

# Automatischer Bewässerungsroboter

Alexander Brian Schwerin, Elektrotechnik und Informationstechnik  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

**Zusammenfassung**—In diesem Artikel wird im Rahmen des Projektseminars Elektrotechnik/Informationstechnik 2022 die Konstruktion und die Programmierung eines automatischen Bewässerungsroboters beschrieben. Dieser Roboter ist in der Lage, Pflanzen anhand von Farbmarkierungen eine Position auf einer eindimensionalen Bewegungsachse zuzuordnen und entsprechend des vorher über eine GUI eingestellten Farbprofils zu gießen. Dabei werden außerdem einige übliche Bewässerungssysteme vorgestellt und auch einige Elemente von MATLAB und dem LEGO-Mindstorm-Set näher gebracht.

**Schlagwörter**—Bewässerung, Farbsensor, Geräuschaktivierung, LEGO-Mindstorm, MATLAB.

## I. EINLEITUNG

Pflanzen sind wichtige Elemente des Alltags. Sie bilden nicht nur als Nahrungsgrundlage und Sauerstoffproduzenten die Grundlage für unser Überleben, sondern sind auch als ästhetische Elemente eine Bereicherung für jedermann mit einer positiven Auswirkung auf die mentale Gesundheit [6, 7]. Allerdings benötigen Pflanzen als Lebewesen bestimmte Grundvoraussetzungen um zu überleben. Diese Grundvoraussetzungen wie Wasser, Nährstoffe, die richtige Temperatur und genügend Licht müssen möglichst konstant und in der richtigen Menge beziehungsweise Intensität vorliegen, um ein gutes Wachstum zu gewährleisten. Das kann insbesondere für Privatpersonen im Alltag eine Herausforderung darstellen. Um dem entgegenzuwirken gibt es verschiedene Ansätze für automatische Bewässerungssysteme, die zumindest den Bewässerungsteil übernehmen. Allerdings sind alle üblichen Bewässerungssysteme stationäre Aufbauten. Die Idee dieses Bewässerungsroboters ist es einen anderen Ansatz zu verfolgen und ein mobiles Bewässerungssystem zu bauen, welches einzelne Schwächen der bisherigen Systeme überwinden soll.

## II. VORBETRACHTUNGEN

### A. Stand der Technik

Es gibt viele Ansätze, um den Prozess der Bewässerung zu automatisieren. Die Anwendungsbereiche gehen dabei von einzelnen Zimmerpflanzen bis zur großflächigen Bewässerung von landwirtschaftlich genutzten Ackerflächen. Um im Rahmen des Projekts zu bleiben, wird der Umfang aber auf den heimischen Garten und die Bewässerung einzelner Pflanzen im Innenbereich beschränkt.

1) *kommerzielle Lösungen*: Das kommerzielle Segment ist vorrangig im Bereich der Gartenbewässerung vertreten. Dort wird vor allem mit Wassersprinklern gearbeitet. Die grundlegende Steuerung wird über einen Bewässerungscomputer und elektrische Ventile umgesetzt. In den meisten Fällen werden die Gießzeiten über den Bewässerungscomputer festgelegt. Es gibt

aber auch Umsetzungen, welche über zusätzliche Sensoren wie zum Beispiel Bodenfeuchtigkeitssensoren die Gießzeiten anpassen. Entsprechende Beispiele für Bewässerungssysteme wären die Systeme von Gardena und Regenmeister, siehe [1]. Aber auch für den häuslichen Bereich gibt es einige Möglichkeiten. Einen Ansatz liefert zum Beispiel die Firma Parrot mit einem smarten Blumentopf, siehe [2]. Der Blumentopf nutzt dabei verschiedene Sensoren und pflanzenspezifische Daten, um die optimale Wasserversorgung der Pflanze und mehr sicherzustellen. Eine andere passive Möglichkeit ohne Elektronik stellen Ton- und Keramikwasserspender dar. Dabei handelt es sich um einen Kegel, bestehend aus Ton oder Keramik. Diesen steckt man in die Pflanzenerde und verbindet ihn je nach Modell mit einem Wasserreservoir. Über die feinen Poren des Kegels wird dann über eine längere Zeit das Wasser aus dem Reservoir abgegeben [2].

2) *selbst gebaute Lösungen*: Die Lösungen zum Nachbauen nutzen im Grunde dieselben Funktionsweisen wie auch das kommerzielle Segment. Die jeweiligen Umsetzungen sind allerdings in den meisten Fällen kreativer und fallen jedes Mal etwas anders aus. Es gibt zum Beispiel viele selbst gebaute Bewässerungssysteme auf der Basis von Mikrocontrollern. Diese sind praktisch der Ersatz für die Bewässerungscomputer und steuern Pumpen oder Ventile, siehe [3]. Andere Lösungen versuchen den Effekt von Keramikwasserspendern zu erzeugen. Dazu werden zum Beispiel wasserdurchlässige Seile mit einem Ende in ein Wassergefäß gelegt und mit dem anderen in die Pflanzenerde gesteckt. Dabei wird der Kapillareffekt im Seil genutzt, um langsam das Wasser aus dem Gefäß in die Erde zu befördern, siehe [4]. Eine weitere Möglichkeit, welche besonders in der 3D-Druck-Community vertreten ist, ist das Drucken eines Blumentopfes mit einem eingebauten Wasserreservoir. Dadurch lässt sich die Gießhäufigkeit senken [5].

### B. LEGO-Roboter

Ein Punkt, der bei den bisher existierenden Lösungen auffällt, ist die geringe Flexibilität. Alle Systeme sind stationär und müssen manuell auf die jeweiligen Bedingungen eingestellt werden. Wenn zum Beispiel die Positionen einzelner Pflanzen getauscht werden oder einzelne Pflanzen ganz herausgenommen werden, gibt es in keinem der Systeme eine Möglichkeit, dies zu erkennen und automatisch darauf zu reagieren. Der LEGO-Bewässerungsroboter soll diese Lücke schließen und selbstständig anhand von Voreinstellungen und Farbmarkierungen Pflanzen erkennen und richtig versorgen.

### C. Vorwissen

Um der nachfolgenden Vorstellung folgen zu können, ist ein wenig Vorwissen nötig. Bis auf das Ventil stammen alle

verwendeten Bauelemente inklusive der Elektronik aus dem LEGO-Mindstorm-Set. Das Set ist eine von LEGO entwickelte Zusammenstellung von Legoteilen, Sensoren, Motoren und dem NXT-Stein das einen einfachen Einstieg in die Robotik bieten soll. Dabei stellt der NXT als programmierbare Steuereinheit das Herzstück dar. Für die Programmierung wird beim Lego-Praktikum die besonders auf Matrizenrechnung spezialisierte Software MATrix LABoratory oder in Kurzform MATLAB verwendet. Für die Programmierung des NXT-Steins steht die Mindstorms-NXT-Toolbox zur Verfügung. Dabei handelt es sich um eine Bibliothek mit vorgefertigten Befehlen, welche von der RWTH Aachen entwickelt wurde. Für dieses Projekt wurden zwei Motoren, ein Farbsensor, ein Mikrofon und 2 Tastsensoren verwendet. Die Motoren lassen sich schrittweise drehen. Dabei ergeben 360 Schritte eine vollständige Umdrehung. Die GUI, also die grafische Nutzeroberfläche, welche zur Einstellung des Roboters genutzt wird, stammt aus dem Unterprogramm App Designer von MATLAB.

### III. UMSETZUNG

#### A. Konstruktion



Abbildung 1. Seitenansicht des Roboters

Der Roboter lässt sich praktisch in zwei größere Bereiche aufteilen, einmal eine Unterkonstruktion, welche für die Bewegung zuständig ist und als eine Halterung für den NXT-Stein dient und den Arm, welcher die restlichen Sensoren und die Bewässerungsvorrichtung trägt. Der Roboter soll in der Lage sein, Pflanzen auch in räumlich begrenzten Gebieten wie zum Beispiel einer Fensterbank zu gießen. Deshalb ist die Unterkonstruktion länglich und schmal gestaltet. Um mehrere Pflanzen erreichen zu können ist die Unterkonstruktion mit Rädern und einem Antriebsmotor ausgestattet, wodurch es möglich ist, eindimensional zu fahren und somit eine ganze Fensterbank abzudecken. Da der Roboter aus LEGO besteht, müssen auch einige materialbedingte Probleme abgefangen werden. Zum einen stellt das relativ hohe Gewicht des Arms ein Problem für die längliche Konstruktion dar. Um die Unterkonstruktion zu entlasten, befindet sich deshalb ein Stützrad in der Mitte der Unterkonstruktion. Zum anderen



Abbildung 2. Frontansicht des Roboters

gestaltet es sich mit einer reinen LEGO-Konstruktion schwierig, eine wirklich gerade Linie abzufahren, da die hohe Belastung zu einer elastischen Verformung der Bauteile der Unterkonstruktion führt. Um dieses Problem zu lösen, fährt der Roboter in einer Führungsschiene, welche eine gerade Linienführung ermöglicht und den Roboter davor bewahrt, begrenzten Bereich wie Fensterbänke ungewollt zu verlassen. Die Unterkonstruktion beinhaltet des Weiteren zwei Tastsensoren, welche an den Enden befestigt sind. Diese sind notwendig, um Wände und ähnliche Hindernisse erkennen zu können. Die Armkonstruktion trägt noch zwei weitere Sensoren. Es gibt ein Mikrofon, welches für die geräuschgesteuerte Aktivierung des Roboters zuständig ist und den Farbsensor, welcher zur Bestimmung der Farbmarkierungen an den Pflanzen genutzt wird. Der Farbsensor steht wie in Abbildung 2 zu sehen ist seitlich ab. Dadurch kann der Roboter Blumentöpfe mit einer Größe von maximal 14 cm erkennen. Mit entsprechend längeren Farbmarkierungen lassen sich auch Töpfe mit einer Mindesthöhe von 8 cm sicher erkennen. Um diese Töpfe gießen zu können, besitzt der Roboter eine Bewässerungsvorrichtung. Die Bewässerungsvorrichtung basiert auf dem Prinzip des Schweredruckes. Dadurch spart man sich die Füllstandskontrolle, welche bei einer Lösung mit einer Pumpe beispielsweise nötig gewesen wäre. Der Wasserbehälter sitzt in einer Halterung, welche etwas höher angebracht ist als die Austrittsöffnung am Farbsensor. Der Behälter ist über eine Schraubverbindung und einen Schlauch mit einem Ventil verbunden, welches über einen Motor gezielt angesteuert werden kann.

#### B. GUI

Um den Roboter auf verschiedene Pflanzen und ihre Bedürfnisse anpassen zu können, besitzt er einige Einstellungsmöglichkeiten. Diese sollten möglichst nutzerfreundlich und leicht erreichbar sein. Darum besitzt der Roboter eine GUI. Über diese GUI kann der Nutzer für 3 verschiedene Farbprofile die entsprechende Gießzeit einstellen, also bestimmen, wie lange oder ob das Ventil geöffnet werden soll und somit auch die Menge an Wasser festlegen. Dabei ist die Anzahl der Farbprofile entsprechend der benötigten Anzahl potenziell

erweiterbar und nur durch die Anzahl erkennbarer Farben des Farbsensors beschränkt. Um dies zu erreichen, gab es zwei Versionen der GUI. Die erste Version beinhaltet verschiedene bewegliche visuelle Elemente, war aber schlussendlich zu kompliziert und wurde nicht in der Regelzeit fertiggestellt. Der finale Roboter läuft deshalb auf einer weitaus simpleren und passenderen GUI, welche die nötigen Grundfunktionen bietet, siehe Abbildung 3.

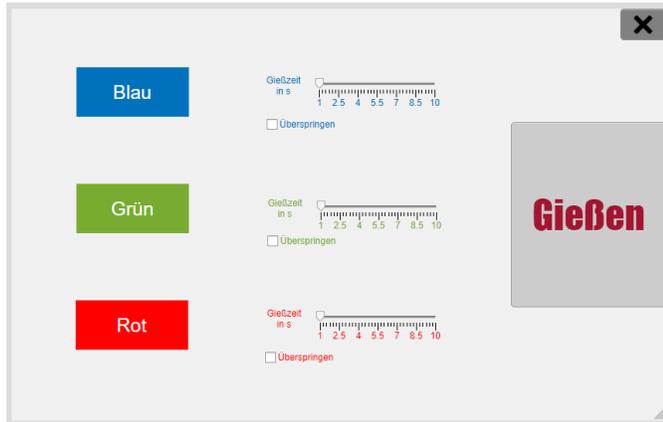


Abbildung 3. Grafische Nutzer-Oberfläche

### C. Algorithmus

Der Algorithmus, der den Roboter zum Laufen bringt, besteht grundlegend aus fünf Hauptschleifen. Um diese besser nachvollziehen zu können, befindet sich im Anhang ein Programmablauf, siehe Abbildung 5. Bevor der Roboter seine Arbeit verrichten kann, müssen erst einmal die entsprechenden Werte über die GUI übermittelt werden. Sobald die Werte übertragen wurden, befindet sich der Roboter in Startposition und der erste Programmabschnitt läuft an. Über das Mikrofon wird fortan regelmäßig die Lautstärke gemessen. Aus diesen Werten wird dann ein Durchschnittswert gebildet, um ein versehentliches Auslösen zu verhindern. Der Effekt ist in Abbildung 4 gut erkennbar.

Auch laute Störgeräusche führen nicht zu einem starken Ausschlag im Durchschnitt erst wenn ein lang anhaltendes und lautes Geräusch wie zum Beispiel ein Pfeifen gemessen wird, übersteigt der Durchschnittswert den Sollwert und es kommt zu einer Aktivierung. Sobald das geschehen ist, beginnt der Roboter mithilfe des Tastsensors eine Begrenzung beziehungsweise Wand aufzuspüren. Dieser Schritt ist wichtig, da hierbei eine Kalibrierung stattfindet. Sobald der Roboter eine Begrenzung erreicht hat, kehrt sich die Fahrtrichtung um und der Farbsensor wird aktiviert. Die Bewegung ist ab diesem Schritt nicht mehr flüssig, sondern findet in kleinen Einzelschritten statt. Intern wird die Anzahl der Schritte in einer Variable festgehalten und genutzt, um die jeweiligen Strecken zu berechnen. Dabei wird die erste Begrenzung als Startpunkt angesehen. Bei einem Raddurchmesser von 45 mm und einer Schrittweite von 10 Grad hat der Roboter damit eine theoretische Genauigkeit von 3,9 mm. Mit jedem Schritt wird der Wert des Farbsensors überprüft. Wenn eine

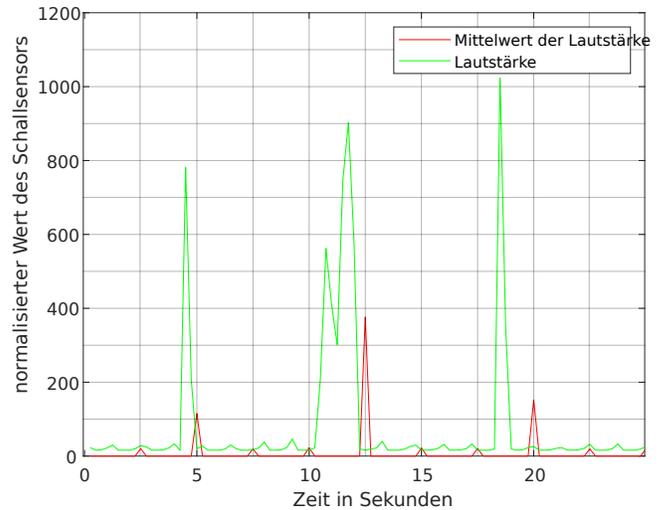


Abbildung 4. Mikrofonaufnahme über den NXT-Stein

Farbe erkannt wird, wird diese zusammen mit der jeweiligen Schrittzahl gespeichert. Um sicherzugehen, dass der Farbsensor eine Farbmarkierung nicht mehrfach misst, wird im Programm sichergestellt, dass die gespeicherten Schrittzahlen bzw. der Abstand der Markierungen einen voreingestellten Mindestabstand nicht unterschreitet. Erst wenn diese Bedingung erfüllt ist, wird der neue Wert gespeichert. Das Ganze wiederholt sich so lange, bis der Tastsensor das zweite Hindernis aufgespürt hat. Mithilfe der gespeicherten Schrittzahlen kann nun über die Gesamtschrittzahl die Strecke berechnet werden, die der Roboter abfahren muss, um zu den jeweiligen Pflanzen zu gelangen. Dabei ist es egal, wie viele Pflanzen es gibt und in welcher Reihenfolge diese auftauchen. Die Anzahl der Pflanzen ist nur durch die voreingestellte Obergrenze beschränkt, welche notwendig ist, um eine Neuskalierung der Speichervektoren innerhalb der Schleifen zu verhindern. Eine Neuskalierung ist nämlich ein ziemlich aufwendiger Prozess und würde zu einer Verzögerung des Programmablaufs führen. Das Problem betrifft die Speichervariablen für die Strecken der Pflanzen jedoch nicht, da diese erst bei der Berechnung in Abhängigkeit der gemessenen Pflanzenzahl erzeugt werden. Der Roboter fährt nun die Pflanzen in umgekehrter Reihenfolge, sprich von hinten nach vorne an. Dabei findet für jede Pflanze einzeln eine Fallunterscheidung mithilfe der gespeicherten Farbwerte statt. Je nach Farbe werden die entsprechenden Einstellungen aus der GUI genutzt. Wenn alle Pflanzen abgearbeitet wurden, sucht der Roboter wieder mithilfe des Tastsensors seine Ausgangsposition, sprich das erste Hindernis und beendet das Programm.

### IV. ERGEBNISDISKUSSION

Der Bewässerungsroboter erfüllt die Erwartungen und weist alle geplanten Fähigkeiten auf. Der Roboter besitzt eine eigene GUI in der wichtige Einstellungen bezüglich des Gießverhaltens getroffen werden können, und ist nach der Initialisierung jederzeit durch akustische Signale aktivierbar. Des Weiteren ist er in der Lage, Pflanzen anhand von Farbmarkierungen zu

erkennen, auseinanderzuhalten und entsprechend den Einstellungen zu gießen. Dabei ist aufgrund einer Kalibrierung und einer Positionsbestimmung der Pflanzen eine flexible Reaktion auf Veränderungen bezüglich der Reihenfolge und Anzahl der Pflanzen möglich. Dennoch sind die Einsatzmöglichkeiten des Roboters relativ eingeschränkt. Die LEGO-Konstruktion ist trotz des länglichen Aufbaus zu breit für die meisten Fensterbänke. Demnach beschränkt sich das Einsatzgebiet eher auf Fußböden und Tische. Des Weiteren ist die Farberkennung über den Farbsensor eine heikle Sache. Die Reichweite des Sensors unterscheidet sich je nach Farbe und beträgt maximal einige Zentimeter. Außerdem muss im jeweiligen Code eine Art Filter eingebaut werden, um Mehrfachmessungen der selben Markierung zu vermeiden. Um die Farbmarkierungen zuverlässig erkennen zu können, benötigt der Roboter die bereits erwähnte Führungsschiene und auch die Markierungen müssen genau ausgerichtet sein. Des Weiteren ist die Auswahl an Töpfen stark eingeschränkt. Einerseits natürlich durch die Maximalhöhe von 14 cm, aber auch nach unten durch den unbeweglichen Arm auf etwa 8 cm. Da dieser fest verbaut ist müssen die Farbmarkierungen nämlich immer in der selben Höhe hängen und auch der Wasserstrahl ist nicht lenkbar. Dadurch lassen sich zu kleine Töpfe nicht immer zielgenau treffen. Außerdem ist die Wassermenge aufgrund des hohen Gewichts stark begrenzt.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Als Ergebnis des Projekts ist ein Roboter hervorgegangen, der nach den nötigen Voreinstellungen über eine GUI automatisch die Bewässerung mehrerer Pflanzen übernehmen kann und in der Lage ist Pflanzen über verschiedene Farbprofile zu unterscheiden. Um den Roboter besser an sein Aufgabengebiet anzupassen wäre es dennoch sinnvoll, auf technische Möglichkeiten außerhalb des LEGO-Segments zurückzugreifen. Somit könnte man den Roboter zum Beispiel über ein drahtloses Netzwerk ansteuern und weitere wichtige Daten wie Bodenfeuchtigkeits- und Nährstoffwerte einspeisen, um die Effizienz zu erhöhen. In diesem Zuge wäre auch ein Umstieg auf ein widerstandsfähigeres Material wie Aluminium für die Konstruktion sinnvoll, um die Traglast für einen größeren Wasserbehälter zu erhöhen und die Konstruktion schmäler zu gestalten, damit der Roboter auch auf dünnen Fensterbänken arbeiten kann.

LITERATURVERZEICHNIS

[1] SCHNEIDER, Jennifer: *Garten-Bewässerungssysteme im Test: Sieger der Stiftung Warentest*. [https://praxistipps.chip.de/garten-bewaesserungssysteme-im-test-sieger-der-stiftung-warentest\\_102650](https://praxistipps.chip.de/garten-bewaesserungssysteme-im-test-sieger-der-stiftung-warentest_102650), 2020. – [Online; accessed 23-Februar-2022-14:22 Uhr]

[2] JOERG: *Das beste Bewässerungssystem für Zimmerpflanzen*. <https://schlauer-wohnen.com/das-beste-bewaesserungssystem-fuer-zimmerpflanzen/>, 2021. – [Online; accessed 23-Februar-2022-14:29 Uhr]

[3] BK iLyas: *Arduino Plant Watering System - Complete guide*. <https://www.youtube.com/watch?v=JdvnfENodak>, 2020. – [Online; accessed 23-Februar-2022-14:48 Uhr]

[4] SHOW, Rachael R.: *Self-Watering Plant Hack — Plant Doctor Hilton Carter*. [https://www.youtube.com/watch?v=9E-i\\_RIPbJ8](https://www.youtube.com/watch?v=9E-i_RIPbJ8), 2020. – [Online; accessed 23-Februar-2022-15:01 Uhr]

[5] PARALLELGOODS: *Self-Watering Planter (Small)*. <https://www.thingiverse.com/thing:903411>, 2015. – [Online; accessed 23-Februar-2022-15:24 Uhr]

[6] KUHLMANN, Susanne: *Grünpflanzen für die Gesundheit*. <https://www.deutschlandfunk.de/gruenpflanzen-fuer-die-gesundheit-100.html>, 2009. – [Online; accessed 24-Februar-2022-18:10 Uhr]

[7] PANZETER, Elena: *Pflanzen für die Seele*. <https://blog.uni-koblenz-landau.de/pflanzen-fuer-die-seele-zimmerpflanzen-psychologie/>, 2021. – [Online; accessed 24-Februar-2022-18:34 Uhr]

ANHANG

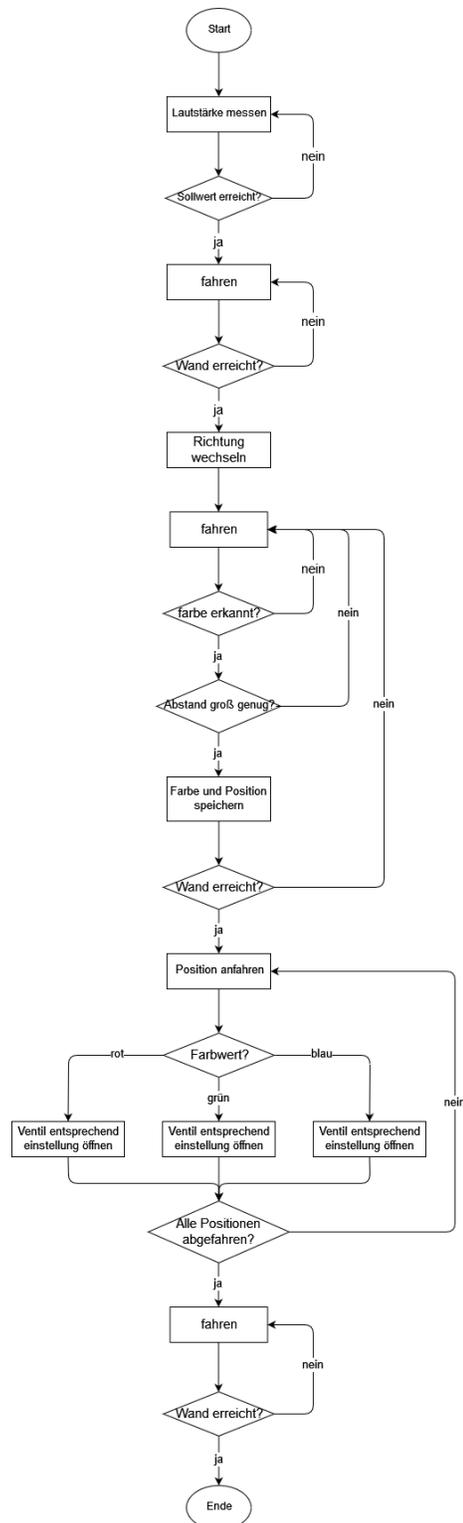


Abbildung 5. Ablaufplan des Algorithmus