

# Bau und Programmierung des autonomen Aufräumroboters „BERT“

Phillip Schulz, Elektro - und Informationstechnik  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

**Zusammenfassung**—Autonome Roboter bestimmen unseren Alltag immer mehr. Im Haushalt erledigen sie vor allem Aufgaben, die für den Menschen sehr zeitintensiv und eintönig sind. Daher wurde im Rahmen des Projektseminars Elektrotechnik / Informationstechnik (LEGO Mindstorms) ein LEGO Roboter konstruiert und programmiert, welcher mit Hilfe eines Greifarms und Greifers Objekte aufnimmt und zu einem bestimmten Ziel transportiert. Die Erkennung der Objekte erfolgte auf Grund deren Farbe. Dazu wurde eine Webcam verwendet und dessen Bild so bearbeitet, dass das Programm erkennt, wo sich das farbige Objekt im Bild befindet und wie groß seine scheinbare Größe ist. Dies ermöglicht eine präzise Ansteuerung an das Objekt.

In diesem Paper wird die Konstruktion und schwerpunktmäßig die Programmierung dieses Roboters dargestellt und erläutert. Es wird dabei auch auf die Farberkennung des Roboters eingegangen.

**Schlagwörter**—Autonomisierung, Differenziallenkung, Farberkennung, Greifarm, Kettenfahrzeug, Webcam

## I. EINLEITUNG

**A**UTONOME Roboter werden mehr und mehr Bestandteil unseres Lebens. Sie sind unter anderen in der Industrie, im Militär oder im Haushalt anzutreffen. Dabei übernehmen sie Aufgaben, die für Menschen zu gefährlich oder einfach zu anstrengend oder zeitaufwändig sind. Im Haushalt werden sie vor allem eingesetzt, um Menschen die Arbeit abzunehmen. Das erhöht die Lebensqualität, da erheblich viel Zeit eingespart werden kann, um sinnvolleren Tätigkeiten nachgehen zu können. Besonders Staubsaugroboter oder rasenmähende Roboter sind hier zu nennen.

Als eine weitere zeitaufwändige Aufgabe im Haushalt ist auch das Aufräumen anzusehen. Es gab schon verschiedene Ansätze, dies durch Roboter zu erledigen, sei es in Filmen, wie Wall - E, wo der gleichnamige Roboter, die von den Menschen verlassene Erde aufräumt oder beispielsweise den Spielzeugroboter Roboscooper, welcher von der Firma Wowwee entwickelt wurde. Dieser kann Kleinobjekte mit seinen Greifarmen hochheben und auf eine Laderampe legen. Doch er ist trotzdem nur als Spielzeug anzusehen, da er nur sehr leichte Objekte, mit einem Gewicht von nicht über 30 Gramm heben kann. Außerdem ist er nicht in der Lage, seine Laderampe wieder selbstständig zu leeren.

Daran angelehnt wollen wir einen Aufräumroboter entwickeln, welcher Bälle aufnehmen kann und diese in einen Behälter legt. Sie können unter anderem für Müll stehen, welcher in einem Müllbehälter gebracht werden soll. Diesen

Roboter wollen wir unter Verwendung von LEGO Mindstorms bauen und mit Matlab programmieren.

## II. VORBETRACHTUNGEN

### A. Additive Farbmischung

Beim additiven Farbmischen kann jede Lichtfarbe in verschiedene Anteile bestimmter Grundfarben, auch Primärvalenzen, zerlegt werden. Nach dem RGB – System sind diese Primärvalenzen Rot, Grün und Blau. Sie sind linear unabhängig. Das heißt, dass keine Farbe durch die Kombination anderer Farben entstehen kann. Durch das additive Mischen entstehen immer hellere Farben. So entsteht aus Grün und Rot Gelb, aus Rot und Blau Violett und aus Blau und Grün Cyan. Weiß ist eine Mischung aus allen 3 Farben in gleichen Anteilen, während Schwarz das Fehlen jeglichen Farbanteil ist.

### B. Bild einer Webcam

Der Film einer Webcam besteht aus vielen hintereinander gezeigten Bildern. Diese Bilder sind in verschiedene Pixel geteilt. Bei der von uns verwendeten waren es 640 x 480 Pixel. Jedem Pixel wird eine Farbe zugeordnet. Diese Farbe wird auf Grundlage der additiven Farbmischung bestimmt. Das heißt für jeden Pixel werden die drei RGB Werte angegeben. Jeder Wert ist eine natürliche Zahl zwischen 0 und 255. Dies ist sinnvoll, da man mit einem Byte Speicherplatz genau 256 verschiedene Zeichen oder Zahlen codieren kann. Mathematisch ist dies als drei überlagerte Matrizen darstellbar, wobei jede Matrix einen Farbwert beinhaltet. Daher gibt die Webcam 3 Farbwertmatrizen an das Programm weiter.

## III. HAUPTTEIL

### A. Bau des LEGO Roboters

Der Roboter wurde auf zwei Kettenblöcken aufgebaut. Jeder dieser Blöcke besteht aus zwei Ketten, die gemeinsam von einem Motor angetrieben werden. Die Nutzung von zwei Ketten pro Kettenblock, also insgesamt vier Ketten, war sinnvoll, um die Stabilität des Roboters zu gewährleisten, da dieser auf Grund der Verwendung von zwei NXT - Einheiten eine erhöhte Masse aufweist. Ein Problem dieser Konstruktion ist es aber, dass die inneren Ketten bei einer Drehung des Roboters langsamer laufen müssten, als die äußeren, da diese einen geringeren Radius zurücklegen müssen. Dies ist nicht realisierbar, so dass es bei Drehungen zu leichten Abweichungen kommen kann.

Die Kettenblöcke wurden darauffolgend miteinander verbunden, indem ein dritter LEGO Mindstorms Motor zwischen

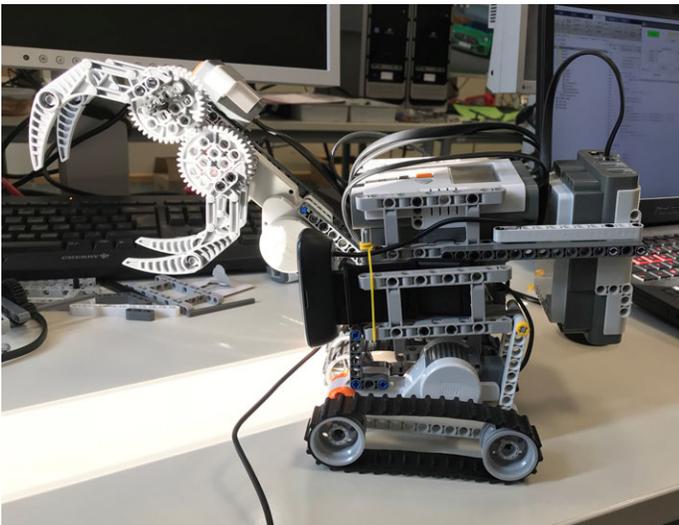


Abbildung 1. Foto des Aufräumroboters "Bert", aufgenommen am 20.02.2018

diesen befestigt wurde. Eine Differentiallenkung ist dadurch möglich, indem sich die Motoren der beiden Kettenblöcke in unterschiedliche Richtungen oder mit unterschiedlicher Geschwindigkeit drehen. Das gewährleistet, dass sich der Roboter um die eigene Achse drehen kann. Der Motor des linken Kettenblockes wird im Folgenden mit Motor A, der des rechten Motorblockes mit Motor B bezeichnet. Über dem Konstrukt mit den beiden Kettenblöcken wurde die erste NXT-Einheit angebracht. Diese ist mit den drei genannten Motoren verbunden.

Der Motor, welcher die beiden Kettenblöcke miteinander verbindet, ist für die Bewegung des Greifarms verantwortlich. Daher wurde der Greifarm an diesem Motor befestigt. Der Greifer ist am Ende des Greifarms, leicht nach links versetzt befestigt. Dieser besteht aus je zwei gegeneinander gestellten Greifzangen, die durch einen weiteren Motor bewegt werden. Dieser Motor ist auch am Greifarm befestigt. Da eine NXT Einheit nur maximal drei Motoren ansteuern kann, wird der Motor des Greifers von einer weiteren NXT Einheit angesteuert, welche hinten am Roboter befestigt wurde. Dies sorgt gleichzeitig für ein Gegengewicht zum Greifarm und damit für mehr Stabilität des Roboters.

Der Aufräumroboter besitzt keine LEGO Mindstorms Sensoren. Dafür eine Logitech C270 Webcam, welche alle Daten für das Programm liefert. Auf Grund der Form der Webcam wurde diese um 90° gedreht angebracht. Durch die Befestigung an der linken Seite ist sichergestellt, dass sich die Webcam genau unter der Greifzange befindet, was es dem Roboter erleichtert ein Zielobjekt exakt anzusteuern.

### B. Farberkennung

Um das Bild der Webcam nutzen zu können, muss es bearbeitet werden. Für den Algorithmus des Roboters (siehe Kapitel Programm des Roboters) sind die Anzahl der gelben bzw. grünen Pixel und der geometrische Mittelpunkt dieser gelb oder grün gefärbten Pixel notwendig.

Da die Auflösung der Webcam 640 x 480 beträgt, haben die Farbmatrizen 640 Spalten und 480 Zeilen. Um zu ermitteln,

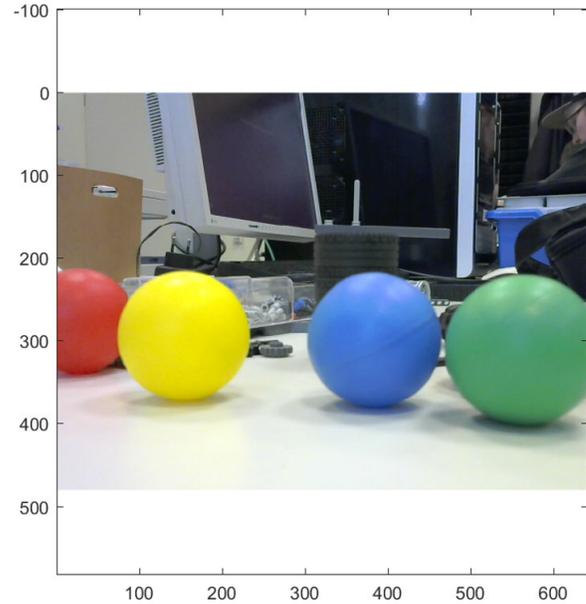


Abbildung 2. Bild der Webcam ohne Farberkennung, aufgenommen am 20.02.2018

welche Pixel gelb sind, müssen die drei Farbwertmatrizen miteinander verglichen werden. Da für die Farbe Gelb laut der additiven Farbmischung die Farbwerte für Rot und Grün deutlich höher sein müssen, als der Farbwert von Blau, wurden die Farbmatrizen der Webcam elementweise verglichen. Da dies elementweise durchgeführt wird, entsteht durch das Vergleichen auch eine 640 x 480 Matrix, gefüllt mit booleschen Werten. Der Wert eins resultiert, wenn der Farbwert für Rot an dieser Stelle größer ist als der um 100 erhöhte Farbwert für Blau, was auch für den Farbwert für Grün an dieser Stelle gelten muss. Ist dies nicht der Fall, beträgt der boolesche Wert an dieser Stelle 0. Der Wert 1 steht dann dafür, dass dieser Pixel gelb ist, der Wert 0 steht für das Gegenteil. Die Addition von 100 zum blauen Farbwert beim Vergleichen sichert, dass dieser deutlich kleiner ist, als die anderen beiden. Durch Ausprobieren wurde ermittelt, dass dies gut geeignet ist, um die Kugel bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen zu erkennen und gleichzeitig deutlich von verschiedenen Hintergründen abzuheben. Um nun die Anzahl der gelben Pixel zu bestimmen, wurde die Summe aus allen Werten der booleschen Matrix gebildet. Die Position des Mittelpunktes der gelben Fläche setzt sich aus der Spalte und der Zeile zusammen, in welcher sich dieser befindet. Um die Spalte des Mittelpunktes zu bestimmen, wurden die Spalten höchster und niedrigster Ordnung herausgesucht, miteinander addiert und durch zwei dividiert. Dasselbe wurde mit den Spalten gemacht, so dass der Mittelpunkt in der resultierenden Spalte und der resultierenden Zeile des Bildes liegt.

Um immer einen hinreichend aktuelle Werte für die Anzahl der farbigen Pixel und die Position des Mittelpunktes zu erhalten, wird dieser Prozess der Farberkennung alle 0.1 Sekunden am aktuellen Webcambild wiederholt.

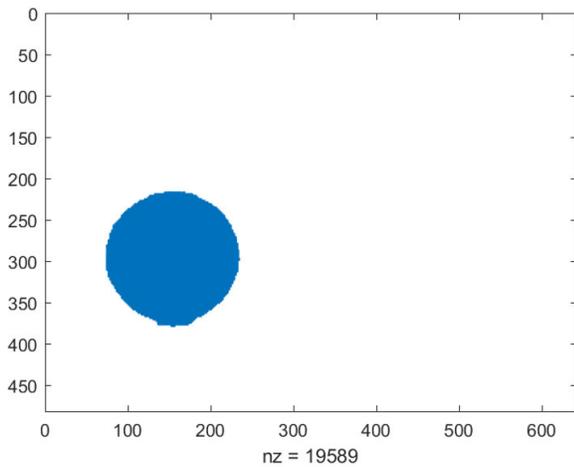


Abbildung 3. vgl. Abbildung 2; Schritt bei der Bildbearbeitung: alle gelben Pixel wurden blau gefärbt; nz entspricht der Anzahl der farbigen Pixel

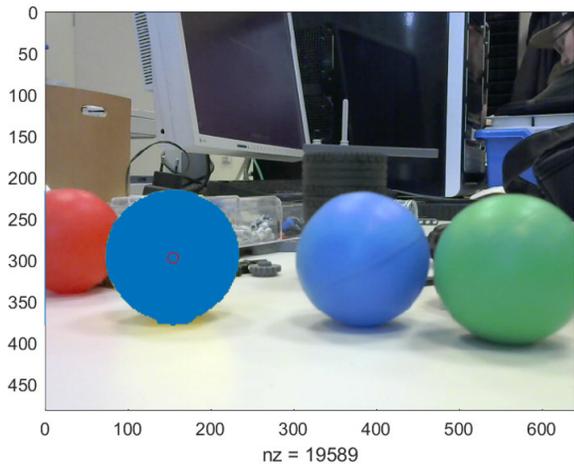


Abbildung 4. vgl. Abbildungen 2 und 3; Resultat nach der Bildbearbeitung: Abbildung 3 wurde auf Abbildung 2 gelegt und der geometrische Mittelpunkt der gefärbten Pixel wurde mit einem roten Kreis markiert

### C. Programm des LEGO Roboters

Ziel des Roboters ist es, ein Objekt auf Grund seiner Farbe zu erkennen, dieses automatisch anzusteuern, aufzunehmen und in ein bestimmtes Ziel zu legen. Alle dazu benötigten Eingabeinformationen erhält er durch die unter dem Greifarm am Roboter befestigten Webcam.

In der Bildbearbeitung werden die Farben gelb und grün herausgefiltert. Das Programm erhält so die Information, welche und wie viele Pixel gelb bzw. grün sind. Zudem berechnet es einen statistischen Mittelpunkt aller gelb bzw. rot gefärbten Pixel. Da die verwendete Webcam eine Auflösung von 640

x 480 Pixel hat und diese um 90° gedreht angebracht wurde, gibt sie den Mittelpunkt der gefärbten Pixel in einer 480 x 640 Matrix an. Mit Hilfe dieser Eingabeinformationen läuft ein Algorithmus ab, durch den der Roboter automatisiert gesteuert wird.

Im ersten Schritt muss sichergestellt werden, dass der Greifarm hochgefahren ist, damit er nicht im Blickfeld der Webcam hängt. Dies wird mit einer Drehung des Greifarmmotors in positive Drehrichtung realisiert. Eine Drehung in positive Drehrichtung erfolgt entgegen des Uhrzeigersinnes, eine Drehung in negative Drehrichtung erfolgt im Uhrzeigersinn.

Darauffolgend scannt der Roboter nach einem gelben Ball, welcher das aufzuräumende Objekt symbolisiert. Dazu dreht er sich rechtsseitig um die eigene Achse, bis die Anzahl der gelb gefärbten Pixel im Bild der Webcam den Wert von 500 überschreitet. Um dies zu realisieren, dreht sich der Motor A mit 20% Leistung in positive Drehrichtung, während sich Motor B mit 20% Leistung in negative Drehrichtung dreht.

Nach Abschluss des Scann – Schrittes beginnt der Schritt der Feinjustierung auf das Ziel. Dazu wird die Position der Mitte der gelben Pixel entlang der horizontalen benötigt, also die Spalte der 480 x 640 Matrix, in welcher sich die Mitte der gelben Pixel befindet. Das Ziel der Feinjustierung ist es, dass sich dieser Mittelpunkt in Spalte 235 bis 245 befindet. Ist dies erreicht, fährt der Roboter zum aufzunehmenden Objekt. Um dieses Ziel zu erreichen, wird immer nach Beendigung jedes Drehschrittes des Roboters geprüft, wo sich der Mittelpunkt befindet. Befindet er sich in einer Spalte geringerer Ordnung als 235, so dreht sich der Roboter nach rechts. Dazu bewegen sich Motor A mit 5% Leistung in positive Drehrichtung und Motor B mit 5% Leistung in negative Drehrichtung. Dies geschieht 0.7 Sekunden lang. Befindet sich der Mittelpunkt in einer Spalte höherer Ordnung, so drehen sich Motoren A und B 0.3 Sekunden lang in die entgegengesetzte Drehrichtung. Also dreht sich der Roboter 0.3 Sekunden nach links. Die Drehzeit in die entgegengesetzte Richtung ist geringer, um zu verhindern, dass sich der Roboter so dreht, dass der Mittelpunkt immer zwischen zu weit links und zu weit rechts hin- und herspringt.

Um zum aufzunehmenden Objekt zu fahren, drehen sich die Motoren A und B mit 41% bzw. 40% Leistung so lange, bis die Anzahl der gelben Pixel größer gleich 50000 ist. Die Rotationsgeschwindigkeit von Motor A ist leicht größer als die von Motor B, da der Roboter konstruktionsbedingt einen leichten Linksdrall hat. Dieser wird durch die stärkere Benutzung von Motor A ausgeglichen. Dieser Linksdrall entsteht durch ein leichtes Übergewicht des Roboters auf der linken Seite, da Webcam und Greifer aus Sicht des Roboters vorne links angebracht sind.

Darauffolgend nimmt der Roboter den Ball auf, in dem er die Greifklaue öffnet, den Greifarm herunterfährt, die Klaue schließt und den Greifarm darauffolgend hochfährt. Dies wird durch kurze Bewegungen der für den Greifarm und der Greifklaue zuständigen Motoren realisiert. Das Schließen der Klaue, sowie das Herunterfahren des Greifers, erfolgt durch Bewegung der Motoren in die entgegengesetzte Richtung wie beim Öffnen des Greifers bzw. Hochfahren des Greifarms.

Der nächste Schritt des Roboters ist es, den Ball zum Ziel zu bringen. Dazu geht er analog zum Aufnehmen des Balles vor.

Das Ziel wurde mit grünen LEGO – Steinen markiert. Daher werden diesmal grüne Objekte angesteuert. Ist der erforderliche Abstand erreicht, öffnet der Roboter die Klaue und dreht sich um 180°, was den Abschluss des Algorithmus entspricht.

#### IV. ERGEBNISDISKUSSION

Das Endergebnis ist ein Kettenfahrzeug mit Greifarm, welches gelbe Bälle automatisiert aufsammeln und in einem grün markierten Behälter ablegen kann. Des Weiteren ist es möglich, den Roboter auf Objekte anderer Farben und Größen, sowie andersfarbige und unterschiedlich große Farbmarkierungen, einzustellen. Doch jeder Änderung der Größe, sowohl des Zielobjektes als auch des Behälters, haben eine längere Einstellung auf diesen zu Folge. Dies ist darin begründet, dass das Programm die Entfernung zum angestrebten Objekt auf Grund dessen relativer Größe bestimmt. Dabei sind aber Größe und Farbe der Objekte nur im bestimmten Rahmen frei wählbar. Die Farben sollten so gewählt werden, dass sie nicht in der näheren Umgebung des Roboters vorkommen. Sonst erkennt die Farberkennung auch diese Objekte als Zielobjekte an, so dass der Roboter sie ansteuert. Gleichzeitig sollten die Farben hell und kräftig sein. Das erleichtert das Erkennen der Farbe durch die Software, da sich solche Farben gewöhnlich stark von der Umgebung abheben. Und auch die Größe der Objekte und Farbmarkierungen muss so gewählt werden, dass sie ausreichend groß sind, so dass sie von der Farberkennung erkannt werden können, aber nicht zu groß für den Greifer sind. Auch zu weite Entfernungen stellen aus zwei Gründen ein Problem für den Roboter dar. Da entfernte Objekte auf Grund der Perspektive kleiner erscheinen, müssen die Zielobjekte eine auch für die Entfernung eine gewisse Größe haben. Doch auch in dem Prozess der Feinjustierung auf das Objekt treten bei großen Entfernungen Probleme auf. Dies liegt darin begründet, dass die Feinjustierung auf weit entfernte Objekte sehr genau sein muss, um diese anzusteuern. Das ist auf Grund gewisser Ungenauigkeiten der LEGO Motoren und den leichten Abweichungen auf Grund der Verwendung von vier Ketten nicht möglich.

#### V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Das Ziel der Arbeit war ein Roboter, welcher kleinere Objekte auf Grund seiner Farbe erkennt, diese aufnimmt und zu einem Ziel bringt, welches er ebenfalls auf Grund dessen Farbe erkennt. Dies wurde mit unserem LEGO Roboter umgesetzt. Gewisse Ungenauigkeiten auf Grund der verwendeten Bauteile waren vorherzusehen und nicht vermeidbar. Im Grunde ist unser Roboter ein Modell, welches bestimmte Anforderungen und Problemstellungen aufzeigt, die bei einer industriellen Entwicklung eines solchen Roboters beachtet werden müssen.

Unser gewählter Ansatz in der Konstruktion und der Programmierung ist eine Möglichkeit diesen Anforderungen und Problemen zu begegnen. Dabei ist unser Roboter auf zwei Kettenblöcken, welche zur Fortbewegung dienen, aufgebaut. Um die Objekte aufzunehmen ist ein Greifarm integriert, welcher sich nach oben und unten bewegen lässt und einen Greifer an der Spitze öffnen und schließen kann. Dem Roboter

liegt ein Programm zu Grunde, welches mit Hilfe der Informationen einer Webcam diesen automatisiert steuert. Dazu ist das Programm in der Lage, gesuchte Farben im Bild der Webcam zu erkennen.

Weitere Ergänzungsmöglichkeiten des Roboters wären unter anderem ein schwenkbarer Greifarm, um Objekte nicht nur hoch – und runter bewegen zu können, sondern auch zur Seite. Dies wäre besonders kombiniert mit einer Ladefläche für kleine Objekte sinnvoll, um diese auch zwischenlagern zu können. Auch das Programm des Roboters bietet Erweiterungsmöglichkeiten. Als besonders sinnvoll ist die Ergänzung mit einer Formerkennungssoftware zu nennen, um Fehlermöglichkeiten zu beseitigen, welche in der Erkennung umstehender Objekte oder anderer im Hintergrund erkennbarer Farben (z.B. Farbe der Wände, andere Roboter, usw.) liegen. Auch eine Erhöhung der Reichweite des Roboters wäre denkbar, zum Beispiel, in dem man nach einer bestimmten Fahrstrecke eine weitere Feinjustierung auf das Objekt vornimmt. So ist es möglich, weit entfernte Objekte ohne sehr genaue Feinjustierung anzusteuern.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Andreas Donath: Roboscooper packt den Müll weg. [http : //www.handelsblatt.com/technik/forschung – innovation/aufraeumroboter – roboscooper – packt – den – muell – weg/3506314.html](http://www.handelsblatt.com/technik/forschung-innovation/aufraeumroboter-roboscooper-packt-den-muell-weg/3506314.html). Version: März 2018
- [2] RWTH Aachen: „RWTH - Mindstorms NXT Toolbox“. [http : //www.mindstorms.rwth – aachen.de](http://www.mindstorms.rwth-aachen.de) Version: Februar 2018
- [3] Wikipedia, the free Encyclopedia: Autonomer, mobiler Roboter. [https : //de.wikipedia.org/wiki/Autonomer\\_m obiler\\_Roboter](https://de.wikipedia.org/wiki/Autonomer_mobiler_Roboter). Version: März 2018
- [4] Spektrum.de: autonomer Roboter. [http : //www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/autonomer – roboter/1159](http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/autonomer-roboter/1159). Version: März 2018