

# LABrat – Ein Roboter, der weiß, wo es langgeht

Nils-Aaron Hildebrandt, Elektrotechnik und Informationstechnik  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

**Zusammenfassung**—Dieses Paper beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Fahrzeugs, das durch motorbetriebene Omni-Wheels in alle Richtungen fahren konnte. Durch den Einsatz von Ultraschallsensoren und Anwendung eines geeigneten Algorithmus wurde das eigenständige Finden des Ausgangs eines Labyrinths gewährleistet. Zur Realisierung dieses Projekts stand ein LEGO-Bausatz und MATLAB als Programmiersprache zur Verfügung.

**Schlagwörter**—Automatisierung, Hinderniserkennung, Labyrinth, Omni-Wheels, Wegfindung

## I. EINLEITUNG

IN unserer heutigen globalen Welt werden sämtliche Lebensbereiche immer stärker vernetzt, technisiert, digitalisiert oder sogar automatisiert. Auch im Bereich der Automobilindustrie ist dieser Trend längst angekommen und es wird aktiv geforscht und entwickelt, um Fahrzeuge intelligenter zu gestalten. Seien es klimatechnische Faktoren, sicherheitsrelevante Aspekte oder schlichtweg der Komfort des Fahrzeugführers — in all diesen Bereichen soll der Mensch durch aktive Entscheidungen von verschiedensten Systemen unterstützt werden. Vor allem im Bereich des klassischen Pkw ist auffällig, wie die Themen Assistenzsysteme und autonomes Fahren in den letzten Jahren bis heute an Popularität dazugewonnen haben. Solche intelligenten Fahrzeuge bevölkern zunehmend unsere Straßen und die Grenzen menschlicher und maschineller Intelligenz verschwimmen untereinander.

Die Entwicklung von Systemen, die eigenständig aktive Entscheidungen treffen, steht im Mittelpunkt der Interessen. Es muss sichergestellt werden, dass unter allen Umständen, seien sie noch so minimal, das Fahrzeug stets richtig handelt und der allgemeine Straßenverkehr nicht behindert oder sogar gefährdet wird. Das Leib und Wohl von Mensch, Tier und Natur muss gewahrt werden. Demnach ist akribisches, fehlerfreies Kreieren und Testen solcher Systeme von allerhöchster Relevanz. Werden solche Systeme als zuverlässig eingestuft, so kann der Straßenverkehr sicherer, effizienter und sogar nachhaltiger gestaltet werden, wovon letztendlich alle profitieren. Aus der Tatsache heraus, dass intelligente und autonome Fahrzeugsysteme die Zukunft sind, entstand die Idee ein Fahrzeug zu erschaffen, das selbstständig Hindernisse erkennt und eigenständig entscheidet, wie diese Hindernisse umgangen werden können.

## II. VORBETRACHTUNGEN

Hinderniserkennung ist bereits in zahlreichen Automodellen verschiedenster Hersteller vorhanden. Dabei wird nicht eine einzige Methode verwendet. Vielmehr ist es ein Zusammenspiel aus verschiedensten Assistenzsystemen. So wird die Ultraschallsensorik vor allem für die Hinderniserkennung im Nahbereich

verwendet. Hierbei ist das prominenteste Beispiel das Einpark-Assistenzsystem mit Ultraschallsensoren an der Front und am Heck des Fahrzeugs. Beispiele können bei BMW [1] oder Audi [2] gefunden werden.

### A. Welche Funktionen musste das Fahrzeug beherrschen?

Grundsätzlich musste das Fahrzeug in der Lage sein, sich fortzubewegen. Dabei lag das Augenmerk auf eine Vorwärts-, Rückwärts- und Seitwärtsbewegung, da das Labyrinth so konzipiert wurde, dass sich alle Gänge im rechten Winkel zueinander befanden. Doch eine reine Bewegungsimplementation war nicht ausreichend. Es war wichtig, dass das Fahrzeug auch bei bestimmten Bedingungen überhaupt anhält und dass dies auch rechtzeitig geschah. Um dies zu gewährleisten, war es erforderlich, dass Hindernisse erfolgreich als solche registriert wurden. Nach erfolgreicher Erkennung der Hindernisse musste eine Logik vorherrschend sein, die entschied, wie und wohin das Fahrzeug als Nächstes fahren sollte.

### B. Welche Komponenten wurden dafür benötigt?

Für die Realisierung des Projekts stand ein LEGO-Bausatz zur Verfügung, der sämtliche Komponenten der Konstruktion beinhaltete. Dabei waren einige Bauelemente von besonderer Bedeutung. Das Herzstück der Konstruktion ist der Steuercomputer, der das Ansteuern weiterer Komponenten ermöglichte. Zu Beginn wurde ein NXT-Baustein verwendet, der im weiteren Verlauf durch einen EV3-Baustein ersetzt wurde. An diesen Baustein waren insgesamt vier Motoren und vier Ultraschallsensoren angeschlossen. Die Sensorik diente der Hinderniserkennung, bei der permanent ein Ultraschallsignal gesendet und dessen Reflexion an der Oberfläche eines Hindernisses detektiert wurde.

Die vier Motoren dienten als Antrieb für die vier verwendeten Räder. Dadurch wurde gewährleistet, dass alle vier Räder gleichermaßen von der Software angesprochen werden konnten. Bei den Rädern handelte es sich um eine besondere Version. Hier wurden sogenannte Omni-Wheels verwendet. Dies waren Räder, bei denen die Lauffläche teilweise mit Rollen ausgestattet war, deren Drehachsen im rechten Winkel zur Drehachse des jeweiligen Hauptrades liegen. Dadurch konnte seitlich gefahren werden, ohne eine Lenkbewegung auszuführen. Sämtliche Bauteile wurden durch vielfache LEGO-Bausteine miteinander verbunden, sodass ein stabiles Gesamtkonstrukt entstand. Neben der Hardware bedarf es auch an Software, was durch die Verwendung eines selbstgeschriebenen MATLAB-Programmes sichergestellt wurde. In diesem Programm befand sich sämtliche Logik, die zur Ansteuerung der Baukomponenten benötigt wurde.

### III. ENTWICKLUNGSPROZESS

Der Entwicklungsprozess ließ sich in zwei große Bereiche einteilen: Das Bauen eines geeigneten Konstrukts und das Etablieren eines funktionalen MATLAB-Codes, um sämtliche Funktionen zu erfüllen und zu testen. Zum Thema der Konstruktion lassen sich drei Phasen einteilen. Innerhalb jeder Phase existierte ein mehr oder weniger brauchbarer Prototyp.

#### A. Konstruktion 1

Um ein Fahrzeug zu bauen, das eigenständig den Ausgang eines Labyrinths findet, war eine stabile Konstruktion der Ausgangspunkt des Erfolgs. Die Grundidee bestand darin, das Fahrzeug eher in die Höhe statt in die Breite zu bauen, da sonst das Labyrinth mit zunehmender Breite des Fahrzeuges größer dimensioniert werden musste. Das Kernelement war der NXT-Baustein als Steuercomputer. An der Längs- und an der Querseite des Bausteines wurde jeweils ein Motor angebracht. Die Motoren waren so ausgerichtet, dass deren Drehachse sich unterhalb des NXT-Bausteines befanden. Jeder Motor sollte jeweils 2 Omni-Wheels über je eine verlängerte Achse antreiben. Diese Vorstellung stellte sich recht schnell als eine unpraktische Lösung heraus. Aufgrund der Verwendung von nur zwei Motoren wurde eine ungleichmäßige Lastverteilung und damit Stabilitätseinbußen vorprogrammiert. Ebenfalls kollidierten die Radachsen miteinander, da sich die Räder aller auf gleicher Höhe befanden sollten. Dahingehend wurde dieser Konstruktionsversuch schnell verworfen.

#### B. Konstruktion 2

Nach den Erkenntnissen der ersten Konstruktion konnten Verbesserungen an der zweiten vorgenommen werden. Die Motoren wurden weiterhin nach unten ausgerichtet. Am NXT-Baustein wurden zwei Motoren an der Längsseite und ein Motor an der Querseite am Heck angebracht. Jeder Motor trieb ein Omni-Wheel an (siehe Abb. 1). Aufgrund des dritten Motors und des dritten Rades konnte die Lastverteilung deutlich verbessert werden. Allerdings wurden horizontale Kräfte beim Vorwärts- bzw. Rückwärtsfahren festgestellt. Wegen der Trägheit der seitlichen Motoren verschoben sich diese beim Vorwärts- bzw. Rückwärtsfahren in die entsprechende entgegengesetzte Richtung. Beim hinteren Motor trat das Phänomen beim seitlichen Fahren auf.

Während die an der Längsflanke angebrachten Motoren stabilisiert werden konnten, gestaltete sich dies beim hinteren Motor problematisch. Die auftretenden horizontalen Kräfte konnten nicht vollständig unterbunden werden. Allerdings waren rudimentäre Fahrttests mit dem Testen der Vorwärts- und Rückwärtsbewegung erfolgreich. Ein weiteres Problem führte zur Beendigung der weiteren Entwicklung an der zweiten Revision der LABrat. Zwischen den drei Motoren-Radkombinationen konnte keine gemeinsame Drehachse hergestellt werden. Baubedingt gestaltete es sich äußerst schwer, alle Motoren symmetrisch zueinander auszurichten. Das Resultat waren ungewollte Lenkbewegungen beim seitlichen Fahren.

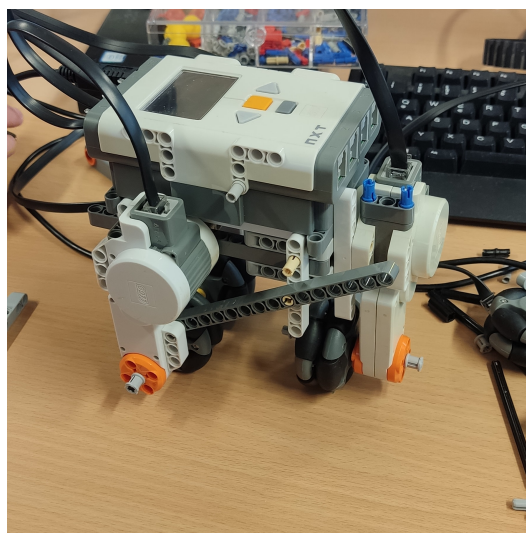


Abbildung 1. Konstruktion 2 – LABrat mit drei Motoren & 3 Rädern

#### C. Konstruktion 3

Mit der dritten Revision der LABrat wurde der finale Prototyp fertiggestellt. Allerdings musste der NXT-Baustein durch einen EV3-Baustein ersetzt werden. Der Vorteil bestand darin, dass nun vier Motoren und dadurch vier Räder angesteuert werden konnten. Infolgedessen wurde eine Stützkonstruktion entwickelt, auf die der EV3-Steuercomputer sich anbringen ließ. An dieser Stützkonstruktion wurden sämtliche Motoren befestigt und so ausgerichtet, dass deren Drehachsen sich unterhalb des EV3 befanden. Jeder Motor wurde mit einem passenden Omni-Wheel bestückt. Das Stützkonstrukt diente als eine Art Chassis und stabilisierte die Gesamtkonstruktion zu einem gewissen Grad und bot verschiedene Anknüpfungspunkte für weitere Komponenten.

Die Motoren waren versetzt zueinander orientiert. Dies bedeutet, dass zwei Räder parallel zur Längsseite und zwei Räder parallel zur Querseite des EV3-Steuercomputers ausgerichtet waren. Trotz der versetzten Orientierung wurden die Motoren symmetrisch zueinander aufgebaut (siehe Abb. 2). Dadurch entstand eine gemeinsame Drehachse für alle Motoren-Radkombinationen. Ungewollte Lenkbewegungen wurden dadurch verhindert und das Fahren in allen relevanten Richtungen erfolgte deutlich besser als bei den vorherigen Konstruktionen.

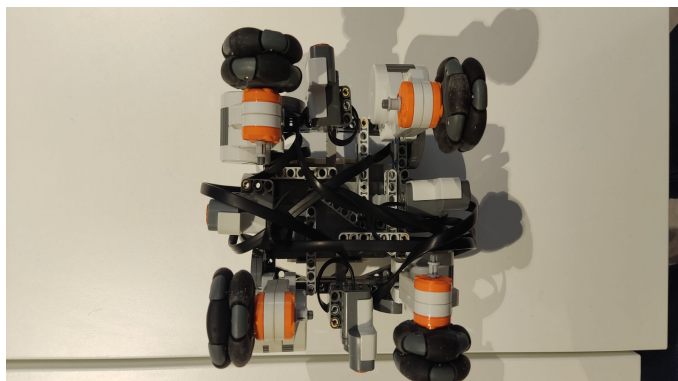


Abbildung 2. Unterseite des Fahrzeuges mit symmetrischer Motorenanordnung

Die Verwendung des EV3-Bausteines verlangte eine Anpassung des bereits geschriebenen Codes, da hier die Programmierung objektorientiert erfolgte. Dies stellte aber keine großen Probleme dar und das Fahren konnte erfolgreich getestet werden. Es folgte das Anbringen der vier Ultraschallsensoren, wobei je zwei an der Längs- und Querseite mittig angebracht wurden. Auch hier waren erste Funktionstests erfolgreich. Durch die Fertigstellung des Prototyps (siehe Abb. 3) verschob sich die Konzentration auf das Verfeinern des MATLAB-Codes. Bereits während der Entwicklung der finalen Konstruktion wurden immer wieder Funktionstests durchgeführt und der aus den vorherigen Revisionen geschriebene Code an das EV3-konforme Format adaptiert.

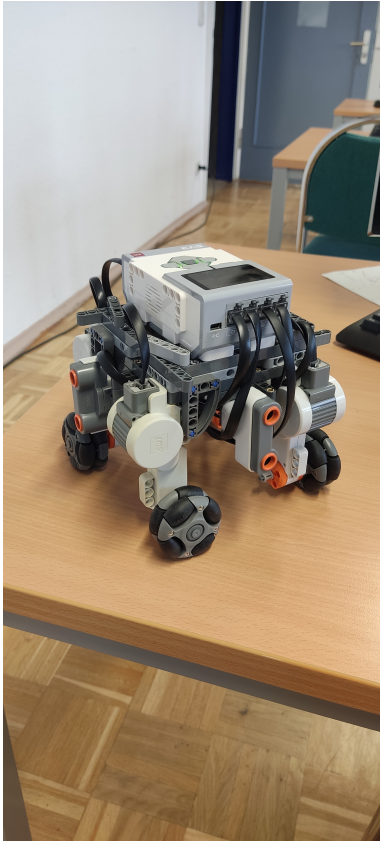


Abbildung 3. Konstruktion 3 – Finaler Prototyp der LABrat

#### D. Funktionsweise

Mithilfe von MATLAB konnten die angedachten Fahrzeugfunktionen umgesetzt werden. In Abb. 4 ist der Programmablauf des Fahrzeugs vereinfacht dargestellt. Zu Beginn befand sich das Fahrzeug bereits im Labyrinth. Das Ziel war es, den einzigen Ausgang dieses Labyrinths zu finden. Die Grundidee war, dass das Fahrzeug sich stets an der rechten Wand orientierte. Denn unter dieser Bedingung war der Ausgang des Labyrinths stets auffindbar, auch wenn dieser Algorithmus recht rudimentär wirkte. Die ausgestatteten Ultraschallsensoren sendeten kontinuierlich ein Signal aus, welches reflektiert und wieder vom Fahrzeug erfasst wurde. Somit wurde permanent die Entfernung zu potenziellen Hindernissen gemessen und diese ausgewertet. Konkret bedeutete dies, dass nach der Initialisierung des Programms alle Sensoren abgefragt

wurden. Die Kunst bestand darin, passende Distanzwerte in das Programm als Referenz einzupflegen, damit das Fahrzeug adäquat auf die Gegebenheiten im Labyrinth reagieren konnte. Wurden die Schwellenwerte für die Distanzen zu einem Hindernis zu groß gewählt, so blieb das Fahrzeug zu weit von den Labyrinthwänden entfernt und erkannte möglicherweise andere potenzielle Labyrinthgänge nicht eindeutig. Kleinere Schwellenwerte hatten zur Folge, dass das Fahrzeug gegen die Hindernisse fuhr, da zu spät auf diese reagiert und abgebremst wurde.

Nach erfolgreicher Abfrage aller Sensoren und beim Unterschreiten eines kritischen Schwellenwertes der Distanz war dem Fahrzeug bekannt, dass eine unmittelbare Kollision mit einem Hindernis drohte. Infolgedessen wurden alle Motoren gestoppt. Wurde der Schwellenwert nicht unterschritten, so blieben die Motoren intakt. Danach erfolgte eine Überprüfung auf Parallelität bezogen auf die Labyrinthwände. Dies geschah über eine Differenzberechnung zwischen dem letzten und dem aktuellen Abstandswert der seitlichen Ultraschallsensoren. Trat eine Differenz auf, so wurden die Motoren gestoppt, falls dies noch nicht geschehen war. Die LABrat drehte sich nachfolgend geringfügig. Die Ursache liegt darin begründet, dass trotz des Fahrens in geraden Richtungen manchmal ein unwillkürlicher Drift seitwärts auftreten konnte. Um dem entgegenzuwirken und um das Fahrzeug parallel zu den Wänden auszurichten, wurde diese minimale Drehung implementiert.

Im weiteren Verlauf wurde die optimale Fahrtrichtung neu berechnet. Dies war relevant, um auf neu auftretende Abzweigungen reagieren zu können. Die Grundannahme, dass das Fahrzeug sich rechts halten sollte, bedeutete, dass nur neu hinzukommende Gänge rechts vom Fahrzeug das Fahrverhalten beeinflussten. In solchen Fällen musste das Fahrzeug vor dem Richtungswechsel eine kurze Strecke geradeaus fahren. Durch die mittig am Fahrzeug angebrachte Sensorik hätte ein plötzlicher Richtungswechsel dazu führen können, dass der hintere Teil des Fahrzeugs gegen eine Wand gestoßen wäre. Um dies zu verhindern, wurde eine Retentionszeit eingepflegt, die dafür sorgte, dass das Stoppen der Motoren etwas verzögerte. Nach einem Richtungswechsel befand sich das Fahrzeug noch in der Kreuzung und die vorhandene Ausrichtung entsprach der neuen Fahrtrichtung. Das hatte wiederum zur Folge, dass ein weiterer ungewollter Richtungswechsel unterbunden werden musste, bis das Fahrzeug sich aus der Kreuzung entfernt hatte. Potenziell musste das Fahrzeug inzwischen die Motoren neu konfigurieren, da sich die Richtung des Fahrzeugs leicht ändern hätte können (leichter Drift möglich).

Auch ein Neustart der Motoren war durchaus möglich, sofern sie vorher gestoppt wurden. Bei aktiven Motoren wurden diese gestoppt, neu konfiguriert und erneut gestartet. Um unnötige Start- und Stoppvorgänge zu minimieren und damit das Risiko von unerwünschten Drehungen zu reduzieren, waren die Motoren so eingestellt, dass sie bis zum Erreichen eines Stoppsignals weiter drehten. Aus diesem Grund wurden die Motoren synchron gestartet. Durch die Neuberechnung der Richtung in jedem Schleifen-Durchlauf fuhr das Fahrzeug stets in die optimale Richtung. Die Schleife wurde so lange iteriert, bis der Ausgang des Labyrinths gefunden wurde. Nach der Flucht aus dem Labyrinth konnte die LABrat inaktiviert werden.

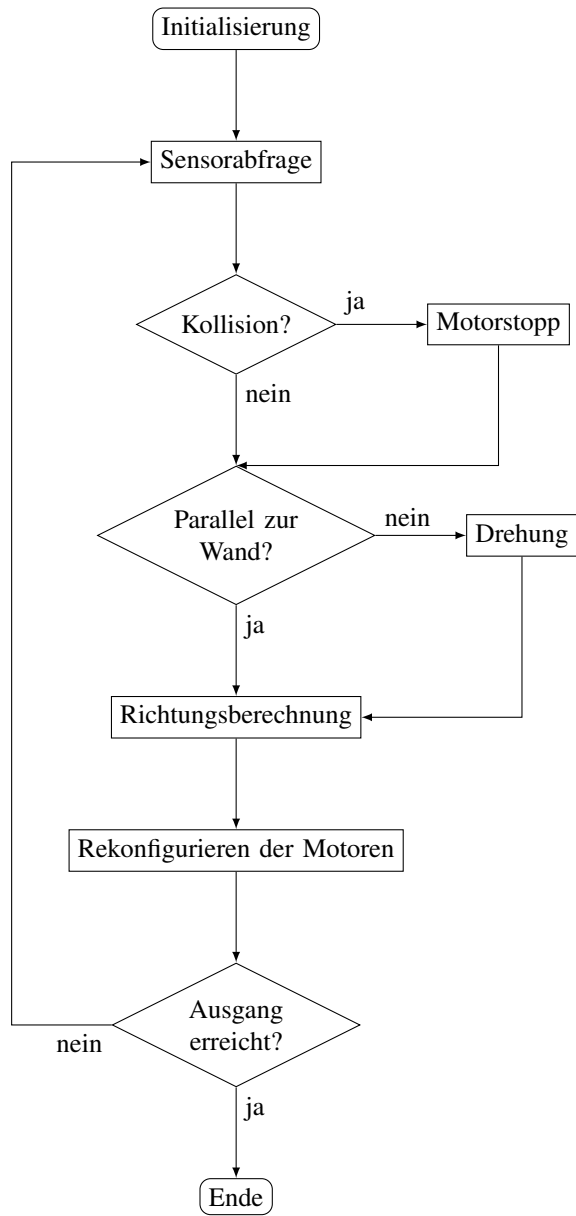


Abbildung 4. Programmablaufplan des finalen Prototyps

#### IV. ERGEBNISDISKUSSION

Es zeigt sich, dass das konzipierte Fahrzeug grundsätzlich funktionierte. Die Bewegung als auch der Auswahlalgorithmus wurden im Kern so ausgeführt, wie es angedacht war. Allerdings gab es Probleme bei der Skalierung. In einem kleinen Maßstab funktionierte das Fahrzeug häufig zuverlässig, allerdings traten Komplikationen auf, je größer das Labyrinth gestaltet war. Es ließen sich drei Problemstellen feststellen. Die erste ist die Umgebung. Es konnte nicht vollständig kalkuliert werden, wie sich die Bodenbeschaffenheit auf das Fahrverhalten ausübte. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass dieses Problem im Vergleich zu den anderen beiden vermutlich eher marginaler Natur war.

Das zweite Problem war die Konstruktion und die LEGO-Bausteine insgesamt. Es kann festgehalten werden, dass horizontale Kräfte auf das Fahrzeug wirkten, wenn dieses sich vorwärts, rückwärts oder seitwärts bewegte. Diese Kraft wirkte natürlich auch auf die nach unten gerichteten Motoren, die sich wiederum aufgrund ihrer Trägheit ein wenig in die entgegengesetzte Fahrtrichtung verschoben hatten. Dadurch kam es zu ungewollten Bewegungen des Fahrzeuges. So entstand ein Drift nach links oder rechts, wenn das Fahrzeug nur geradeaus fahren sollte.

Das dritte Problem waren die toten Winkel der vier Ultraschallsensoren. Diese waren im rechten Winkel zueinander angeordnet. Das bedeutete aber auch, dass zwischen zwei Ultraschallsensoren ein Raum entstand, der nicht aktiv gemessen wurde. Befand sich dort ein Objekt und wich das Fahrzeug leicht von seinem Kurs ab, konnten Kollisionen entstehen, die nicht auftreten sollten.

#### V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Es lässt sich zusammenfassen, dass mithilfe von LEGO und MATLAB kreative Projekte ermöglicht werden können. Die Idee, ein Fahrzeug zu entwickeln, welches selbstständig einen bestimmten Weg abfährt, kann verwirklicht werden. Eigenschaften wie Fahren, Hinderniserkennung und die Implementation eines Algorithmus lassen sich gut in der Realität umsetzen. Es kann festgehalten werden, dass ein Projekt stets mit einem Konzept angegangen werden sollte, bei dem zu Beginn im kleinen Maßstab gearbeitet wird und dann ein Hochskalieren erfolgen kann. Konkret bedeutet das für die LABrat, dass die Konstruktion nochmals genauer betrachtet werden muss, um die Stabilität des Fahrzeuges auf ein neues Niveau zu heben. Auch müsste überlegt werden, wie mit den toten Winkeln zwischen den Ultraschallsensoren verfahren werden kann. Mehr als vier Ultraschallsensoren sind aufgrund der EV3-Bauweise nicht möglich. Vielleicht wäre ein anderer Ansatz eine optische Erkennung von Objekten und Hindernissen mithilfe einer Kamera. Ferner muss bedacht werden, dass das Fahrzeug lediglich Anweisungen erledigte. Der LABrat war nicht bekannt, wo sie sich im Labyrinth befand. Wenn eine Art Kartografierung etabliert werden kann, dann wäre das Durchfahren des Labyrinths vermutlich deutlich weniger fehleranfällig.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] BMW: *Sensoren in Autos: Sinnesorgane der Assistenz-Systeme*. 2021. – <https://www.bmw.com/de/innovation/sensoren-im-auto.html> zuletzt aufgerufen am 23. Februar 2024, 19:54
- [2] AUDI: *Fahrerassistenzsysteme: Audi Q3 Sportback*. 2019. – <https://t1p.de/ngofo> zuletzt aufgerufen am 23. Februar 2024, 19:54