Programmierung nicht herunterfallen und damit auch eine Brücke überwinden. Mit diesem Projekt ist es gelungen einen Einstieg in die Elektromobilität im Rahmen der Möglichkeiten von Lego-Mindstroms zu finden. Die ursprüngliche Idee einen Roboter zu bauen, der autonom eine Unterlage abfährt, vermisst und anschließend eine Kurve auf die Unterlage zeichnet, musste früh verworfen werden. Grund dafür war der daraus resultierende komplexe Vorgang, der den zeitlichen Rahmen gesprengt hätte. Die Fokussierung auf das selbständige Fahren ohne Zwischenfälle reduzierte die Komplexität des Projektes. Dennoch ist der Roboter nicht perfekt. In

zehn Prozent aller Fälle kam es zu einem Zwischenfall bei dem z.B. ein Rad über einer Kante stand. Durch Optimierungen im Algorithmus könnte dieses verhindert werden. Eine andere Möglichkeit wäre die Konstruktion zu ändern, sodass es keinen „toten Winkel“ mehr gibt. Obwohl der Roboter sich aus einer Ecke befreien kann, geschieht dies teilweise sehr langsam. Der Roboter benötigt viele Versuche, da er nur durch kleine Korrekturen macht, indem er sich dreht, danach kann er die Weiterfahrt aufnehmen. Bisher wurde die Situation immer gelöst, jedoch hat es den Anschein, dass sich das Fahrzeug in einer Endlosschleife befindet. Trotz dieses nicht optimalen Verhaltens funktioniert das Erkennen der Unterlage und Kanten einwandfrei. Die Tests ergaben, dass Störungen der Sensoren durch ungünstige Lichtverhältnisse, schwarze Linien und farblich ungleiche Unterlagen hervorgerufen werden können, die die Funktion des Roboters beeinflussen. Hindernisse sind weiterhin ein Problem, da die maximale Anzahl von vier Sensoren nicht ausreicht, um z.B. einen weiteren Ultraschallsensor zu verwenden. Mit mehr Zeit und unter Verwendung zusätzlicher Sensoren könnte man den Roboter weiter verbessern und die genannten Probleme beheben, indem man eine gewisse Toleranz gegenüber Schwankungen des Lichts und Unterlage programmiert.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Im Rahmen des Lego-Projektes ist ein autonom fahrendes Vehikel gelungen, dessen Basisfunktionen sehr realitätsnah sind. Dennoch ist dieser Roboter ungeeignet für den realen Betrieb. Grund dafür sind die begrenzten sensorischen Möglichkeiten und die Ungenauigkeiten im programmierten Algorithmus. Dennoch erfüllt der Roboter die Zielsetzungen dieses Projektes und ist ein gelungener Einstieg in den Bereich des autonomen Fahrens. Der Roboter ist in der Lage frei und autonom auf der Oberfläche zu fahren. Er erkennt Kanten und kann auf sie reagieren, damit er zum Beispiel nicht von einem Tisch herunter fällt. Situationen wie eine Brücke überwinden oder sich aus einer Ecke befreien gehören zu seinen Hauptfunktionen. Hierbei kommt es in einem von zehn Versuchen zu einem Fehler. Die Ungenauigkeiten der Lego-Bauteile führen teilweise zum Abbruch der Fahrt oder scheinbare Endlosschleifen in Ecken. Daher ist die Konstruktion noch verbesserungswürdig, indem man durch zusätzliche und leistungsstärkere Sensoren die Trägheit der Motoren reduziert und die toten Winkel vermeidet. Der Algorithmus könnte in seinen Details weiter angepasst werden. Dies war leider durch die geringe Zeit während des Projektes nicht mehr möglich. Eine realisierbare Erweiterung des autonomen Roboters ist ihn mit einem Staubsauger und Auffangbehälter auszurüsten. Damit wird der Roboter zum Staubsaugerroboter erweitert. Ein neuer Algorithmus müsste entwickelt werden, damit ein effizientes Säubern des Raumes erreicht wird. Die Ausstattung mit weiteren Sensoren für einen 360 Grad Blick könnte das Niveau des Roboters auf bereits entwickelten autonomen Staubsauger anheben. Heutzutage müsste der Roboter zusätzlich noch Internet Zugang erhalten, damit er mit Sprachsteuersystemen, wie zum Beispiel mit Alexa, kommunizieren und ferngesteuert werden kann. Eine dazugehörige App könnte dem Nutzer einen Überblick über

die Reinigungsdauer und den gesäuberten Bereich geben. Es ist wichtig sich mit dem autonomen Fahren auseinanderzusetzen, denn der technologische Fortschritt ist rasant. Bereits in ein paar Jahren sollen autonome Fahrzeuge zum Alltag gehören und den „Lifestyle“ der Städte und sogar auf dem Land verbessern. Sei es der Transport von Gütern mit selbstfahrenden LKWs oder die Beförderung von Menschen mithilfe intelligenter Busse zum gewünschten Ziel. Diese neue Innovation wird selbst im privaten Besitz eine Rolle spielen. Ein Zeichen von Luxus der künstlichen Intelligenz das Fahren zu überlassen und sich selber anderen Dingen zu Widmen.

A. Verweis auf Literaturquellen

[1] Teslamag, Elon Musk über die Zukunft nicht-autonomer fahrzeuge: <https://teslamag.de/news/elon-musk-zukunft-fahrzeuge-als-5365>, Version: 04. November 2015;

[2] DStatis, Statistisches Bundesamt zur Unfallentwicklung auf deutschen Strassen 2017 https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressekonferenzen/2018/verkehrsunfaelle_2017/Pressebrochuere_unfallentwicklung.pdf?__blob=publicationFile; Stand : 2018

[3] MDR, Standder Forschung zum Autonomen Fahren in Deutschland <https://www.mdr.de/nachrichten/vermischtes/forschung-automatisiertes-fahren100.html>, Version : 01. April 2018;

[4] ADAC, autonome Roboter zuverlässiger als Menschen <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autonomes-fahren/technik-vernetzung/aktuelle-technik/> Stand: 20.12.2018

[5] gdv, Teststrecken in Deutschland <https://www.gdv.de/de/themen/news/diese-staedte-und-regionen-werden-2018-zu-teststrecken-25874> Stand: 02.11.2017

[6] Bundesministerium für Forschung und Bildung, Förderung automatisiertes fahren <https://www.bmbf.de/de/automatisiertes-fahren-4158.html> Stand: 2019

[7] Deutsche Bahn, Bad Birnbach EZ10 https://www.deutschebahn.com/de/Digitalisierung/autonomes_fahren_neu/Testfeld_Bad_Birnbach-1206846 (nichtmehraktuell) alternativerlink : <https://www.autonomes-fahren.de/neuerungen-beim-shuttleservice-in-bad-birnbach/> Stand : 27. August 2018 [RWTH01] RWTH Aachen, RWTH Mindstroms NXT : <https://www.rwth-aachen.de/go/id/a/?;abgerufen> : 18.02.2019

ANHANG
Überblick über Aufbau des Roboters

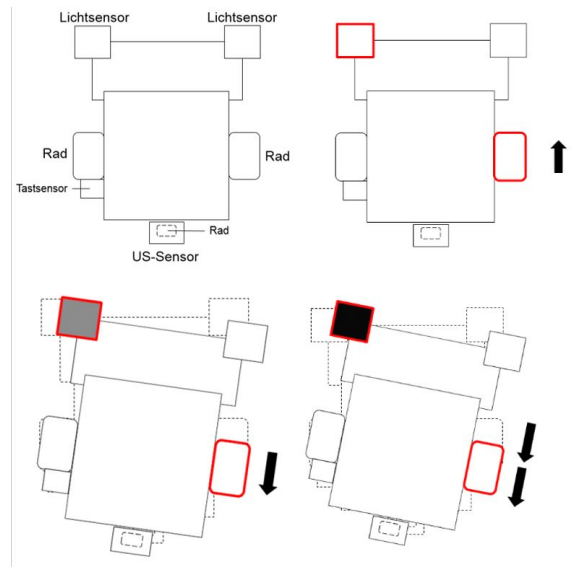


Abbildung 2. Veranschaulichung der Funktionsweise